

## ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی هوای کلانشهر تبریز

مرتضی اسمعیل‌نژاد<sup>۱</sup>: استادیار جغرافیا و اقلیم‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران  
محمد اسکندری ثانی<sup>۲</sup>: استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران  
سپیده بارزمان: کارشناس ارشد جغرافیا و اقلیم‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

### چکیده

با سرعت زیاد شهرنشینی در ایران بسیاری از شهرها به ویژه کلان‌شهرها با معضلات زیادی مواجهه شدند که عدم پایداری را برای آنها به ارمغان آورده است. این پژوهش بحران آلودگی شهر تبریز به عنوان یکی از هشت شهر آلوده ایران را مورد بررسی قرار داده است. سؤالات مطرح شده در تحقیق عبارت است از بهترین الگوریتم درونیابی در توزیع آلودگی هوا کدام است؟ تراکم آلاینده‌ها در کدام بخش شهر تبریز بیشتر است؟ کاربری‌های مؤثر در کاهش و افزایش آلودگی هوای شهر کدامند؟ برای پاسخ به این سؤالات اطلاعات آماری آلاینده‌ها، مربوط به آلاینده‌های ذرات معلق هوا ( $PM_{10}$ )، ازن ( $O_3$ )، دی‌اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، دی‌اکسید نیتروژن ( $NO_2$ ) و دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ ) در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ برای کلیه ماه‌های سال، از پنج ایستگاه سنجش آلاینده‌های هوای شهر گردآوری و سپس این اطلاعات با استفاده از افزونه زمین آماری نرم‌افزار *ARC GIS* در حالت‌های مختلف درونیابی و مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج نشان داد که: ضرایب میزان خطای درونیابی *RMSE* و *MAE* کریجینگ نسبت به *IDW* از میزان پایین‌تری برخوردار بوده، لذا بهترین شیوه درونیابی تعیین گردید. همچنین نتایج با معیارهای کیفیت هوا از جمله *PSI* آلودگی هوا مقایسه گردیده و وضعیت کیفیت هوای شهر در ایستگاه‌های مورد نظر تعیین و به نقش متقابل کاربری‌های اراضی مؤثر در کاهش یا افزایش آلودگی معرفی شدند.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی هوا، درون‌یابی، زمین‌آمار، شاخص *PSI*، کاربری اراضی، تبریز.

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول: [esmailnejad.m@birjand.ac.ir](mailto:esmailnejad.m@birjand.ac.ir)، ۰۹۱۵۳۳۳۱۸۳۸

<sup>۲</sup> نویسنده رابط: [meskandarisani@birjand.ac.ir](mailto:meskandarisani@birjand.ac.ir)

## بیان مسأله:

نظر به اینکه بیشترین رشد جمعیت شهری آینده جهان در کشورهای در حال توسعه مداوم خواهد بود، دغدغه بیشتری برای نیل به توسعه پایدار شهری در این کشورها وجود دارد. در این بین رشد شهرنشینی، صنعتی شدن، عدم ساماندهی حمل و نقل شهری، منابع ساکن احتراق از جمله ساختمان‌ها، فرآیندهای صنعتی، دفع مواد زاید جامد و فعالیت‌های متفرقه منابع نشر آلودگی در شهرها می‌باشند (شکری، ۱۳۹۰: ۲۴). این آلاینده‌های هوا را می‌توان بر اساس منشأ ترکیب شیمیایی و حالت فیزیکی‌شان طبقه‌بندی نمود. این طبقه‌بندی‌ها برای تنظیم بحث و بررسی در زمینه عوامل آلودگی هوا بکار می‌روند. آلاینده‌ها بسته به منشأ آنها به دو گروه اولیه و ثانوی تقسیم می‌شوند. آلاینده‌های اولیه از قبیل دی‌اکسید سولفورها ( $SO_2$ )، اکسیدهای نیتروژن ( $NO_2$ ) و هیدروکربنها ( $HC$ )، آن دسته از آلاینده‌ها هستند که مستقیماً وارد اتمسفر شده‌اند و به همان شکل آزاد شده نیز در اتمسفر یافت می‌شوند. آلاینده‌های ثانوی نظیر اوزون ( $O_3$ ) و پراکسی استیل نیترات ( $PAN$ ) آن دسته از آلاینده‌ها هستند که در اتمسفر توسط یک واکنش فتوشیمیایی در اثر هیدرولیز و یا اکسیداسیون تشکیل می‌شوند (عطایی، ۱۳۹۰: ۲۷). در هواشناسی آلودگی هوا و کلمه پراکنش<sup>۱</sup> و پخش<sup>۲</sup> بسیار کاربرد دارند. پراکنش به حرکت یا انتقال آلاینده‌ها بطور افقی یا قائم توسط باد و پخش عمده‌تاً نتیجه‌ای از تلاطم<sup>۳</sup> در جو می‌باشد و بستگی به تغییرپذیری ویژگی‌های رژیم باد دارد (ضرابی، ۱۳۸۹: ۱۶). وارونگی دما شاید بدترین حالت پراکنش آلاینده‌ها را نشان می‌دهد، زیرا تلاطم متوقف می‌شود و حرکات قائم جوی از بین می‌روند. پایه وارونگی ارتفاعی است که در آن نمایه قائم دما معکوس می‌شود و آن نقطه تغییر جهت منحنی است. پایه وارونگی ممکن است در سطح زمین قرار بگیرد (وارونگی سطح زمین) و اگر بالای سطح زمین قرار گیرد به آن  $EI^4$  می‌گویند. این وارونگی مانند درپوشی برای لایه مرزی جوی عمل کرده و از پخش قائم آلاینده‌ها جلوگیری می‌کند. (فرخی، ۱۳۸۵: ۱۶). فرضیات تحقیق شامل: نخست؛ به نظر می‌رسد بهترین الگوریتم درون‌یابی در توزیع آلودگی روش کریجینگ می‌باشد. سپس؛ تراکم آلاینده‌ها در مرکز و غرب شهر تبریز بیش از سایر نقاط آن می‌باشد. و در نهایت؛ جهت مقابله درازمدت با آلودگی هوای تبریز، کاربری‌های مؤثر و مضر باید اولویت‌بندی شوند. جهت بررسی این فرضیات نیاز به ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی در شهر با استفاده از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا و استفاده از روش‌های زمین آمار استفاده می‌باشد. از طریق آنالیز زمین آماری می‌توان به راحتی یک نقشه یا سطح پیوسته‌ای از نقاط نمونه برداری شده را ایجاد نمود (پریزان، ۱۳۸۸: ۱۳). هر ماده‌ای که وارد هوا شود، خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن را تغییر می‌دهد و به چنین هوای تغییر یافته، هوای آلوده گویند (شهبازی، ۱۳۹۱: ۱۶). یکی از مزایای استفاده از این ابزارها و روش‌ها، بر ارزش سطح مدل به نقاط نمونه‌برداری شده از آلاینده‌ها در سطح شهر تبریز است تا مسأله تحقیق که شناخت بهترین مدل ارزیابی آلودگی هوا به منظور شناسایی نحوه توزیع تراکم آلاینده‌ها و ارتباط آنها با کاربری‌ها است، پاسخ داده شود.

## پیشینه تحقیق:

پروین‌نژاد حکم‌آبادی و همکاران (۱۳۸۸) به مطالعه آلودگی هوای شهر تبریز بر اساس ذرات معلق موجود در هوا پرداخته است. ضرابی و همکاران (۱۳۸۹) میزان آلاینده‌های منابع ثابت و متحرک شهر اصفهان را محاسبه و ارزیابی کرده، شکری فیروزه‌جاه (۱۳۹۰) به تأثیر پراکنش فضایی کاربری‌های شهری بر آلودگی شهر تبریز با استفاده از روش‌شناسی توصیفی-تحلیلی و بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای پرداخته است. فتح تبار فیروز جایی و همکاران (۱۳۹۰) برای پهنه‌بندی آلاینده‌های هوا با استفاده از مدل‌های آماری و تکنیک  $GIS$  داده‌های مربوط به آلاینده‌های  $CO$  و  $PM_{10}$  شهر تهران را برای سال ۱۳۸۸ با استفاده از روش‌های کریجینگ ساده در حالت‌های مختلف واریوگرام و روش اسپلین برای فصول مختلف سال مورد ارزیابی قرار داده‌اند. میرموسوی و میریان (۱۳۹۰) به مطالعه کاربرد روش‌های زمین آمار در برآورد توزیع مکانی بارش استان کرمان پرداخته و با استفاده از روش‌های کریجینگ و معکوس وزنی نسبت به درون‌یابی بارش در این استان اقدام نموده‌اند.

