



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

۱۸۷-۲۰۲

ارزیابی سطح اطمینان در یک مدل سازی فضایی برای شناسایی احتمال آلاینده‌گی هوا (NO₂, CO) در کلانشهر تهران

حمید سرخیل*، مریم فخاری، بهزاد رایگانی و جواد بداق جمالی
گروه محیط زیست انسانی، دانشکده محیط زیست، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰

سرخیل، ح.، م. فخاری، ب. رایگانی و ج. بداق جمالی. ۱۳۹۹. ارزیابی سطح اطمینان در یک مدل سازی فضایی برای شناسایی احتمال آلاینده‌گی هوا (NO₂, CO) در کلانشهر تهران. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۲): ۱۸۷-۲۰۲.

سابقه و هدف: شهر تهران با وسعتی در حدود ۷۵۰ کیلومتر مربع و جمعیتی بیش از ۸ میلیون نفر و در حدود ۴ میلیون خودرو در حال تردد با مشکل آلودگی هوا به صورت جدی مواجه می‌باشد. بررسی دقیق توزیع فضایی و آلاینده‌هایی از قبیل CO و NO₂ در کلانشهر تهران به منظور شناسایی خطر، احتمال و ریسک این آلاینده‌ها بسیار دارای اهمیت می‌باشد، با توجه به آن بهره‌گیری از روش‌های محاسباتی ریاضی از قبیل روش ارزیابی سطح اطمینان می‌تواند مؤثر باشد. تاکنون تحقیقی در رابطه با محاسبه سطح اطمینان صورت نگرفته است. هدف‌های اصلی این تحقیق بررسی تغییرات غلظت آلاینده‌گی هوا نسبت به عناصر CO و NO₂، بررسی شعاع تأثیر ایستگاه‌های ثابت سنجش آلودگی و محاسبه سطح اطمینان با بررسی احتمال آلاینده‌گی هوا و در نهایت تهیه نقشه ریسک آلودگی هوا در منطقه‌های مختلف کلانشهر تهران می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق داده‌های مربوط به آلاینده‌گی هوای تهران در ماه‌های مهر، آبان و آذر سال ۱۳۹۶ در یک مدل سازی فضایی بکار گرفته شد و با استفاده از روش زمین آمار و روش کریجینگ شاخص^۱ داده‌ها تحلیل شده و نقشه‌های توزیع آلاینده‌گی غلظت و همچنین نقشه‌های دو - دویی (صفر و یک) احتمال آلاینده‌گی و ریسک آلودگی در کلانشهر تهران در نرم افزار ArcGIS برای بازه زمانی مربوطه تهیه گردید.

نتایج و بحث: نقشه‌های حاصل برای سطح اطمینان برای کلانشهر تهران نشان می‌دهد که ایستگاه‌های پارک قائم، پارک رازی و شهرداری منطقه ۱۶ بیشترین میزان ریسک آلاینده‌گی NO₂ و ایستگاه‌های دانشگاه شهید بهشتی، پاسداران، دانشگاه علم و صنعت و شادآباد دارای کمترین میزان ریسک آلاینده‌گی NO₂ می‌باشند و همچنین ایستگاه‌های مربوط به شهرداری منطقه ۱۱، شهرداری منطقه ۱۶، شهرداری منطقه ۱۵، فرمانداری شهرری، دانشگاه شریف، میدان فتح، پارک سلامت و پارک رازی بیشترین میزان ریسک آلاینده‌گی CO و ایستگاه‌های اقدسیه، دانشگاه شهید بهشتی، شهرداری منطقه ۲، پارک رز، دانشگاه علم و صنعت، گلبرگ، شادآباد و مسعودیه کمترین میزان ریسک آلاینده‌گی CO را به خود اختصاص داده‌اند.

نتیجه‌گیری: کریجینگ شاخص روش مفیدی برای ارزیابی ریسک آلودگی از طریق فراهم کردن نقشه احتمال می‌باشد. نقشه‌های

*Corresponding Author. Email Address: sarkheil_h@yahoo.co.uk

ریسک تولید شده در این تحقیق برای مشخص نمودن منطقه‌های مستعد به آلودگی، CO و NO₂ ابزار سودمندی می‌باشند. نتایج این تحقیق می‌تواند با شناسایی درست میزان آلاینده‌گی هوا در یک توزیع فضایی مناسب، در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی شهری نقش مؤثری را ایفاء نماید.

واژه‌های کلیدی: توزیع فضایی، کلانشهر تهران، کریجینگ شاخص، زمین آمار، سطح اطمینان.

مقدمه

آلودگی هوا به دلیل تأثیرهای اجتناب ناپذیر بر سلامت انسان‌ها و اهمیت آن در محیط زیست و تغییرهای اقلیم، به یکی از موضوع‌های مهم جوامع تبدیل شده است (Kindap et al., 2016). شهر تهران به‌عنوان بزرگترین و پرجمعیت‌ترین شهر کشور به دلیل شرایط خاص جغرافیایی (توپوگرافی و هواشناسی)، اجتماعی (توزیع جمعیت و ترافیک)، فرهنگی (سطح فرهنگ و آموزش مرتبط)، توسعه شهری و فرایندهای پتروشیمی و پالایشگاهی و ذخیره و حمل مشتقات نفتی (Sarkheil et al., 2016) دچار مشکل آلودگی هواست. آلودگی هوا جزء متغیرهای ناحیه‌ای محسوب می‌شوند که وابسته به مکان خود می‌باشند و در آن‌ها فاصله‌ها تعیین کننده می‌باشند به بیان دیگر نمونه‌های نزدیکتر به هم شبیه‌تر هستند. یکی از روش‌های ارزیابی احتمال آلاینده‌گی بهره‌گیری از روش سطح اطمینان می‌باشد. در این تحقیق به منظور محاسبه سطح اطمینان از روش کریجینگ شاخص استفاده گردید.