<sup>1</sup>.Dispersion

<sup>2</sup>.Diffusion

<sup>3</sup>.Turbulence

<sup>4</sup>.Elevatedor cappinginversion

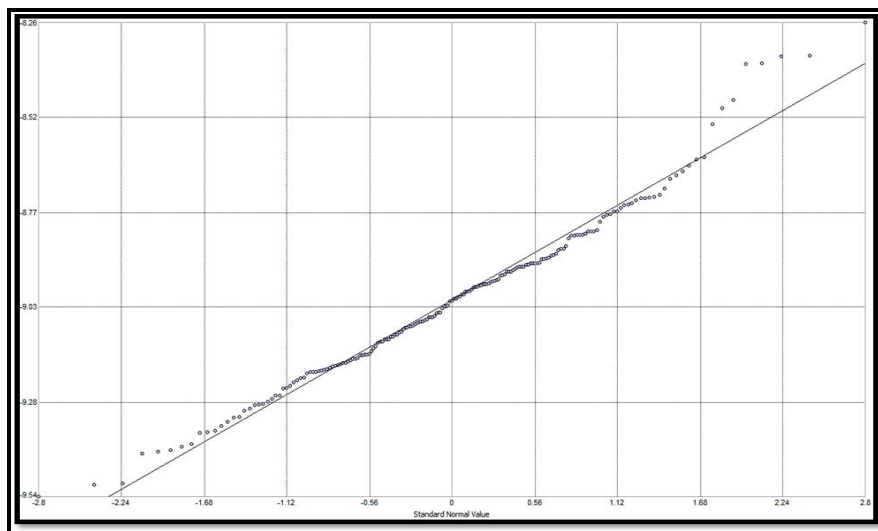
شهبازی (۱۳۹۱) به ارزیابی روش *IDW* در توزیع فضایی مقدار آلودگی شهر تبریز پرداخته و عوامل مختلف طبیعی و غیر طبیعی مؤثر در آلودگی‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. صاحبی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی کیفیت هوای شهر تبریز با درون‌یابی آلاینده‌ها، غلظت آلاینده‌های هوا شامل منواکسیدکربن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و ذرات معلق، در ایستگاه‌های چهارگانه شهر تبریز را محاسبه کرده‌اند. تامب و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله خود آزمایش‌هایی در مورد اطلاعات شبیه‌سازی شده  $10pm$  با استفاده از روش درون‌یابی بهینه انجام دادند، روش مذکور برای شرایط‌های پیش‌بینی عملیاتی روش بسیار مؤثری است. نور نوراژانا و همکاران (۲۰۰۸) در مقاله خود از روش‌های درون‌یابی و تکنیک‌های میانگین استفاده کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که از میان تکنیک‌های میانگین‌گیری روش قبل میانگین، بدترین ارزش‌ها را برای نمایش ارائه می‌دهد و روش قبل و بعد میانگین، درون‌یابی خطی بهترین نتایج را برای پیش‌بینی ارزش‌های از دست رفته ارائه می‌دهد. کاناروگلو و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیق خود تحت عنوان ایجاد شبکه ایستگاه‌های کنترل آلودگی هوا برای ارزیابی در نقاط جمعیتی داخل شهر: روش تخصیص محلی، دو هدف را دنبال کرده‌اند. شاد و همکاران (۲۰۰۷) در مقاله خود از روش‌های فراکتال و سمی واریو گرام ساده برای همبستگی بین نقاط به منظور انتخاب بهترین روش استفاده کرده‌اند.

### مواد و روش تحقیق:

در پژوهش حاضر نقاط نمونه برداری شده مقادیر مربوط به سطوح آلودگی شهر تبریز می‌باشند. با استفاده از آنالیزهای زمین آماری به توصیف پیوستگی مکانی و همچنین جمع‌آوری ابزارهای آماری و قطعی و مدل نمودن این تغییرات مکانی آلاینده‌ها طی بازه زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ برای کلیه ماه‌های سال پرداخته می‌شود. تجزیه و تحلیل تحقیق حاضر با ایجاد ۱۲۰۰ نقشه که حاصل آنالیز زمین آماری ۵ نوع آلاینده  $CO_2$ ،  $NO_2$ ،  $SO_2$ ،  $O_3$ ،  $PM_{10}$  طی ۱۲ ماه سال از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ با استفاده از دو روش میان‌یابی *Ordinary Kiriging* و *IDW Original* می‌باشد، انجام گرفته است. بنابراین بعلاوه تعداد زیاد نقشه‌ها، به ضرورت نقشه‌های دو مقطع زمانی ۱۳۸۳، ۱۳۹۲ در پژوهش استفاده می‌شود. در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های پایش آلودگی هوای آبرسان، میدان نماز، حکیم نظامی، باغشمال، راه آهن و ایستگاه بهداشت شهر تبریز که بصورت ۲۴ ساعته و برخط پارامترهای پنجگانه آلاینده‌های هوا ذرات معلق هوا ( $PM_{10}$ )، ازن ( $O_3$ )، دی‌اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، دی‌اکسید نیتروژن ( $NO_2$ ) و دی‌اکسیدکربن ( $CO_2$ ) را در این مناطق و حریم آن اندازه‌گیری می‌کنند، استفاده خواهد شد (میرموسوی، ۱۳۹۰: ۲۸). سپس داده‌های عناصر آلاینده فوق، پس از استخراج و مطمئن بودن از صحت آنها با استفاده از روش‌های آماری و *GIS* به صورت ماهانه و سالانه دسته بندی و در محیط افزاری *ARC GIS* توسط افزونه زمین آماری در منطقه مورد مطالعه (شهر تبریز) به روش‌های مختلف درون‌یابی پهنه بندی و ارزیابی خواهند شد و در نهایت با توجه به ضریب خطائی که هر الگوریتم پس از درون‌یابی نشان خواهد داد بهترین روش را از بین روش‌های درون‌یابی مورد آزمون انتخاب خواهیم نمود. روش‌های انترپولاسیون یا میان‌یابی مورد اشاره، برای تولید سطوح آلاینده‌ها در صورتی که داده‌های ایستگاه‌های سنجش دارای توزیع نرمال باشند، بهترین نتیجه را خواهد داشت (Noraziyana, 2008: 86). چنانچه داده‌ها اریب باشند باید از تبدیلاتی به منظور نرمال نمودن داده‌ها استفاده نمود. بنابراین درک توزیع داده‌ها قبل از تولید سطح بسیار مهم خواهد بود که با نمایش هیستوگرام داده‌ها این امکان میسر خواهد شد (نصراللهی، ۱۳۸۹: ۳۴). اگر پراکندگی، کشیدگی و چولگی داده‌ها نرمال نباشد داده‌ها را با روش‌هایی چون "کاکس باکس" نرمال می‌شوند (ولیزاده، ۱۳۸۹: ۲۲). سپس لایه سطح منطقه، برای هر عنصر آلاینده با استفاده از توابع میان‌یابی به روش‌های *Ordinary Kiriging* و *Original IDW* تهیه می‌شود. در روش *IDW Original* فرض بر این است که نقاط نمونه آلاینده‌گی شهر تبریز از مکان تأثیر می‌پذیرند. در واقع نقاط نمونه‌ای اثر وزنی دارند. به بیان دیگر پیکسل‌های نزدیک به نقاط نمونه آلودگی اثر بیشتری نسبت به پیکسل‌های دورتر از این نواحی می‌گیرند. پس در این روش با افزایش فاصله از نقاط نمونه آلاینده‌گی، میزان آلودگی کاهش یابد (Shad, 2007: 101). در روش *Ordinary Kiriging* فرض بر این است که فاصله و جهت بین نقاط نمونه برداری آلاینده‌ها در محدوده هر ایستگاه سنجش، بر روی همبستگی مکانی تأثیر می‌گذارد. این روش وقتی بهترین کارایی را دارد که از وجود همبستگی

فاصله ایبا چولگی جهتی داده‌ها آگاه باشیم، بنابراین پس از ایجاد لایه‌های مورد نظر، چولگی داده‌ها نیز بررسی خواهد شد (پورمهرداد، ۱۳۸۹: ۱۴۶).

نکته قابل ذکر اینکه در هر دو روش میانبایی از حالت تخمینی<sup>۱</sup> استفاده شده است که از مقادیر انترپوله شده برای نمایش اتفاقی تغییرات در مکانی که داده‌ها جمع‌آوری نشده است، استفاده می‌کند. ارزیابی دقت هر یک از دو روش انجام شده مستلزم بررسی مقادیری همچون "خطای مطلق میانگین *MAE*" و "ریشه مربع میانگین *RMS*" و ریشه مربع میانگین متقارن *RMSE* می‌باشد که به ازای مقادیر مختلف این مقادیر نیز متفاوت خواهند بود. ابتدا باید از نرمال بودن توزیع داده اطمینان حاصل می‌گردد. برای نمایش نرمال بودن داده‌ها از نمودار *QQPLOT* استفاده شده است. (شکل شماره ۱). در این پژوهش میزان نزدیکی داده‌ها به خط مستقیم بسیار زیاد است، بنابراین داده‌ها از نرمالیتته مناسبی برخوردارند.



شکل ۱- نمودار *QQPLOT* توزیع نرمال بودن داده‌ها - منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۳.