مجموعه‌ای از روش‌های آماری تحت عنوان زمین آمار برای بررسی تغییرات مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرند، که در نتیجه ابزارهایی را برای توصیف الگوی تغییرپذیری (واریوگرام) و تخمین (کریجینگ) متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات محل نمونه‌برداری شده ارائه می‌دهند (Goovaerts, 1999). در برآورد ارزش مجهول یک نقطه، همه نقاط مجاور و معلوم به‌طور همسان مؤثر نیستند. بنابراین هر یک از نقاط، با ارزش معلوم دارای ضریب وزنی به تناسب تأثیر بر میزان ارزش نقطه مجهول، خواهند داشت. رویه تعیین ارزش کمی برای نقاط دارای ارزش نامعلوم، به میانگین وزنی موسوم است. روش تعیین وزن، موجب تکوین روش‌های گوناگونی در امر درون‌یابی شده است (Collins and Bolstad, 1996). اصلی‌ترین

مزیت روش‌های زمین آماری، آن است که تخمینی از میزان خطا را در طی فرآیند پیش‌بینی امکان پذیر می‌سازند (Bagheri et al., 2014). کریجینگ یکی از روش‌های درون‌یابی است. در تعریف، درون‌یابی مکانی فرآیندی است که در آن ارزش ویژگی یک مکان خاص به‌وسیله ارزش‌های مشخص برخی سایت‌های دیگر پیش‌بینی می‌شود (Karimi, 2009). همه روش‌های درون‌یابی از قانون توبلر^۲ تبعیت می‌کنند. مطابق با این قانون همه مکان‌ها با هم در ارتباط هستند اما مکان‌های نزدیکتر به هم ارتباط بیشتری نسبت به مکان‌های دور از هم دارند (Di Piazza et al., 2011; Johnston et al., 2011).

کریجینگ معمولی که به آن بهترین تخمین‌گر نا اریب (BLUE)^۳ نیز می‌گویند (Journel and Huijbregts, 1978)، متداول‌ترین نوع کریجینگ است که در علوم مختلف کاربرد زیادی دارد (Burgess and Webster, 1980). با وجود این، کریجینگ معمولی مانند هر تخمین‌گر خطی دیگر مانند روش وزن دهی معکوس (IDW)^۴ به هموارسازی جزئیات تمایل دارد و قادر به باز تولید الگوی واقعی توزیع مکانی داده‌ها نیست. بنابراین استفاده از روش کریجینگ معمولی برای متغیرهایی با توزیع فراوانی دارای چولگی زیاد توصیه نمی‌شود (Goovaerts, 1997). در مطالعه دیگری (Adhikary et al., 2010) روش‌های کریجینگ شاخص و معمولی را برای تهیه نقشه‌های پارامترهای کیفی آب زیرزمینی از جمله کلراید بکار بردند. آن‌ها گزارش کردند که کریجینگ شاخص، روش سودمندی برای ارزیابی ریسک آلودگی آب زیرزمینی از طریق فراهم کردن نقشه احتمال است. همچنین با استفاده از الگوهای هندسی مشابه هندسه غیر اقلیدسی فرکتالی، می‌توان توزیع پدیده‌های طبیعی مثل توزیع عوارض را مدل‌سازی نمود (Kakaie et al., 2009; Sarkheil and Rahbari, 2019). همچنین (Adhikary et al., 2011) از روش‌های کریجینگ شاخص و

آذر سال ۱۳۹۶ جمع آوری گردید (Tehran Air Quality Control Company, 2018). بعد از بررسی کیفیت داده‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها، با استفاده از نرم افزار ArcGIS، شعاع تأثیر یا محدوده اثرپذیری ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا تعیین شد. در مرحله بعد داده‌های فضای مدل سازی شده از حالت رستری به دو - دویی تبدیل گردید و با بهره‌گیری از روش زمین آمار و استفاده از داده‌های دو - دویی و با در نظر گرفتن شعاع تأثیر، مدل سازی فضایی آلودگی هوا انجام شد و نقشه‌های مرتبط با این مدل سازی تهیه و تنظیم گردید و در ادامه محاسبه‌های مربوط به ارزیابی سطح اطمینان با استفاده از روش کریجینگ شاخص بر روی نقشه‌ها و داده‌های خروجی صورت پذیرفت.

روش کریجینگ: در روش کریجینگ همانند IDW به منظور پیش‌بینی ارزش منطقه‌های اندازه‌گیری نشده از وزن دهی به ارزش منطقه‌های مجاور استفاده می‌شود، ولی برخلاف IDW وزن‌ها تنها بر اساس نزدیکی و فاصله نیستند، بلکه وزن‌ها از یک پلات فاصله - ارزشی خاص به نام شبه‌واریوگرام ناشی می‌شوند (Johnston et al., 2011) که در آن جهت نیز در نظر گرفته می‌شود. شبه‌واریوگرام از دو محور تشکیل شده است که در محور X آن فاصله جفت نمونه‌ها قرار دارد و در محور Y مقدار شبه واریانس یا متوسط گشتاور درجه دوم ارزش همان جفت نمونه را نشان می‌دهد (شکل ۲). پس از ترسیم شبه واریوگرام، داده‌ها به یکسری وقفه‌های فاصله‌ای تقسیم می‌شوند، متوسط شبه واریانس برای هر وقفه به دست می‌آید (رابطه ۳) و در نهایت یک معادله برای تعیین وزن‌ها به نقاط نماینده وقفه‌های فاصله‌ای و شبه واریانس، برازش می‌یابد (شکل ۲). به شکل نهایی منحنی به دست آمده واریوگرام گفته می‌شود (شکل ۱) که از آن برای تعیین وزن هر نمونه استفاده خواهد شد و دارای سه جزء اصلی است (شکل ۲) بنابراین یکی از مهمترین چالش‌ها در استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ، تعریف صحیح مدل واریوگرام می‌باشد. در روش کریجینگ معمولی (OK) مقدار متغیر در هر نقطه نمونه برداری نشده با استفاده از یک متوسط‌گیری متحرک وزنی خطی مقادیر اندازه‌گیری شده در همسایگی نقطه مورد نظر با استفاده از رابطه (۱) تخمین زده می‌شود (Isaaks and Srivastava, 1989).

احتمال برای ایجاد نقشه‌های احتمال فلزهای سنگین در آب زیرزمینی در منطقه نجفگر در دهلی هند استفاده نمودند. از تلفیق روش‌های کریجینگ با استفاده از هوش مصنوعی می‌توان مدل‌های تحلیلی را برای تخمین و پیش‌بینی استفاده نمود (Sarkheil et al., 2009; Sarkheil et al., 2013).