#### محدوده مورد مطالعه:

شهر تبریز در داخل دره تکتونیکي بخش شرقی جلگه تبریز واقع شده است. از شمال توسط کوه‌های عون بن علی و از جنوب توسط تپه ماهورهای ارتفاعات سه‌سهند محصور شده و شکلی دره‌ای به خود گرفته است که این عامل در تشدید آلودگی و پدیده اینورژن در هوای شهر نقش اساسی دارد. شهر از سه جهت شمال، جنوب و شرق با محدودیت عوارض توپوگرافی و شیب تند روبرو است و از سمت غرب با وجود اینکه ظاهراً مساعد برای توسعه می‌باشد، از یک سو به علت قرار گرفتن کارخانجات صنعتی و از طرف دیگر بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی توسعه در این جهت با محدودیت روبرو می‌باشد. هر چه از سمت شرق، شمال و جنوب به سمت مرکز شهر نزدیک شویم شیب زمین و به تبع آن شیب خیابان‌ها و معابر کمتر شده است. این کاهش در بخش غربی محسوس‌تر است (متصدی، ۱۳۸۶: ۱۹). تمرکز اصلی مکان‌های صنعتی در جهت غرب تبریز می‌باشد که یکی از موانع اصلی توسعه افقی تبریز، تمرکز این کاربری‌ها در جهت غرب می‌باشد. در مکان‌یابی مراکز صنعتی در تبریز عوامل مهم-تری که نقش حیاتی در توسعه پایدار شهری دارد، به فراموشی سپرده شده است. مکان‌یابی صنایع در غرب شهر باعث شده که به هنگام وزش بادهای غربی- شرقی آلودگی‌های ناشی از صنایع به طرف شهر نفوذ کرده و اثرات جبران ناپذیری بر سلامت شهر بگذارد.

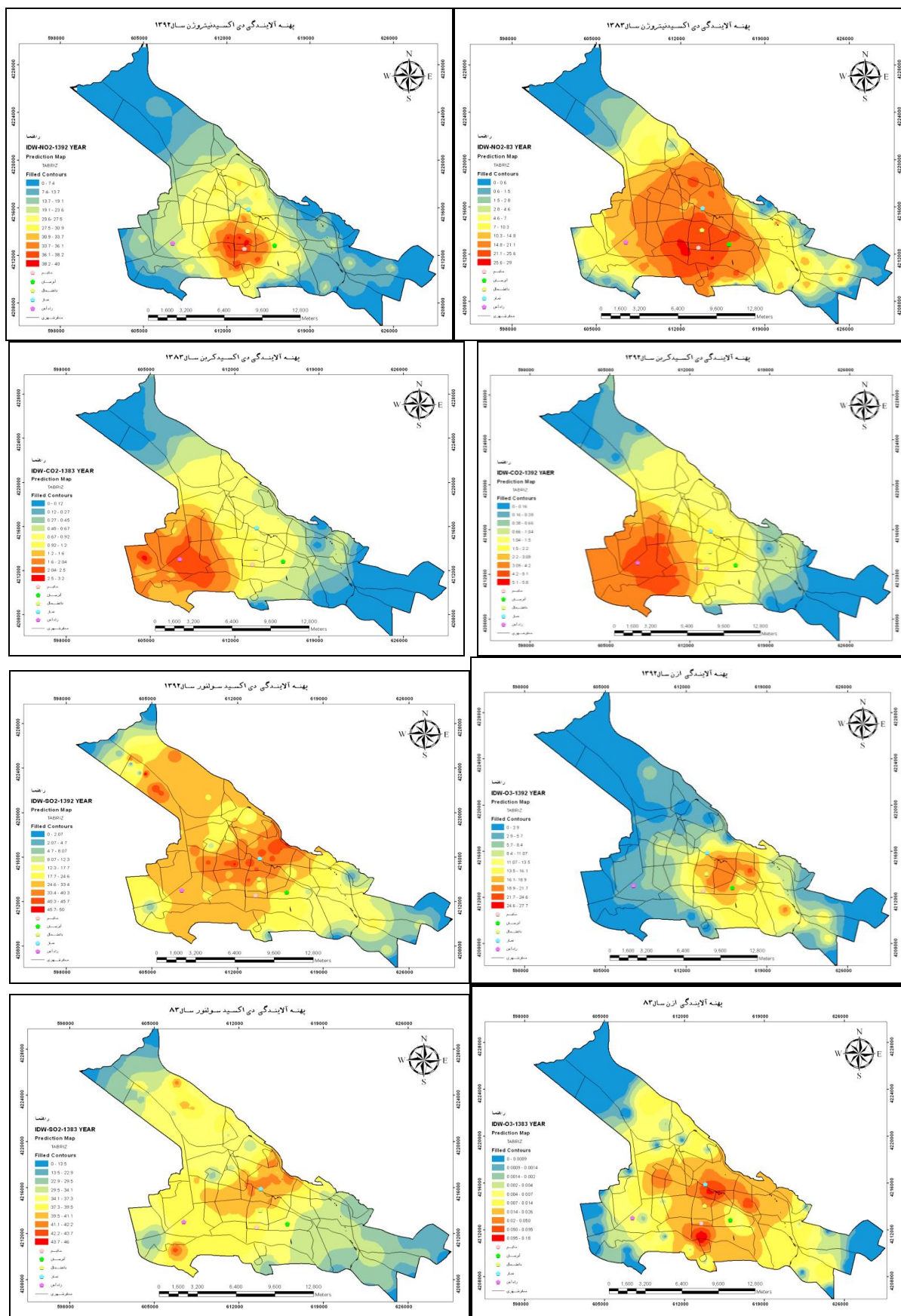
#### یافته‌های تحقیق:

برای ارزیابی آلودگی در پهنه شهر با استفاده از روش‌های زمین‌آمار استفاده شد. در ادامه لایه پهنه‌بندی آلودگی، برای هر عنصر آلاینده با استفاده از تابع میانبایی به روش‌های *IDWoriginal* تهیه می‌شود. بانگاهی به نقشه‌های حاصل از این

<sup>۱</sup>. Prediction Map

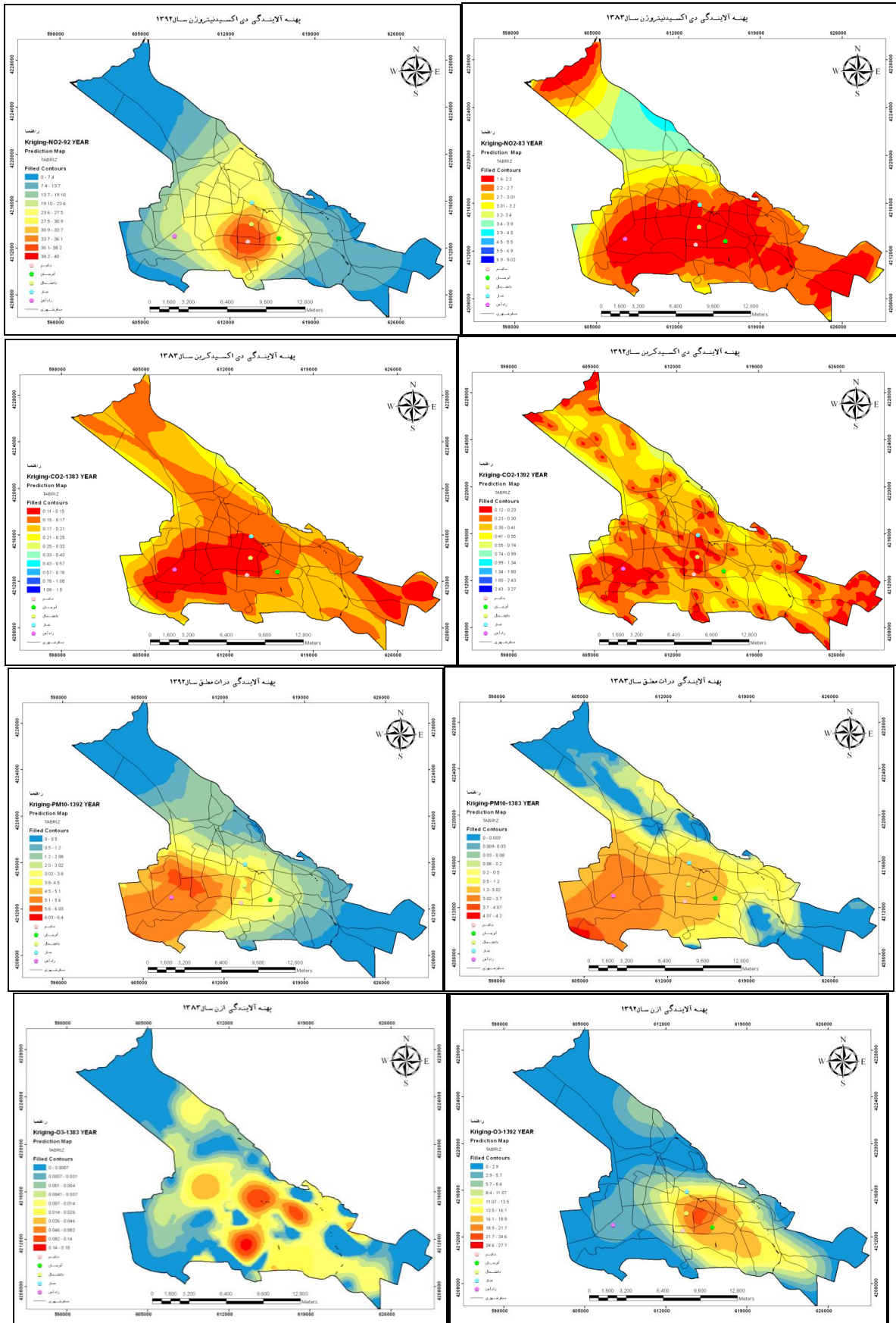
روش (اشکال شماره ۲ تا ۹) این امر محرز می‌شود که با توجه به وجود کاربری اراضی کارگاهی و صنایع در غرب و شمال غرب میزان آلاینده‌گی دی اکسید کربن در این نواحی نسبت به نواحی دیگر سطح بیشتری را پوشش داده است. همانطور که مشاهده می‌شود طی ده سال بر شعاع و شدت تراکم این آلاینده در سطح شهر افزوده شده است. در مورد آلاینده دی اکسید نیتروژن نیز باید بیان داشت که غلظت آن طی ده سال اخیر در سطح شهر بشدت افزایش پیدا کرده است. نگاهی به راهنمای نقشه های آن، نشان می‌دهد که تمرکز این آلاینده در نواحی مرکزی و غربی بوده و هم اکنون نیز بر غلظت تراکم آن افزوده شده است. در مورد آلاینده اوزن نیز تمرکز آلودگی در نواحی مرکزی و غربی و شرقی مشاهده می‌شود با این تفاوت که میزان آلاینده‌گی با اولویت دهم در سال ۱۳۸۳ به اولویت اول در سال ۱۳۹۲ منتقل شده است. بعبارتی غلظت نواحی مرکزی در سال ۸۳، اکنون در نواحی حاشیه‌ای شهر مشاهده می‌شود و تراکم آلودگی در نواحی مرکزی بسیار افزایش یافته است. همین وضعیت، یعنی افزایش میزان غلظت و تراکم آلاینده‌های فوق در مورد  $SO_2$  و  $PM_{10}$  نیز صادق می‌باشد. ذرات معلق نیز تمرکز خود را از شمال مناطق مرکزی در سال ۸۳ به کلیه نواحی سطح شهر در سال ۹۲ بجز بخش‌های کوچکی در بخش‌های جنوبی گسترده‌اند، در این نواحی نیز شدت و غلظت آلاینده از رده سوم به رده اول ارتقا پیدا کرده است.