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر تهران در دامنه جنوبی البرز در یک محیط نیمه بسته قرار دارد. این شهر در حد فاصل طول جغرافیای $51^{\circ}2'$ شرقی تا $51^{\circ}36'$ شرقی، به طول تقریبی 50 کیلومتر و عرض جغرافیایی $35^{\circ}34'$ شمالی تا $35^{\circ}50'$ شمالی به عرض تقریبی 30 کیلومتر گسترده شده است. کوه‌های البرز در شمال شرقی آن به عنوان مانعی برای بادهای غربی محسوب شده و سبب می‌شود که همه آلاینده‌ها در سطح شهر باقی بمانند. از طرف دیگر عامل‌های انسانی مانند جمعیت زیاد و استقرار کارخانه‌ها در سطح شهر بویژه در غرب و جنوب غرب آن میزان آلودگی هوای شهر را دو چندان می‌کند. تراکم زیاد خودروها، ساختمان‌های بلند و هوای آرام و بدون باد، سبب افزایش غلظت آلاینده‌های هوا در حد خطرناک شده و آلودگی هوا را به یکی از اساسی‌ترین مشکل‌های محیط زیستی تهران تبدیل نموده است (Sarkheil and Rahbari, 2016). آلودگی هوای تهران فقط مختص به خود تهران نیست و آثار هوای آلوده آن حتی در فاصله‌های بسیار دور مانند گرمسار و یا فیروزکوه نیز قابل مشاهده است بدین جهت آلودگی هوای تهران به یک مشکل منطقه‌ای و حتی ملی تبدیل شده است (Tehran Air Quality Control Company, 2018).

روش تحقیق

در بخش اول مطالعه غلظت‌های ساعتی آلاینده‌های CO و NO₂ هوای ثبت شده توسط ۲۴ ایستگاه برای CO و ۲۱ ایستگاه برای NO₂ متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوای تهران و سازمان حفاظت از محیط زیست واقع در منطقه‌های شمالی، جنوبی، شرقی، غربی و مرکزی جهت پوشش کامل جغرافیایی این کلانشهر طی ماه‌های مهر، آبان و

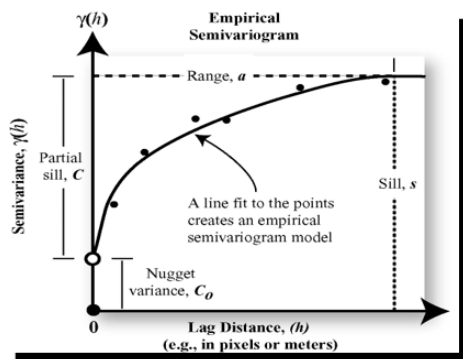
Variogram بین موقعیت مورد تخمین (X_0) و i امین نقطه نمونه برداری شده است. با فرض $N(h)$ جفت نقطه که به فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند، Semi Variogram تجربی متناظر با آن، (h) از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^m [z(x_i) - z(x_i+h)]^2}{2m(h)} \quad (3)$$

که در آن $Z(x_i+h)$ و $Z(x_i)$ به ترتیب مقدار مشاهده شده متغیر در نقاط x_i+h و x_i به شمار می‌روند. واریانس کریجینگ در نقطه X_0 ، با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$\sigma^2(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(X_i, X_0) + \mu \quad (4)$$

با داشتن واریانس (انحراف معیار) کریجینگ و با فرض توزیع نرمال برای خطاهای کریجینگ، دامنه اطمینان مقادیر تخمین زده شده در سطوح اعتماد مختلف قابل محاسبه



شکل ۱- شیوه نمایش جفت نمونه‌ها در نمودار سمی واریوگرام (محور X و Y) و بخش‌های مختلف یک واریوگرام (Jensen, 2005)
 Fig. 1 – Method of showing pair samples in semi-variogram (X, Y axis) and different sections of a variogram

کردن میزان قطعی نبودن تخمین نیز است. در واقع به جای برآورد فقط یک مقدار به منزله‌ی قطعی نبودن تخمین متغیر در یک نقطه نمونه برداری نشده، کریجینگ شاخص، یک تابع توزیع تجمعی شرطی (ccdf) متناظر با هر نقطه‌ی شبکه‌ی تخمین را برآورد می‌کند. برای این کار در این روش ابتدا متغیر مورد مطالعه به دو کد صفر و یک بر اساس یک سری حدود آستانه‌ی معلوم تبدیل می‌شود. سپس تابع توزیع تجمعی شرطی در هر نقطه از شبکه بر اساس رفتار و ساختار همبستگی داده‌های کد بندی شده در همسایگی نقطه مزبور تقریب زده می‌شود. توابع توزیع تجمعی شرطی به دست آمده برای تولید نقشه‌های تخمین و مهمتر از آن ابزارهای

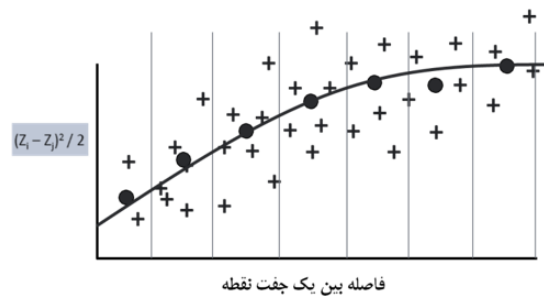
$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times Z(X_i) \quad (1)$$

در این معادله، $Z^*(X_0)$ مقدار تخمین زده شده Z در موقعیت (X_0) ، λ_i وزن نسبت داده شده به متغیر Z در نقطه n تعداد نقاط همسایگی است. جمع وزن‌های اختصاص داده شده به مقادیر معلوم λ_i ، بایستی برابر واحد شود. همچنین محاسبه وزن‌ها بایستی به گونه‌ای باشد که حداقل واریانس کریجینگ با استفاده از رابطه (۲) فراهم شود.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(X_i, X_j) + \mu = \gamma(X_i, X_0) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (2)$$

, $i=1, \dots, n$

که در این رابطه مقدار Semi Variogram $\gamma(X_i, X_j)$ بین تمام جفت‌های مقادیر معلوم، μ ضریب لاگرانژین برای به حداقل رساندن واریانس کریجینگ $\gamma(X_i, X_0)$ مقدار Semi



است (Goovaerts, 1997).

روش کریجینگ شاخص: از ویژگی‌های روش کریجینگ معمولی این است که نقشه حاصله دارای واریانس کمتر نسبت به نقاط واقعی خواهد بود. این ویژگی بویژه زمانی که داده‌ها از توزیع فراوانی با چولگی مثبت و یا منفی برخوردارند، سبب به وجود آمدن نتایج غیر واقعی می‌گردد. بویژه زمانی که حفظ نقاط حداکثر یا حداقل در نقشه‌های تولید شده از اهمیت بیشتری برخوردار باشد. روش کریجینگ شاخص یکی از انواع روش‌های کریجینگ است که مستقل از توزیع فراوانی داده‌ها می‌باشد (Delbari and Afrasiab, 2014). کریجینگ شاخص نه تنها مستقل از شیوه توزیع داده‌هاست بلکه قادر به مدل

تخمین نقطه X_0 شرکت می‌کند. مقدار تخمینی شاخص یعنی $I(X_0; Z_k)$ بین حداقل صفر و حداکثر یک متغیر است. در مرحله دوم، Semi Variogram تجربی داده‌های تبدیل یافته مربوط به حد آستانه مطابق رابطه (۷) محاسبه و بهترین مدل تئوری بر آن برازش می‌شود (Deutsch and Journé, 1998; Goovaerts, 2009).