پس از میانمایی به روش فوق، پهنه‌بندی آلاینده‌گی، برای هر عنصر آلاینده با استفاده از تابع میانمایی به روش‌های *Ordinary Kriging* تهیه می‌شود. (اشکال شماره ۱۰ تا ۱۷). توصیفات تمرکز، شدت و غلظت آلاینده‌ها در این بخش مشابه بخش قبل می‌باشد. تنها میزان دقت و خطا روش بیان شده در بخش قبل تفاوت می‌کند که در جداول بخش‌های بعد این مورد بررسی خواهد شد.



اشکال ۲ تا ۹- نقشه های پهنه بندی آلودگی هوای شهر تبریز به روش IDW- منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۳.





اشکال تا ۱۷- نقشه های پهنه بندی آلاینده های هوای شهر تبریز به روش *KIRIGING* - منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۳

مقدار  $RMSE$  کمتر برای هر یک از روش‌های میانبایی، بیانگر پهنه بودن آن روش میانبایی می‌باشد. در جداول شماره ۱ و ۲ به ترتیب مقایسه مقادیر  $RMSE$  و  $MAE$  برای هر یک از دو روش در ماه‌های مختلف، طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ را ارائه می‌دهند. مشاهده می‌شود که مقادیر  $RMSE$  و  $MAE$  مرتبط با میانبایی کریجینگ از میانبایی  $IDW$  کمتر و به صفر نزدیکتر می‌باشد. بنابراین میزان خطای درونبایی مدل  $ORDINARY KIRIGING$  از میزان خطای درونبایی مدل  $ORIGINAL IDW$  کمتر بوده و روش بهتری می‌باشد. همچنین بررسی مقادیر  $RMSE$  و  $MAE$  نشان می‌دهد مقادیر شاخص  $MAE$  نسبت به مقادیر شاخص  $RMSE$  اختلاف زیادی ندارند، ولی مقادیر شاخص  $MAE$  از شاخص  $RMSE$  کمتر می‌باشد. پس بررسی میزان دقت با این شاخص دقیق‌تر می‌باشد.

جدول ۱- مقایسه روشه ای میانبایی بر اساس مقادیر  $RMSE$  و  $MAE$  در شش ماه اول سال در تبریز

فصل ف						سال ل	معیاری	روش میانبایی
تابستان			بهار					
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین			
۶,۳۳۹۹	۶,۳۳۹۴	۶,۳۳۹۱	۶,۳۳۸۶	۶,۳۳۸۱	۶,۳۳۷۸	۸۳	$RMSE$	$IDW$
۶,۳۳۹۵	۶,۳۳۹۲	۶,۳۳۸۸	۶,۳۳۸۴	۶,۳۳۷۷	۶,۳۳۷۸		$MAE$	
۰,۸۹۹۹	۰,۸۹۹۷	۰,۸۹۹۵	۰,۹۸۸۴	۰,۸۹۹۱	۰,۸۹۸۶		$RMSE$	$KIRIGING$
۰,۸۹۹۴	۰,۸۹۹۵	۰,۸۹۹۴	۰,۹۸۸۲	۰,۸۹۸۸	۰,۸۹۸۴		$MAE$	
۶,۲۱۹۵	۶,۲۱۳۲	۶,۲۱۲۸	۶,۲۱۲۵	۶,۲۱۲۲	۶,۲۱۱۹	۸۴	$RMSE$	$IDW$
۶,۲۱۳۲	۶,۲۱۲۹	۶,۲۱۲۶	۶,۲۱۲۲	۶,۲۱۱۹	۶,۲۱۱۵		$MAE$	
۰,۹۲۳۲	۰,۹۲۲۶	۰,۹۲۲۸	۰,۹۲۱۴	۰,۹۲۱۰	۰,۹۲۰۱		$RMSE$	$KIRIGING$
۰,۹۲۲۹	۰,۹۲۲۱	۰,۹۲۱۷	۰,۹۲۱۱	۰,۹۲۰۸	۰,۹۱۰۸		$MAE$	
۵,۳۴۸۴	۵,۳۴۸۱	۵,۳۴۷۸	۵,۳۴۷۳	۵,۳۴۶۶	۵,۳۴۶۱	۸۵	$RMSE$	$IDW$
۵,۳۴۸۱	۵,۳۴۷۷	۵,۳۴۷۵	۵,۳۴۷۰	۵,۳۴۶۶	۵,۳۴۵۹		$MAE$	
۰,۹۷۳۹	۰,۹۷۳۷	۰,۹۷۳۲	۰,۹۷۲۸	۰,۹۷۲۴	۰,۹۷۱۴		$RMSE$	$KIRIGING$
۰,۹۷۳۸	۰,۹۷۳۶	۰,۹۷۳۰	۰,۹۷۲۵	۰,۹۷۲۰	۰,۹۷۱۱		$MAE$	
۴,۹۸۸۵	۴,۹۸۸۱	۴,۹۸۷۸	۴,۹۸۷۵	۴,۹۸۶۱	۴,۹۷۶۷	۸۶	$RMSE$	$IDW$
۴,۹۸۸۳	۴,۹۸۷۸	۴,۹۷۵۷	۴,۹۸۷۲	۴,۹۸۶۸	۴,۹۸۶۵		$MAE$	
۰,۹۹۴۴	۰,۹۹۴۱	۰,۹۹۳۷	۰,۹۹۳۴	۰,۹۹۳۱	۰,۹۹۲۸		$RMSE$	$KIRIGING$
۰,۹۹۴۲	۰,۹۹۳۹	۰,۹۹۳۴	۰,۹۹۳۱	۰,۹۹۲۸	۰,۹۹۲۴		$MAE$	
۴,۵۷۸۶	۴,۵۷۸۲	۴,۵۷۷۶	۴,۵۷۷۲	۴,۵۷۶۷	۴,۵۷۶۴	۸۷	$RMSE$	$IDW$
۴,۵۷۸۳	۴,۵۷۸۷	۴,۵۷۷۳	۴,۵۷۶۹	۴,۵۷۶۷	۴,۵۷۶۱		$MAE$	
۱,۰۷۹۱	۱,۰۷۸۸	۱,۰۸۷۵	۱,۰۸۷۲	۱,۰۷۷۹	۱,۰۷۷۲		$RMSE$	$KIRIGING$
۱,۰۸۸۷	۱,۰۸۷۶	۱,۰۸۷۱	۱,۰۸۷	۱,۰۷۷۵	۱,۰۷۷۶		$MAE$	
۴,۵۵۷۲	۴,۵۵۶۸	۴,۵۵۶۶	۴,۵۵۶۱	۴,۵۵۵۶	۴,۵۵۵۱	۸۸	$RMSE$	$IDW$
۴,۵۵۷۰	۴,۵۵۶۶	۴,۵۵۶۴	۴,۵۵۸۵	۴,۵۵۵۲	۴,۵۵۴۹		$MAE$	
۱,۱۳۱	۱,۱۳۰۸	۱,۱۳۰۵	۱,۱۳۰۲	۱,۱۲۹۷	۱,۱۲۹۴		$RMSE$	$KIRIGING$
۱,۱۳۰۹	۱,۱۳۰۵	۱,۱۳۰۲	۱,۱۲۲۹	۱,۱۲۹۵	۱,۱۲۹۱		$MAE$	
۴,۵۳۴۳	۴,۵۳۴۲	۴,۵۳۳۷	۴,۵۳۳۱	۴,۵۳۲۶	۴,۵۳۲۰	۸۹	$RMSE$	$IDW$
۴,۵۳۵	۴,۵۳۴	۴,۵۳۳۲	۴,۵۳۲۸	۴,۵۳۲۱	۴,۵۳۱۸		$MAE$	
۱,۱۳۴۸	۱,۱۳۴۷	۱,۱۳۴۲	۱,۱۳۳۷	۱,۱۳۳۲	۱,۱۳۲۷		$RMSE$	$KIRIGING$
۱,۱۳۴۵	۱,۱۳۴۴	۱,۱۳۳۸	۱,۱۳۳۵	۱,۱۳۳	۱,۱۳۲۵		$MAE$	
۴,۵۸۶۴	۴,۵۸۶۳	۴,۵۸۵۸	۴,۵۸۵۲	۴,۵۸۴۶	۴,۵۸۴۲	۹۰	$RMSE$	$IDW$
۴,۵۸۶۱	۴,۵۸۶۱	۴,۵۸۵۵	۴,۵۸۴۹	۴,۵۸۴۲	۴,۵۸۴۰		$MAE$	
۱,۱۴۰۶	۱,۱۴۰۵	۱,۱۳۹۹	۱,۱۳۹۵	۱,۱۳۹۱	۱,۱۳۸۴		$RMSE$	$KIRIGING$
۱,۱۴۰۲	۱,۱۴۰۲	۱,۱۳۹۷	۱,۱۳۹۳	۱,۱۳۸۷	۱,۱۳۷۹		$MAE$	
۴,۹۰۲۳	۴,۹۰۳۱	۴,۹۰۲۶	۴,۹۰۲۱	۴,۹۰۱۷	۴,۹۰۱۳	۹۱	$RMSE$	$IDW$
۴,۹۰۲۸	۴,۹۰۲۸	۴,۹۰۲۴	۴,۹۰۱۹	۴,۹۰۱۵	۴,۹۰۱۱		$MAE$	
۱,۰۸۳۸	۱,۰۸۳۱	۱,۰۸۲۸	۱,۰۸۲۳	۱,۰۸۱۹	۱,۰۸۱۶		$RMSE$	$KIRIGING$
۱,۰۸۲۹	۱,۰۸۲۹	۱,۰۸۲۵	۱,۰۸۲۱	۱,۰۸۱۷	۱,۰۸۱۴		$MAE$	
۵,۳۸۵۰	۵,۳۸۴۹	۵,۳۸۴۶	۵,۳۸۴۲	۵,۳۷۳۸	۵,۳۸۳۰	۹۲	$RMSE$	$IDW$
۵,۳۸۴۶	۵,۳۸۴۶	۵,۳۸۴۴	۵,۳۸۴	۵,۳۸۳۵	۵,۳۸۲۹		$MAE$	
۰,۹۹۸۸	۰,۹۹۸۷	۰,۹۲۸۷	۰,۹۲۸۲	۰,۹۲۷۸	۰,۹۲۷۲		$RMSE$	$KIRIGING$
۰,۹۲۸۷	۰,۹۲۸۶	۰,۹۲۸۵	۰,۹۲۷۹	۰,۹۲۷۵	۰,۹۲۶۹		$MAE$	



جدول ۲- مقایسه روش های میانبایی براساس مقادیر  $RMSE$  و  $MAE$  درشش ماه دوم سال

فصل						سال	معیار	روش میانبایی روش میانبایی
زمستان			پاییز					
اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر			
۶,۳۴۲۱	۶,۳۴۱۷	۶,۳۴۱۴	۶,۳۴۱۱	۶,۳۴۰۸	۶,۳۴۰۲	۸۳	$RMSE$	$IDW$
۶,۳۴۱۸	۶,۳۴۱۵	۶,۳۴۱	۶,۳۴۰۸	۶,۳۴۰۵	۶,۳۳۹۹		$MAE$	
۰,۹۰۱۸	۰,۹۰۱۴	۰,۹۰۱۱	۰,۹۰۰۹	۰,۹۰۰۸	۰,۹۹۲		$RMSE$	$KIRIGING$
۰,۹۰۱۶	۰,۹۰۱۲	۰,۹۰۱۰	۰,۹۰۰۸	۰,۹۰۰۶	۰,۸۹۹۹		$MAE$	
۶,۲۱۵۷	۶,۲۱۵۱	۶,۲۱۴۸	۶,۲۱۴۵	۶,۲۱۴۲	۶,۲۸۳۱	۸۴	$RMSE$	$IDW$
۶,۲۱۵۵	۶,۲۱۴۸	۶,۲۱۴۶	۶,۲۱۴۲	۶,۲۱۴۰	۶,۲۱۳۵		$MAE$	
۰,۹۲۵۳	۰,۹۲۴۹	۰,۹۲۷۴	۰,۹۲۴۲	۰,۹۲۳۸	۰,۹۲۳۶		$RMSE$	$KIRIGING$
۰,۹۲۵۱	۰,۹۲۴۷	۰,۹۲۴۴	۰,۹۲۳۹	۰,۹۲۳۶	۰,۹۲۳۳		$MAE$	
۵,۳۵۱۱	۵,۳۵۰۷	۵,۳۵۰۴	۵,۳۴۹۲	۵,۳۴۴۶	۵,۳۴۹۲	۸۵	$RMSE$	$IDW$
۵,۳۵۰۹	۵,۳۵۰۶	۵,۳۵۰۲	۵,۳۴۹۷	۵,۳۴۹۴	۵,۳۴۸۹		$MAE$	
۰,۹۷۵۸	۰,۹۷۵۷	۰,۹۷۹۳	۰,۹۷۴۹	۰,۹۷۴۷	۰,۹۷۳۴		$RMSE$	$KIRIGING$
۰,۹۷۵۶	۰,۹۷۵۳	۰,۹۷۴۲	۰,۹۷۴۸	۰,۹۷۴۵	۰,۹۱۴۱		$MAE$	
۴,۹۹۰۷	۴,۹۹۰۴	۴,۹۸۹۷	۴,۹۸۸۴	۴,۹۸۹۱	۴,۹۸۸۸	۸۶	$RMSE$	$IDW$
۴,۹۹۰۵	۴,۹۸۹۹	۴,۹۸۹۶	۴,۹۸۹۲	۴,۹۸۸۹	۴,۹۸۸۵		$MAE$	
۰,۹۹۶۴	۰,۹۹۵۹	۰,۹۹۵۷	۰,۹۹۵۷	۰,۹۹۵۲	۰,۹۹۴۸		$RMSE$	$KIRIGING$
۰,۹۹۶۱	۰,۹۹۵۶	۰,۹۹۵۵	۰,۹۹۵۲	۰,۹۹۴۸	۰,۹۹۴۶		$MAE$	
۴,۵۸۰۳	۴,۵۸۰۳	۴,۵۷۹۶	۴,۵۷۹۵	۴,۵۷۹۳	۴,۵۷۸۹	۸۷	$RMSE$	$IDW$
۴,۵۸۰۸	۴,۵۸	۴,۵۷۹۳	۴,۵۷۹۳	۴,۵۷۹۱	۴,۵۷۸۷		$MAE$	
۱,۰۸۱۲	۱,۰۸۰۹	۱,۰۸۰۶	۱,۰۸۰۲	۱,۰۸۹۷	۱,۰۷۹۵		$RMSE$	$KIRIGING$
۱,۰۸۰۱	۱,۰۸۰۷	۱,۰۸۰۴	۱,۰۷۷۹	۱,۰۷۹۶	۱,۰۷۳۹		$MAE$	
۴,۵۵۹۷	۴,۵۵۹۲	۴,۵۵۷۸	۴,۵۵۸۵	۴,۵۵۸۱	۴,۵۵۷۶	۸۸	$RMSE$	$IDW$
۴,۵۵۹۶	۴,۵۵۸۹	۴,۵۵۸۶	۴,۵۵۸۳	۴,۵۵۷۹	۴,۵۵۷۴		$MAE$	
۱,۱۳۳۲	۱,۱۳۲۸	۱,۱۳۲۴	۱,۱۳۱۹	۱,۱۳۱۷	۱,۱۳۱۳		$RMSE$	$KIRIGING$
۱,۱۳۳۰	۱,۱۳۲۶	۱,۱۳۲۲	۱,۱۳۱۶	۱,۱۳۱۵	۱,۱۳۱۱		$MAE$	
۴,۵۳۶۲	۴,۵۳۵۷	۴,۵۳۵۴	۴,۵۳۵۱	۴,۵۳۴۸	۴,۵۳۴۴	۸۹	$RMSE$	$IDW$
۴,۵۳۵۹	۴,۵۳۵۵	۴,۵۳۵۲	۴,۵۳۴۸	۴,۵۳۴۶	۴,۵۳۴۲		$MAE$	
۱,۱۳۶۸	۱,۱۳۶۶	۱,۱۳۶۳	۱,۱۳۵۹	۱,۱۳۵۷	۱,۱۳۵۲		$RMSE$	$KIRIGING$
۱,۱۳۶۵	۱,۱۳۶۴	۱,۱۳۶۱	۱,۱۳۵۸	۱,۱۳۵۴	۱,۱۳۴۹		$MAE$	
۴,۵۸۸۷	۴,۵۸۸۳	۴,۵۸۷۹	۴,۵۸۴۶	۴,۵۷۷۳	۴,۵۸۶۸	۹۰	$RMSE$	$IDW$
۴,۵۸۸۵	۴,۴۸۸۱	۴,۵۸۷۷	۴,۵۸۷۴	۵,۵۵۸۱	۴,۵۸۶۵		$MAE$	
۱,۱۴۲۶	۱,۱۴۲۴	۱,۱۴۲۱	۱,۱۴۱۷	۱,۱۴۱۴	۱,۱۴۰۹		$RMSE$	$KIRIGING$
۱,۱۴۲۳	۱,۱۴۲۲	۱,۱۴۱۸	۱,۱۴۱۵	۱,۱۴۱۱	۱,۱۴۰۸		$MAE$	
۴,۹۰۵۸	۴,۹۰۵۳	۴,۹۰۴۹	۴,۹۰۴۵	۴,۹۰۴۲	۴,۹۰۷۳	۹۱	$RMSE$	$IDW$
۴,۹۰۵۶	۴,۹۰۵۱	۴,۹۰۴۶	۴,۹۰۴۳	۴,۹۰۴	۴,۹۰۳۴		$MAE$	
۱,۰۸۵۱	۱,۰۸۴۸	۱,۰۸۴۴	۱,۰۸۳۹	۱,۰۸۳۷	۱,۰۸۳۹		$RMSE$	$KIRIGING$
۱,۰۸۴۹	۱,۰۸۴۵	۱,۰۸۴۲	۱,۰۸۳۷	۱,۰۸۳۶	۱,۰۸۳۱		$MAE$	
۵,۳۸۷۴	۵,۳۸۷۲	۵,۳۸۶۵	۵,۳۸۶۰	۵,۳۸۵۷	۵,۳۸۵۴	۹۲	$RMSE$	$IDW$
۵,۳۸۷	۵,۳۸۶۹	۵,۳۸۶۲	۵,۳۸۴۵	۵,۳۸۵۶	۵,۳۸۵۲		$MAE$	
۰,۹۳۱۱	۰,۹۳۰۸	۰,۹۳۰۴	۰,۹۳۰۱	۰,۹۲۹۴	۰,۹۲۹۱		$RMSE$	$KIRIGING$
۰,۹۳۰۹	۰,۹۳۰۶	۰,۹۳۰۱	۰,۹۲۹۸	۰,۹۲۹۲	۰,۹۲۸۹		$MAE$	