$$Y_i(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [I(X_i; Z_k) - I(X_i + h; Z_k)]^2 \quad (7)$$
 سپس در مرحله سوم، تابع توزیع تجمعی شرطی (ccdf) در هر نقطه نمونه برداری نشده مانند نقطه (X_0) با استفاده از پارامترهای مدل‌های Semi Variogramهای شاخص با روش کریجینگ معمولی مطابق رابطه (۸) برآورد می‌شود (Deutsch and Journé, 1998; Goovaerts, 2009; Delbari and Afrasiab, 2014).

$$F(X_0; Z_k | (n)) = I^*(X_0; Z_k) = \sum_{i=1}^n \lambda_i I(X_i; Z_k) \quad (8)$$
 که در آن $I^*(X_0; Z_k)$ مقدار برآورد شده شاخص در نقطه X_0 و λ_i مقدار وزن نسبت داده شده به مقدار شاخص I در نقطه X_i واقع در همسایگی نقطه مورد تخمین است. علامت (n) به معنای مشروط بودن به داده‌های مشاهده ای می‌باشد.

توابع احتمال منفصل برآورد شده بایستی بین هر دو قسمت (ccdf) درونیابی و در ماورای حداقل و حداکثر مقادیر، برون‌یابی شوند تا تابع توزیع تجمعی پیوسته‌ای که در برگیرنده تمام دامنه اعداد محتمل متغیر مورد نظر باشد، فراهم شود (Delbari and Afrasiab, 2014).

داده‌های مدل‌سازی

در بخش اول تحقیق، غلظت‌های ساعتی آلاینده‌های CO و NO_2 هوای ثبت شده توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوای تهران واقع در مناطق شمالی، جنوبی، شرقی، غربی و مرکزی جهت پوشش کامل جغرافیایی این کلانشهر طی ماه‌های مهر، آبان و آذر سال ۱۳۹۶ جمع‌آوری گردید (شکل ۲) (Tehran Air Quality Control Company, 2018). با توجه به نبود تدوین استاندارد ملی و کارآمد برای کشور ایران،

ارزیابی میزان قطعی نبودن تخمین مانند نقشه‌های احتمال که در بسیاری از فرآیندهای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود (Goovaerts, 1997; Mohammadi et al., 1997; Dammer et al., 1999; Goovaerts, 2001; Meirvenne and Goovaerts, 2001; Delbari, 2007).

تخمین‌گر زمین آماری کریجینگ شاخص برخلاف کریجینگ معمولی هیچ فرضی راجع به نرمال بودن داده‌ها در نظر نمی‌گیرد و فقط همتای غیر پارامتری کریجینگ معمولی محسوب می‌شود و قابلیت برتری بر هر دو مسأله پارامتری بودن و اثر هموارسازی کریجینگ معمولی را دارد (Journé, 1983). کریجینگ شاخص نه تنها مستقل از شیوه توزیع داده‌هاست بلکه قادر به مدل کردن میزان قطعی نبودن تخمین نیز هست (Taheri and Mohammad torab, 2016).

به‌منظور استفاده از روش کریجینگ شاخص تبدیل باینری داده‌ها باید انجام گیرد که طبق فرمول برای پارامترهایی که کمتر از حد استاندارد هستند عدد صفر و برای پارامترهایی که بیشتر از حد استاندارد هستند عدد یک در نظر گرفته می‌شود. بنابراین با استفاده از رابطه (۵) داده‌ها به داده‌های شاخص تبدیل می‌شوند.

$$I(X; Z_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z(X) \leq Z_k \quad k = 1, \dots, K \quad (5) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

که در آن $(X; Z_k)$ ، متغیر شاخص، Z_k حدآستانه و K تعداد کل آستانه‌هاست. مقادیر آستانه‌ها بایستی بین حداقل و حداکثر مقادیر واقعی متغیر مورد نظر قرار گیرند (Deutsch and Journé, 1998; Goovaerts, 2009; Delbari and Afrasiab, 2014; Taheri and Mohammad torab, 2016).

کریجینگ شاخص با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده متغیر در همسایگی نقطه مورد برآورد، احتمال مقادیر متغیر که بالاتر از یک حد آستانه معلوم هستند را تعیین می‌کند. مقدار تخمینی متغیر شاخص برای هر نقطه از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$\lambda_K(X_0) = \sum_{j=1}^m \lambda_j I_j(X) \quad (6)$$

که در آن (X_0) ، مقدار شاخص نمونه K ام به مختصات X_j و λ_j وزن کریجینگ شاخص برای نمونه به مختصات X_j که در



شکل ۲- وضعیت ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر تهران در سال ۹۶ (Tehran Air Quality Control Company, 2018)
 Fig. 2- Location of air pollution monitoring stations in Tehran during 2017

آلاینده‌های CO و NO₂ تهیه گردید و منطقه‌ها با ریسک پایین، متوسط، بالا و خیلی بالا در کلانشهر تهران مشخص گردید.

نتایج و بحث

در این پژوهش هدف، ارزیابی سطح اطمینان با بررسی احتمال آلاینده‌گی در همه منطقه‌های مختلف شهر تهران می‌باشد. داده‌های جمع آوری شده در این مرحله به دلیل توزیع نامناسب ایستگاه‌های سنجش آلودگی و همچنین عدم ثبت داده‌ها در بعضی از ایستگاه‌ها، نرمال نبودند. تبدیل داده‌ها به شکل لگاریتمی یا Box-Cox نیز نتوانست به نرمالتر شدن داده‌ها کمک نماید به همین دلیل هیچ کدام از روش‌های درون‌یابی مورد استفاده در این تحقیق نتوانستند دقت قابل قبولی را نشان دهند و با خطای بالایی روبرو بودند. به همین منظور روش کریجینگ شاخص، که مستقل از توزیع نرمال داده‌ها می‌باشد مورد استفاده قرار گرفت.

نقشه غلظت: به منظور تهیه نقشه غلظت، غلظت هر یک از آلاینده‌های CO و NO₂ به همراه مختصات هر یک از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوای تهران برای هر روز به‌طور جداگانه در نرم افزار صفحه گسترده تهیه گردید.