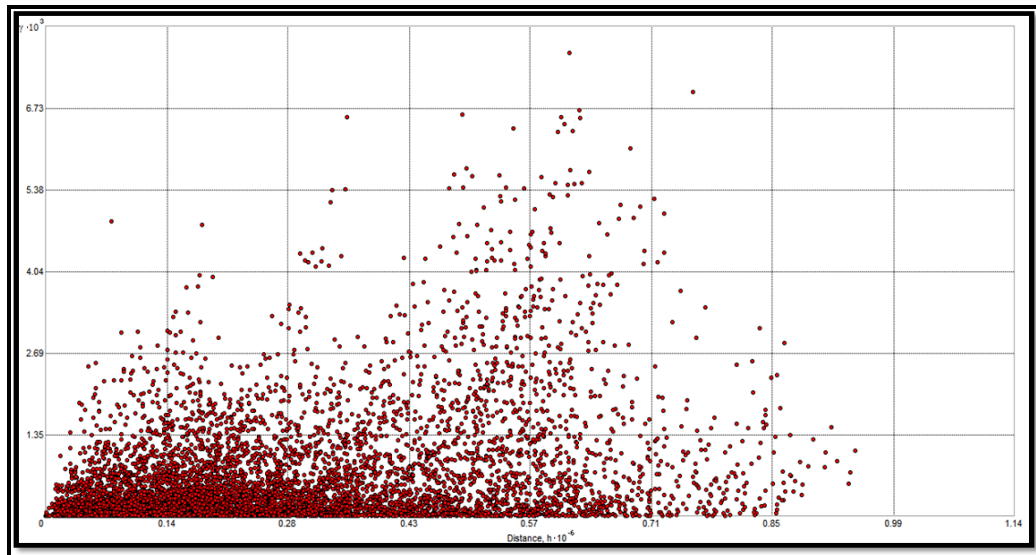
منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۳.

در مرحله نهایی، مدل‌سازی ساختار فضایی نمونه‌ها: که در این مرحله حالت همگنی یا ناهمگنی نمونه‌ها را در نمودار واریوگرام مورد بررسی قرار می‌دهد. سعی واریوگرام، بر اساس این تفکر که خواص آلاینده‌های هوای شهر تبریز در مکان‌های

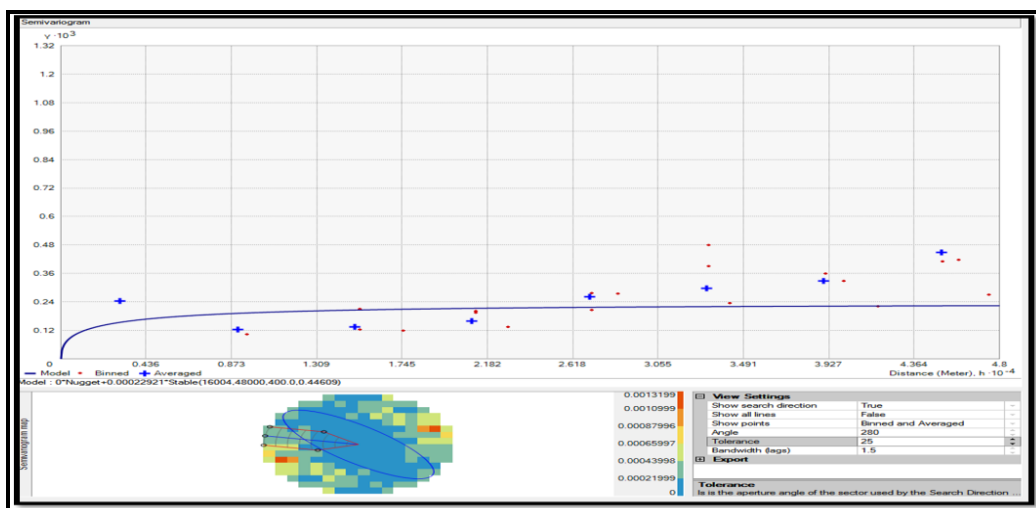
نزدیکتر شباهت بیشتری دارند تا در فاصله های دورتر، درجه وابستگی یا همبستگی بین نقاط نمونه برداری شده از آلاینده ها را اندازه گیری می کند.

در محور طولی ( $X$ ) یک سمی واریوگرام فاصله بین نمونه ها و در محور عرضی ( $Y$ ) مربع اختلاف بین مقدار یا واریانس نمونه ها ترسیم می شود و هر نقطه در نمودار سمی واریوگرام موقعیتی از دو نقطه را نشان می دهد (دسپینا، ۲۰۱۱: ۴۳). همانطور که مشاهده می شود (شکل شماره ۱۸) بین داده های حاصل از آلاینده های هوای شهر تبریز همبستگی فضایی وجود دارد، زیرا نمونه ها به هم نزدیک و در قسمت چپ محور  $x$  و پایین محور  $y$  قرار می گیرند. همانطور که نقاط نمونه از نواحی مرکزی و غربی شهر هم دور می شوند به طرف راست محور  $x$  حرکت می کنند مربع اختلافات بیشتر شده و در سمت بالای محور  $y$  قرار می گیرد. فرض اساسی در این تحلیل آن است که نمونه های جفت که فاصله و جهت مشابه دارند دارای واریانس-های مشابه نیز می باشند، یعنی ایستایی دارند که در نواحی جنوبی این ایستایی کاهش می یابد. تغییرات فضایی پایدار در خود همبستگی فضایی یا ایزوتروپی در نواحی مرکزی و باتوجه به سمت چپ نمودار واریوگرام کم و در دیگر نواحی زیاد می شود.

جهت ترسیم واریوگرام ابتدا مقدار تابع را به ازای مقادیر مختلف فاصله یا تعداد گام (در این تحقیق  $LAG=10$ )، محاسبه و سپس مقادیر مورد نظر را به ازای فواصل (در این تحقیق  $LAGSIZE=6000$ )، در یک نمودار رسم گردید. بطوری که دیده می شود با افزایش فاصله  $h$  مقدار واریوگرام نیز بتدریج تا فاصله معینی زیاد شده و از آن به بعد به حد ثابتی می رسد که نشانگر حد آستانه می باشد. در این فاصله مقدار واریوگرام به مقدار واریانس مشاهدات نزدیک می شود. فاصله ای که میزان واریوگرام به حد ثابتی می رسد، اصطلاحاً دامنه تأثیر نامیده می شود. به عبارتی، دامنه تأثیر فاصله ای است که در ماورای آن نمونه ها برهم تأثیری نداشته و آنها را می توان مستقل از یکدیگر محسوب نمود (Tania, 2010, 19). مقدار واریوگرام در مبدأ صفر نبوده و واریوگرام ها از مرکز مختصات محور واریوگرام عبور نمی نمایند. شدت شیب اولیه واریوگرام بیانگر شدت تغییرات مکانی نمونه های آلاینده بعنوان تابعی از فاصله و میزان کاهش همبستگی مکانی بین نمونه ها است. شکل سهمی گونه در نزدیکی مبدأ مختصات واریوگرام حاکی از درجه پیوستگی بسیار بالا به همراه روند موضعی در تغییر آلاینده ها است. (شکل شماره ۱۹).