همان طور که در شکل شماره (۳) و شکل شماره (۵) مشاهده می‌شود، کمترین غلظت متوسط آلاینده CO به ایستگاه‌های دانشگاه شهید بهشتی، اقدسیه، شهرداری منطقه ۲، پارک رز، شادآباد، مسعودیه، دانشگاه علم و صنعت و گلبرگ اختصاص دارد. ایستگاه‌های مربوط به موسسه ژئوفیزیک، ستاد بحران،

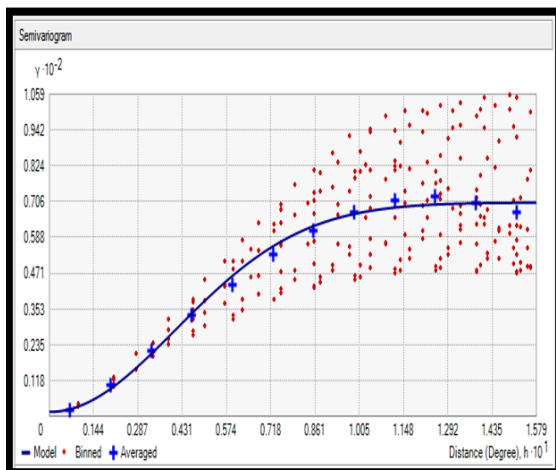
در حال حاضر برای محاسبه استاندارد کوتاه مدت آلاینده‌ها، از راهنمای محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوای بیان شده توسط وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در سال ۱۳۹۰ و برای محاسبه استاندارد طولانی مدت (سالانه) آلاینده‌ها، از استاندارد مصوب سازمان حفاظت از محیط زیست در سال ۱۳۹۶ استفاده می‌گردد که این استانداردها برگرفته از استانداردهای تدوین شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA)^۱ و سازمان بهداشت جهانی (WHO)^۲ می‌باشند.

در ادامه غلظت آلاینده هر یک از آلاینده‌های CO و NO₂ به همراه مختصات هر یک از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوای تهران برای هر روز به‌طور جداگانه در نرم افزار صفحه گسترده تهیه گردید. همچنین با توجه به جدول استاندارد هوای پاک نشان داده شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست که ماکزیمم غلظت یک ساعته را برای CO، ۳۵ پی پی ام و ماکزیمم غلظت یک ساعته را برای NO₂، ۴۰ میکروگرم بر متر مکعب را در نظر گرفته است را به‌عنوان شاخص انتخاب کرده و به غلظت‌های بالاتر از این مقادیر عدد یک و به غلظت‌های پایینتر از این مقادیر عدد صفر اختصاص داده شد و نقشه‌های کانتوری احتمال آلاینده‌گی (دو-دویی) آن‌ها ترسیم گردید.

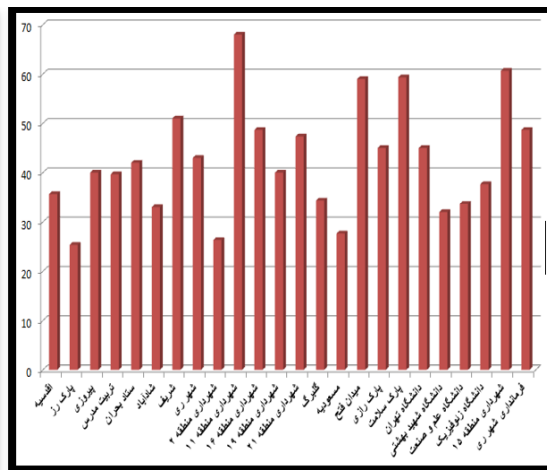
و در مرحله آخر از حاصل ضرب مقادیر غلظت متوسط آلاینده‌های CO و NO₂ نقشه‌های ریسک آلاینده‌گی برای

نمودار واریوگرام تجربی مربوط به غلظت متوسط آلاینده CO مشاهده می‌شود که می‌توان مدل گوسی^۱ را برای آن در نظر گرفت.

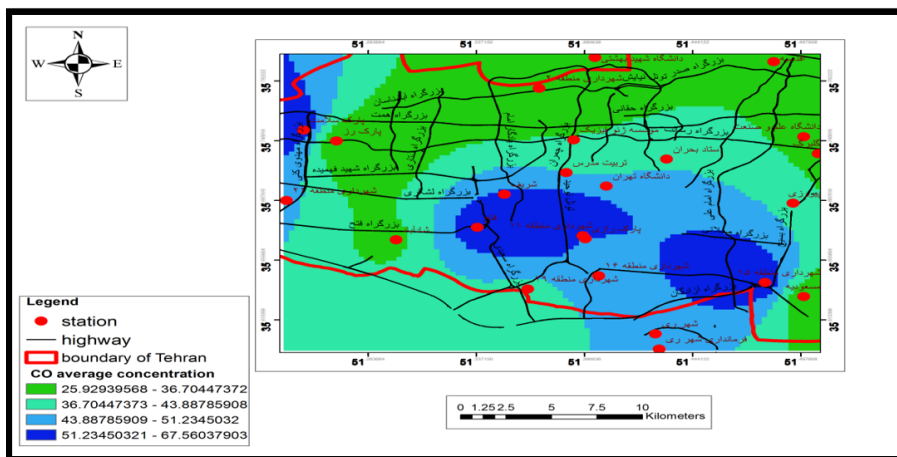
همان گونه که در شکل (۶) و شکل (۸) مشاهده می‌شود، کمترین غلظت متوسط آلاینده NO₂ به ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا متعلق به فرمانداری شهرری، پاسداران، موسسه ژئوفیزیک، پیروزی و شهرک چشمه اختصاص دارد.



شکل ۴ - واریوگرام تجربی غلظت متوسط CO (PPM)
Fig. 4- Empirical Variogram of average CO concentration (PPM)



شکل ۳ - غلظت متوسط CO (PPM)
Fig. 3- Average concentration of CO (PPM)

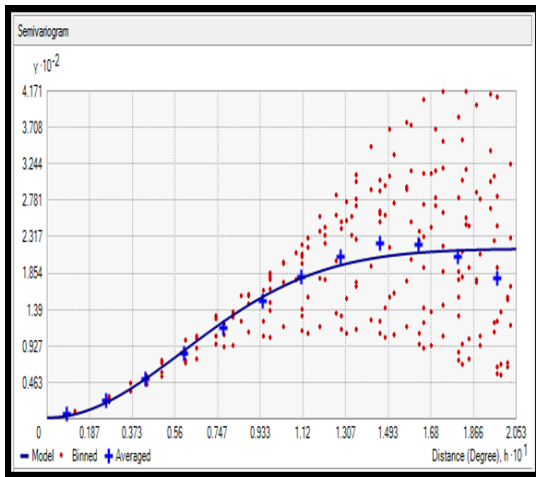


شکل ۵ - نقشه غلظت متوسط CO (PPM)
Fig. 5 - Average CO concentration map (PPM)