شکل ۱۸- نمودار واریوگرام نمونه های تحقیق



شکل ۱۹- نمودار سمی واریوگرام نمونه های تحقیق

نتایج جداول ۳ و ۴ نیز نشان می‌دهد که مقادیر *RMS* روش کریجینگ از *IDW* بیشتر بوده (عکس حالت *RMSE*)، بنابراین مناسب‌ترین شیوه تشکیل نقشه نهایی نیز روش کریجینگ می‌باشد. نتایج با تحقیقات پروین‌نژاد حکم‌آبادی و همکاران (۱۳۸۸)، ضرابی و همکاران (۱۳۸۹)، شکری فیروزه‌جاه (۱۳۹۰)، تامبت و همکاران (۲۰۰۹) و کاناروگلو و همکاران (۲۰۰۸) همسو و با نتایج تحقیقات فتح‌تبار فیروز جایی و همکاران (۱۳۹۰)، میرموسوی و میریان (۱۳۹۰)، صاحبی و همکاران (۱۳۹۲)، نورنورازیانا و همکاران (۲۰۰۸) و شاد و همکاران (۲۰۰۷) ناهمسو می‌باشد.

جدول ۳- بررسی میزان خطای درون‌یابی به شیوه *IDW*

سال										نوع میان‌یابی و معیار	نوع الیاندگی
۹۲	۹۱	۹۰	۸۹	۸۸	۸۷	۸۶	۸۵	۸۴	۸۳	<i>IDW</i>	
۱۶,۶۹۷۳	۱۶,۶۳۵۶	۱۶,۲۸۴۶	۱۵,۹۳۵۶	۱۵,۸۱۴۵	۱۵,۴۲۵۸	۱۵,۳۳۲۸	۱۵,۱۰۲۶	۱۴,۹۶۳۳	۱۴,۹۱۴۷	<i>RM S</i>	<i>NO2</i>
۱۶,۳۴۶۳	۱۶,۱۸۳۱	۱۵,۹۸۱۷	۱۵,۶۴۰۹	۱۵,۲۲۷۴	۱۵,۲۲۷۴	۱۴,۳۱۵۸	۱۳,۹۲۱	۱۲,۵۲۱۶	۱۱,۱۶۸۷	<i>RM S</i>	<i>SO2</i>
۰,۶۷۱۲	۰,۶۵۴۸	۰,۶۳۶۹	۰,۶۱۴۵	۰,۵۷۳۴	۰,۵۷۳۴	۰,۵۲۲۲	۰,۴۸۶۱	۰,۳۸۳۴	۰,۳۲۱۳	<i>RM S</i>	<i>CO2</i>
۴۰,۱۱۸۸	۳۹,۹۳۹۱	۳۹,۷۷۵۸	۳۸,۵۸۱۱	۳۷,۹۵۱	۳۷,۹۵۱	۳۷,۲۵۴۹	۳۶,۹۳۲۷	۳۶,۷۴۱۲	۳۶,۵۶۱۳	<i>RM S</i>	<i>PM10</i>
۴,۳۷۲۹	۳,۸۶۳۴	۳,۷۸۵۶	۲,۸۲۴۷	۱,۹۸۱۷	۱,۹۸۱۷	۰,۴۷۲	۰,۳۲۱۷	۰,۱۳۵۴	۰,۰۲۵۱	<i>RM S</i>	<i>O3</i>

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۳.

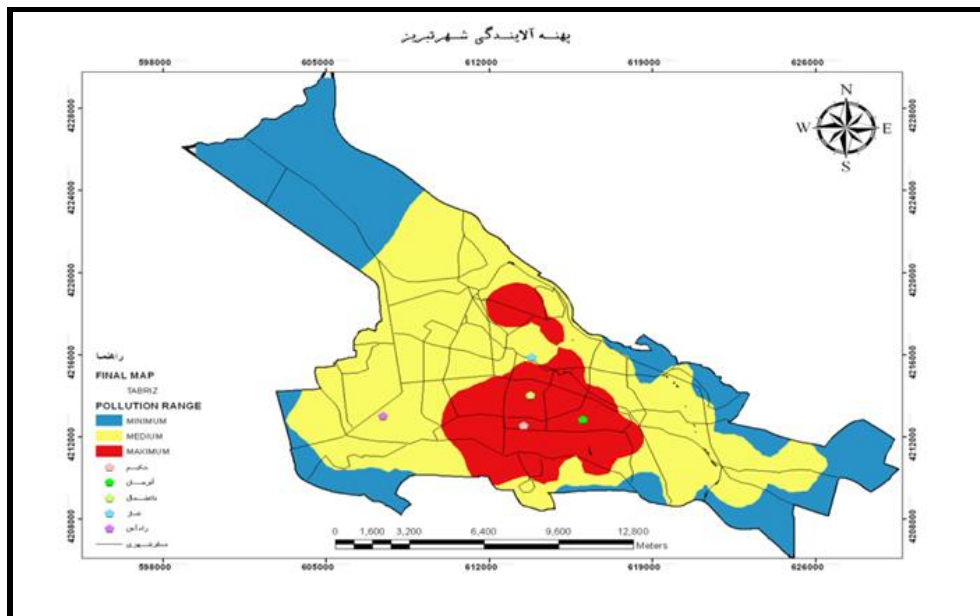
جدول ۴- بررسی میزان خطای درون‌یابی به شیوه *KIRING*

سال										نوع میان‌یابی و معیار	نوع الیاندگی
۹۲	۹۱	۹۰	۸۹	۸۸	۸۷	۸۶	۸۵	۸۴	۸۳	<i>KIRING</i>	
۱۳,۵۷۷۹	۱۳,۵۱۰۶	۱۳,۴۷۸۶	۱۱۳,۳۲۶۴	۱۳,۳۲۶۴	۱۳,۱۳۴	۱۳,۹۷۲	۱۳,۰۶۱۳	۱۳,۰۴۵۶	۱۳,۰۲۴۵	<i>RM S</i>	<i>NO2</i>
۹,۶۸۵۶	۹,۶۶۴۱	۹,۶۲۵۸	۹,۶۱۳۷	۹,۵۶۴۴	۹,۵۶۷۷	۹,۷۶۲۱	۹,۸۵۸۴	۱۰,۱۹۶۴	۱۰,۲۱۳۵	<i>RM S</i>	<i>SO2</i>
۰,۵۲۴۷	۰,۵۱۰۲	۰,۴۸۷۳	۰,۴۶۷۳	۰,۴۴۱۱	۰,۴۲۹۳	۰,۴۱۵۷	۰,۳۹۸۱	۰,۳۷۲۱	۰,۳۵۲۲	<i>RM S</i>	<i>CO2</i>
۳,۶۹۱۹	۳,۴۲۲۱	۳,۳۰۵۸	۳,۳۰۵۸	۲,۵۴۶۵	۲,۴۴۶۵	۱,۵۴۹۲	۰,۹۷۲۶	۰,۱۵۸۱	۰,۰۳۴۶	<i>RM S</i>	<i>PM10</i>
۰,۸۳۴۹	۰,۸۱۲۶	۰,۷۹۵۳	۰,۷۹۵۳	۰,۶۹۳۵	۰,۶۶۷۸	۰,۶۲۷۳	۰,۵۲۳۷	۰,۴۵۱۹	۰,۳۹۰۷	<i>RM S</i>	<i>O3</i>

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۳.

در ادامه نقشه نهایی پهنه‌بندی هوای آلوده در شهر تبریز نشان می‌دهد که بیشترین تراکم آلودگی در شهر متعلق به مرکز تبریز می‌باشد، جایی که در آن بافت فرسوده شهر نیز وجود دارد. دسترسی‌های نامناسب به همراه ترافیک زیاد یکی از

علت‌های اصلی تراکم دی اکسید کربن در این منطقه شهر است. در سوی دیگر نواحی پیرامونی شهر با ازدحام کمتر و تراکم پایین‌تر ساختمانی دارای کمترین آلودگی می‌باشند. گرچه وجود آلودگی را نباید صرفاً به وجود اتومبیل و ترافیک دانست و سایر عوامل ثابت از جمله موتورخانه‌های ساختمان‌ها نقش زیادی در آلودگی دارند، ولی در تبریز شواهد نشان می‌دهد که اتومبیل و ترافیک ناشی از آن در آلوده نمودن هوای شهر و متمایز نمودن مناطق از هم نقش بسزایی دارد. (شکل شماره ۲۰).



شکل ۲۰- نقشه پهنه آلودگی هوا در شهر تبریز

#### نتیجه‌گیری:

روند شهرگرایی در کشور ما کلانشهرها را به چالش‌های زیادی روبه رو نموده که پایداری آنها را به خطر مواجهه می‌کند. با توجه به رشد جمعیت زیاد شهر تبریز، توجه به مقوله‌های زیست محیطی و افزایش کیفیت زندگی از ضروریات برنامه‌ریزی قلمداد می‌شود. از این‌رو برای توسعه پایدار شهری توجه به آلودگی‌ها به ویژه آلودگی هوا که شهروندان تمام وقت از آن استفاده می‌کنند، امری ضروری است. برآورد کیفیت هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مراکز شهری وابسته به فهرست منابع مفصلی مانند اطلاعات آلودگی، مکان‌های آلوده، کنترل جوی و توانایی مدلسازی مناسب است. بدین منظور سنجش آلودگی هوای شهر تبریز، برای کلیه ماه‌های سال در بازه زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲، از تکنیک میان‌یابی کریجینگ و درونیابی *IDW* با شاخص‌های *MAE* و *RMSE* استفاده شد. همچنین ۵ آلاینده اصلی هوای شهر تبریز از مراکز سنجش آلودگی هوا اخذ شد. پس از پهنه‌بندی آلودگی هوای تبریز به هر دو روش؛ مشخص شد که روش *ORDINARY KIRIGING* با شاخص *MAE* از روش *IDW* و شاخص *RMSE* درونیابی و سنجش خطای کمتری ارائه می‌دهند. نتایج نشان داد علاوه بر موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی شهر تبریز به ویژه قرار گرفتن کوه‌های زینال و عینال در سمت شمال غربی، کاربری‌های تجاری، اداری و صنعتی، سرانه پایین معابر و فضای سبز از عمده‌ترین عوامل ایجاد آلودگی در نواحی مرکزی و غربی شهر تبریز می‌باشد. جهت و سرعت باد، در فصول مختلف طی ماه‌های گرم و سرد نیز بر این امر تأثیر گذارند. نقشه‌های پهنه‌بندی هر یک از آلاینده‌ها نیز در ابتدا و انتهای بازه زمانی تحقیق، نیز نشان دهنده روند افزایشی هر یک، طی ده سال اخیر می‌باشد. نقشه نهایی از پهنه‌بندی نیز گواه موارد ذکر شده فوق می‌باشد. در ادامه و با استناد به یافته‌ها به آزمون فرضیه‌های تحقیق (جدول شماره ۵) پرداخته و در نهایت پیشنهادهای لازم در این زمینه ارائه می‌گردد:

جدول ۵- خلاصه آزمون فرضیات پژوهش

ردیف	فرضیه	رد	اثبات	دلایل
۱	به نظر می‌رسد بهترین الگوریتم درون‌یابی در توزیع آلودگی روش کریجینگ می‌باشد	*	*	میزان پایین ضرایب میزان خطای درون‌یابی $MAE$ و $RMSE$ کریجینگ نسبت به $IDW$ (جدول ۲-۴ و ۳-۴)
۲	تراکم آلاینده‌ها در مرکز و غرب شهر تبریز بیش از سایر نقاط آن می‌باشد.	*	*	۱- وجود کاربریهای تجاری در محدوده مرکزی شهر ۲- وجود تراکم جمعیت ساکن و روزانه بالا ۳- وجود حجم معابر پایین ۴- کمبود پار و فضای سبز در منطقه ۵- وجود صنایع و کارگاه‌های صنعتی در نواحی غربی ۶- جهت شمال شرق و شرقی باید در فصل بهار و تابستان ۷- جهت غربی و جنوب غربی باد در فصول سرد سال ۸- سرعت پایین باد در فصل سرد و سکون هوا
۳	برخی از کاربریها سبب کاهش آلودگی هوا و برخی از کاربریها بی‌تاثیر و برخی باعث افزایش آلودگی هوا می‌گردد.	*	*	۱- کاربریهای تجاری و اداری در مرکز شهر، کاربری مسکونی در مرکز شهر، کاربری صنعتی در نواحی غربی و شمال‌غربی شهر و کمبود کاربری معابر منجر به افزایش آلودگی شده‌اند. ۲- وجود کاربری باغات در حومه و اطراف شهر، و وجود کاربری معابر با درجه شربانی یک و دو با حجم مناسب (۹۷ درصد از کل معابر)، سرانه متناسب کاربری فضای سبز شهری باعث کاهش آلودگی نواحی دیگر شده‌اند. ۲- کاربری‌های بایر و متروکه و تخریبی بی‌تاثیر هستند

## ارائه پیشنهادها:

- افزایش سرانه‌های کاربری فضای سبز و باغات در نواحی مرکزی و غربی شهر؛
- ساماندهی سیستم حمل و نقل و ترافیک شهری بخصوص در نواحی مرکزی شهر؛
- انتقال و استقرار مراکز صنعتی از نواحی مرکزی شهری و همین‌طور از نواحی غرب و شمال غرب به فواصل دورتر؛
- افزایش سرانه کاربری معابر شهری نواحی مرکزی؛
- افزایش تعداد ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در مناطق جنوبی و شمالی شهر؛
- استفاده از سایر روش‌های پهنه‌بندی آلودگی هوا از جمله روش‌های درون‌یابی با توابع مختلف به منظور شناسایی دقیق‌تر میزان توسعه آلودگی هوای تبریز.

## منابع و مآخذ:

۱. پریزان، محمد (۱۳۸۸): «نمایش آلودگی هوای شهر بر اساس ذرات معلق موجود در هوا با استفاده از GIS مطالعه موردی شهر تبریز»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار.
۲. شهبازی، ابراهیم (۱۳۹۱): «مطالعه توزیع آلودگی هوای شهری با استفاده از روش‌های درون‌یابی، مطالعه موردی: شهر تبریز»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر.
۳. شگری فیروزه‌جاه، 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 دوم، شماره اول، قشم، صص ۳۳-۴۴.
۴. صاحبی، سعیده و همکاران (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.
۵. ضرابی اصغر و جمال محمدی (۱۳۸۹): «بررسی و ارزیابی منابع ثابت و متحرک در آلودگی هوای شهر اصفهان»، فصلنامه جغرافیا (انجمن جغرافیای ایران)، دوره جدید، سال هشتم، شماره ۲۶، تهران، صص ۱۶۵-۱۵۱.

۶. عطایی، هوشمند و سادات هاشمی نسب (۱۳۹۰): «شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو موثر در آلودگی هوا، با به کارگیری داده های شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI)، مطالعه موردی شهر اصفهان»، مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال دوم، شماره ۴، مردودشت، صص ۹۷-۱۱۳.
۷. فتح تبار فیروز جایی، سمیه (۱۳۳۹۰): «پهنه بندی آلاینده های هوا با استفاده از مدل های آماری و تکنیک GIS، مطالعه موردی شهر تهران»، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، همدان.
۸. فرخی سبکبار، حسنعلی (۱۳۸۵): «ارزیابی میزان دقت روش های درون یابی فضایی با استفاده از روشهای آماری، مطالعه موردی الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد»، فصلنامه پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۸، تهران.
۹. متصدی زرنندی، سعید (۱۳۸۶)، «پیشنهاد بازنگری طرح جامع کاهش آلودگی هوای در خصوص منواکسید کربن با استفاده از نرم افزار EXCEL مورد شهر تهران»، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۱، شماره ۳، تهران، صص ۱۷-۳۶.
۱۰. میر موسوی، سید حسین (۱۳۹۰): «کاربرد روش های زمین آمار در برآورد و توزیع مکانی بارش بر اساس روش های درون یابی، مطالعه موردی استان کرمان»، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۶، شماره ۳۸، تبریز، صص
۱۱. نصراللهی، زهرا (۱۳۸۹): «آلودگی هوا و عوامل مؤثر بر مطالعه موردی انتشار SPM و SO<sub>2</sub> در صنایع تولیدی ایران و به کمک داده های تابلویی برای دوره ۸۶-۱۳۷۴ و روش اثر تصادفی»، فصلنامه پژوهش های اقتصادی، سال دهم، شماره ۳، تهران، صص ۱۱۸-۱۰۳.
۱۲. ولیزاده، خلیل (۱۳۸۹): «مقایسه روش های درون یابی در پهنه بندی خشکسالی با استفاده از نرم افزار GIS ARC»، مطالعه موردی استان کرمان، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۱۳. صلاحی، برومند و ولیزاده، خلیل (۱۳۸۶): «شبیه سازی تغییرات دما و بارش در شرایط دو برابر شدن دی اکسید کربن جو با استفاده از مدل گردش عمومی، موسسه مطالعات فضائی گوآرد GIS، مطالعه موردی شهر تبریز»، فصلنامه پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۲، تهران، صص ۵۵-۶۶.
۱۴. هادی پور، مهرداد و شراره پور ابراهیم (۱۳۸۹): «مکان یابی مناطق مسکونی در برنامه ریزی حمل و نقل شهری با استفاده از GIS و مدل سازی ریاضی انتشار آلودگی هوا»، فصلنامه محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۹، تهران، صص ۱۴۹-۱۳۵.

15. Despina ,D ,and K., Philippopoulos, (2011): *Spatial Interpolation Methodologies in Urban Air Pollution Modeling: Application for the Greater Area of Metropolitan Athens, Greece, National and Kapodistrian University of Athens Greece*

16. Tania f, N., Barros, (2010): *Interpolation of Air Quality Monitoring Data in an Urban Sensitive Area: the Oporto/Asprela case.*

17. M. Tombette, V. Mallet, and B., Sportisse (2009): *PM ۱۰ data assimilation over Europe with the optimal interpolation method.*

18. *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*, Jin Li and Andrew D. Heap, 2008.

19. Mohamed Noor N, Y Shukric, Ramli Nor Azamc., Abdullah Mohd Mustafa Al Bakrib (2008): *Estimation of missing values in air pollution data using single imputation techniques*

20. Roozbeh Shad, H., Ashoori, N. Afshari (2007): *Evaluation Of Optimum Methods For Predicting Pollution Concentration In Gis Environment, Faculty of Geodesy and Geomatics Eng. K.N.Toosi University of Technology.*