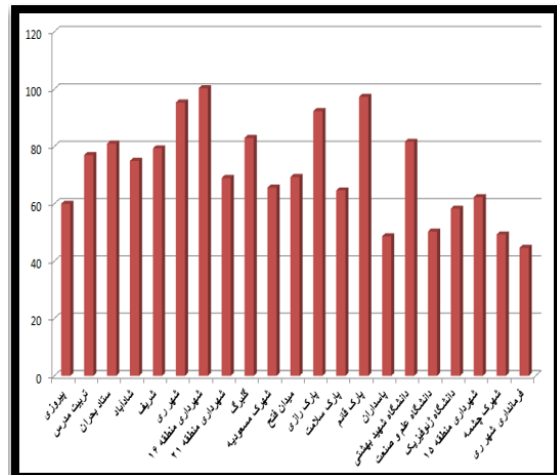
می‌باشند. در شکل (۷) نمودار واریوگرام تجربی مربوط به غلظت متوسط آلاینده NO₂ مشاهده می‌شود که می‌توان مدل گوسی را برای آن در نظر گرفت.

نقشه احتمال: به منظور استفاده از روش کریجینگ شاخص تبدیل باینری داده‌ها باید انجام گیرد که برای پارامترهایی که کمتر از حد استاندارد هستند عدد صفر و

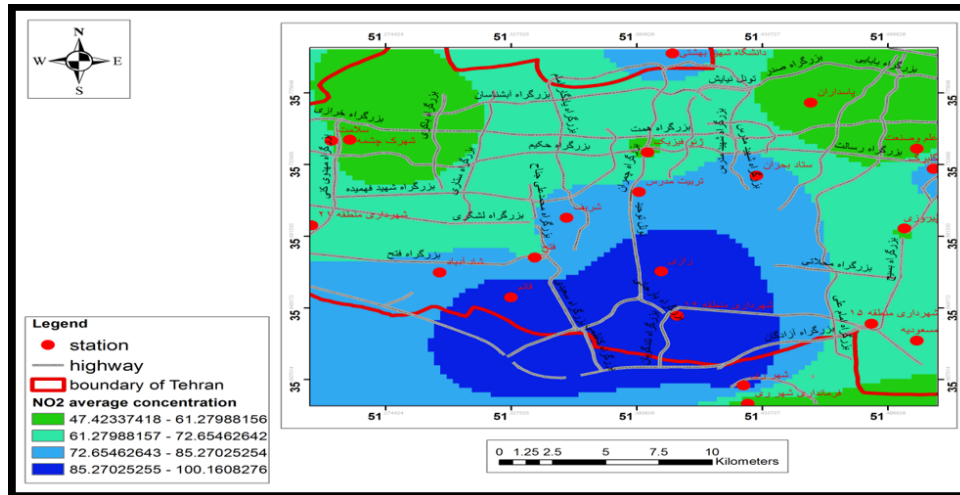
ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۲۱، میدان فتح، پارک سلامت، شهرداری منطقه ۱۵، مسعودیه دارای غلظت متوسط می‌باشند. ایستگاه‌های شادآباد، شریف، تربیت مدرس، ستاد بحران، گلبرگ، دانشگاه شهید بهشتی غلظت بالایی داشتند و همچنین ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا متعلق به شهرداری منطقه ۱۶، پارک قائم، شهرری و پارک رازی دارای غلظت خیلی بالایی



شکل ۷- وریوگرام تجربی غلظت متوسط NO₂ (میکرو گرم بر متر مکعب)
Fig. 7- Empirical variogram of NO₂ average (μg/m³)



شکل ۶- غلظت متوسط NO₂ (میکرو گرم بر متر مکعب)
Fig. 6 - Average concentration of NO₂ (μg/m³)

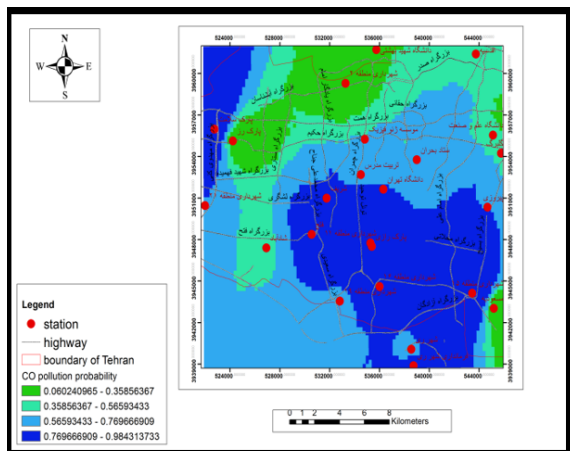


شکل ۸- نقشه غلظت متوسط NO₂ (میکرو گرم بر متر مکعب)
Fig. 8 - Average NO₂ concentration map (μg/m³)

همانگونه که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، کمترین میزان احتمال آلاینده‌گی CO را ایستگاه‌های دانشگاه شهید بهشتی، مسعودیه، شهرداری منطقه ۲ و پارک رز به خود اختصاص دادند. ایستگاه‌های شادآباد، اقدسیه، علم و صنعت و گلبرگ دارای احتمال متوسط آلاینده‌گی CO می‌باشند. ایستگاه‌های موسسه ژئوفیزیک، ستاد بحران، تربیت مدرس، شهرداری منطقه ۲۱، شهرداری منطقه ۱۹ و شهرری دارای احتمال آلاینده‌گی بالا و همچنین ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۱۶، شهرداری منطقه ۱۵، شهرداری منطقه ۱۱، میدان فتح، پارک رازی، دانشگاه شریف، دانشگاه تهران، فرمانداری شهرری و پارک سلامت دارای احتمال بسیار بالایی می‌باشند. در شکل (۱۰)، Semi

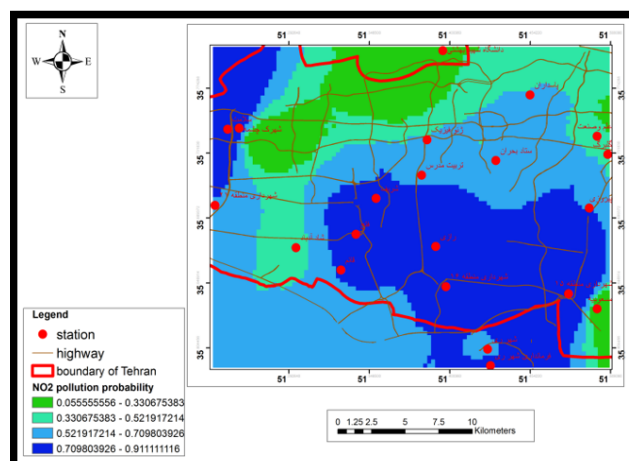
برای پارامترهایی که بیشتر از حد استاندارد هستند، عدد یک در نظر گرفته می‌شود. در ادامه با توجه به جدول استاندارد هوای پاک نشان داده شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا و پژوهشکده محیط زیست که ماکزیمم غلظت یک ساعته را برای CO، ۳۵ پی پی ام و ماکزیمم غلظت یک ساعته را برای NO₂، ۴۰ میکروگرم بر متر مکعب را در نظر گرفته است را به‌عنوان شاخص انتخاب کرده و به غلظت‌های بالاتر از این مقادیر عدد یک و به غلظت‌های پایینتر از این مقادیر عدد صفر اختصاص داده شد و نقشه‌های کانتوری احتمال آلاینده‌گی (دو - دویی) آن‌ها ترسیم گردید.

برای آن در نظر گرفت. همانگونه که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، کمترین میزان احتمال آلاینده NO_2 را ایستگاه‌های دانشگاه شهید بهشتی، مسعودیه به خود اختصاص دادند. ایستگاه‌های علم و صنعت و گلبرگ دارای احتمال آلاینده



شکل ۱۰- نقشه احتمال CO
Fig. 10- CO probability map

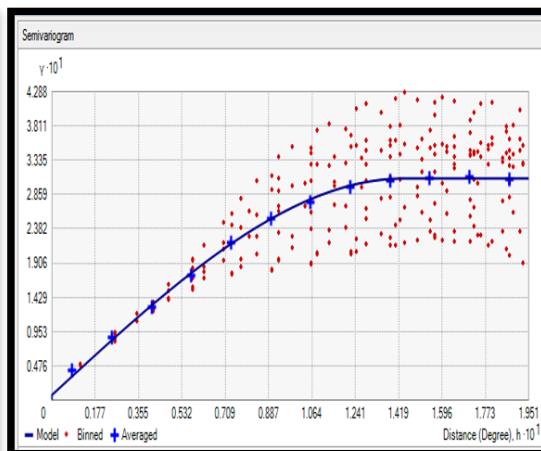
دانشگاه علم و صنعت، گلبرگ، شادآباد و مسعودیه کمترین میزان ریسک آلاینده CO را به خود اختصاص دادند. ایستگاه‌های مربوط به موسسه ژئوفیزیک و ستاد بحران دارای ریسک متوسط می‌باشند. ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۲۱، تربیت مدرس، دانشگاه تهران، شهری و شهرداری منطقه ۱۹، ریسک آلاینده CO بالا و همچنین ایستگاه‌های دانشگاه شریف، میدان فتح، پارک سلامت، پارک رازی، شهرداری منطقه ۱۱، شهرداری منطقه ۱۵، شهرداری منطقه ۱۶ و فرمانداری شهری



شکل ۱۲ - نقشه احتمال NO_2
Fig. 12- NO_2 probability map

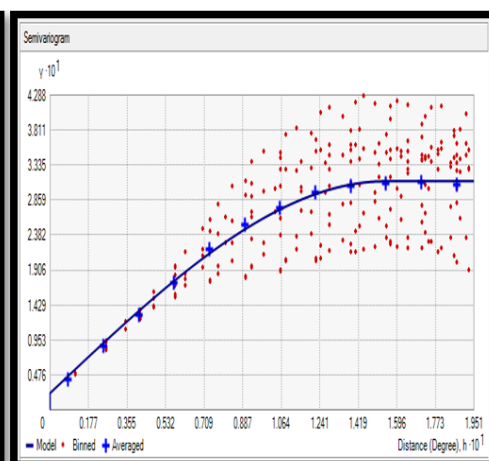
Variogram تجربی مربوط به احتمال آلاینده CO مشاهده می‌شود که می‌توان مدل کروی را برای آن در نظر گرفت.

در شکل (۱۱) نمودار واریوگرام تجربی مربوط به احتمال آلاینده NO_2 مشاهده می‌شود که می‌توان مدل کروی را



شکل ۹- وریوگرام تجربی احتمال CO
Fig. 9- Empirical semi-variogram of CO probability

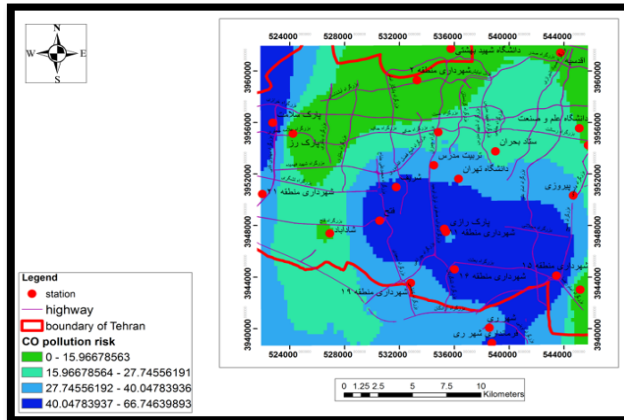
NO_2 می‌باشند. ایستگاه‌های موسسه ژئوفیزیک، ستاد بحران، تربیت مدرس، شهرداری منطقه ۲۱، پیروزی و شهری احتمال آلاینده CO بالا و همچنین ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۱۶، شهرداری منطقه ۱۵، شهرک چشمه، میدان فتح، پارک قائم، پارک رازی، دانشگاه شریف، دانشگاه تهران، فرمانداری شهری و پارک سلامت دارای احتمال بسیار بالایی می‌باشند. نقشه ریسک: با توجه به نقشه‌های ریسک تولید شده، ایستگاه‌های اقدسیه، بهشتی، شهرداری منطقه ۲، پارک رز،



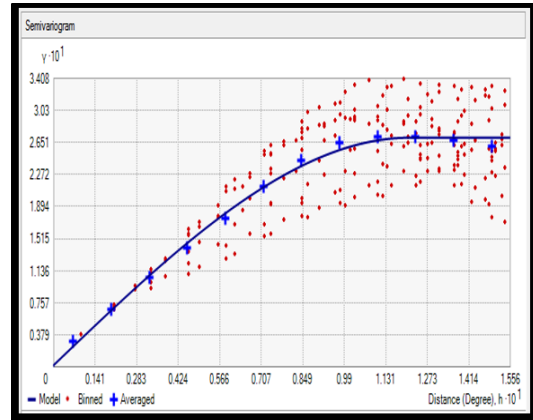
شکل ۱۱- وریوگرام تجربی احتمال NO_2
Fig. 11- Empirical semi-variogram of NO_2 probability

صعود می کند و به تدریج از شیب آن کم می شود. شکل (۱۳) نمودار وریوگرام تجربی مربوط به ریسک آلاینده CO را نشان می دهد. در نقشه های ریسک تولید شده برای آلاینده NO₂ ایستگاه های دانشگاه شهید بهشتی، دانشگاه علم و صنعت و شادآباد کمترین

دارای ریسک بسیار بالایی می باشند (شکل ۱۴). در این تحقیق نسبت اثر قطعه های برای ریسک آلاینده CO نشان از وجود همبستگی مکانی شدید برای مدل کروی می باشد. این مدل از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی آن رفتار خطی دارد. با افزایش h منحنی به سرعت به سمت مقادیر بیشتر $\gamma(h)$



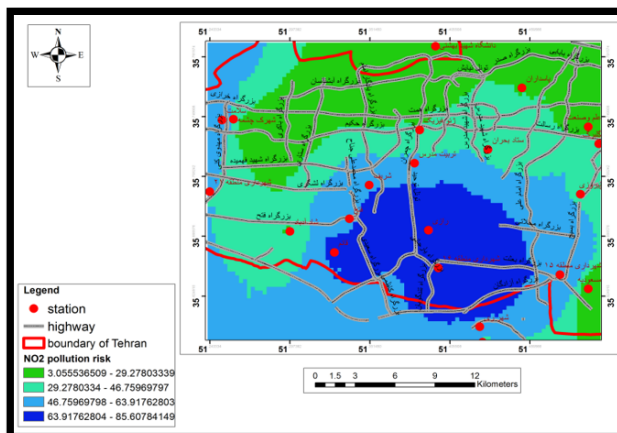
شکل ۱۴- نقشه ریسک CO
Fig. 14- CO risk map



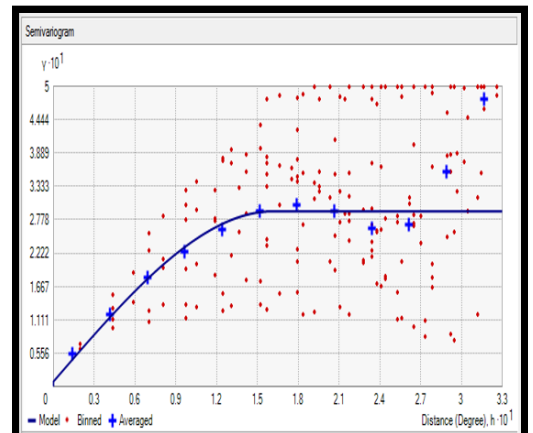
شکل ۱۳- وریوگرام تجربی ریسک CO
Fig. 13- Empirical semi-variogram of CO risk

وریوگرام تجربی مربوط به ریسک آلاینده NO₂ مشاهده می شود که می توان مدل کروی را برای آن در نظر گرفت. با در اختیار داشتن نقشه ریسک آلاینده ها، به منظور شناسایی مناطق مستعد با احتمال بالای آلودگی، می توان با اتخاذ تدابیری پیشگیرانه از بروز بحران آلودگی هوا جلوگیری نمود. نقشه های ریسک تولیدی برای مشخص ساختن مناطق مستعد به آلودگی CO و NO₂ ابزار سودمندی می باشند (جدول ۱ و ۲).

میزان ریسک را به خود اختصاص دادند. ایستگاه های مربوط به موسسه ژئوفیزیک و ستاد بحران، شهرک چشمه، گلبرگ، پیروزی و فرمانداری شهری دارای ریسک متوسط می باشند. ایستگاه های شهرداری منطقه ۲۱، تربیت مدرس، دانشگاه شریف، میدان فتح، پارک سلامت، شهری و شهرداری منطقه ۱۵ ریسک آلاینده بالا و همچنین ایستگاه های پارک قائم، پارک رازی و شهرداری منطقه ۱۶ دارای ریسک بسیار بالایی می باشند (شکل شماره ۱۶). در شکل شماره (۱۵) نمودار



شکل ۱۶- نقشه ریسک NO₂
Fig. 16- NO₂ risk map



شکل ۱۵- وریوگرام تجربی ریسک NO₂
Fig. 15- Empirical semi-variogram of NO₂ risk

جدول ۱- میزان و درصد ریسک CO
Table 1. Value and percentage of CO risk

درصد ریسک CO Risk percent of Co	میزان ریسک CO Risk value of Co	ایستگاه Station
0-15	ریسک پایین	اقدسیه، بهشتی، شهرداری منطقه ۲، پارک رز، دانشگاه علم و صنعت، گلبرگ، شادآباد و مسعودیه
15-27	ریسک متوسط	موسسه ژئوفیزیک و ستاد بحران
27-40	ریسک بالا	شهرداری منطقه ۲۱، تربیت مدرس، دانشگاه تهران، شهری و شهرداری منطقه ۱۹
40-66	ریسک خیلی بالا	دانشگاه شریف، میدان فتح، پارک سلامت، پارک رازی، شهرداری منطقه ۱۱، شهرداری منطقه ۱۵، شهرداری منطقه ۱۶ و فرمانداری شهری

جدول ۲- میزان و درصد ریسک آلاینده NO₂
Table 2. Value and percentage of NO₂ risk

درصد ریسک NO ₂ Risk percent of No ₂	میزان ریسک NO ₂ Risk value of No ₂	ایستگاه Station
3-29	ریسک پایین	دانشگاه شهید بهشتی، دانشگاه علم و صنعت، شادآباد
29-46	ریسک متوسط	موسسه ژئوفیزیک و ستاد بحران، شهرک چشمه، گلبرگ، پیروزی و فرمانداری شهری
46-63	ریسک بالا	شهرداری منطقه ۲۱، تربیت مدرس، دانشگاه شریف، میدان فتح، پارک سلامت، شهری و شهرداری منطقه ۱۵
63-85	ریسک بسیار بالایی	پارک قائم، پارک رازی و شهرداری منطقه ۱۶

نتیجه گیری

نتیجه بررسی نقشه‌های غلظت آلاینده‌ها به عنصرهای CO و NO₂ در کلانشهر تهران می‌توان مناطقی را در بخش‌های مختلف با افزایش غلظت در برخی از روزهای سال مشاهده نمود که به تنهایی خود نمی‌تواند بیانگر وضعیت هوای تهران برای بررسی‌های مهندسی و توسعه شهری باشد.

نقشه‌های تولیدی در حوزه سطح اطمینان برای کلانشهر تهران نشان داده است که ایستگاه‌های اقدسیه، بهشتی، شهرداری منطقه ۲، پارک رز، دانشگاه علم و صنعت، گلبرگ، شادآباد و مسعودیه کمترین میزان ریسک آلاینده‌های CO را در حدود ۱۵٪ به خود اختصاص دادند. ایستگاه‌های مربوط به موسسه ژئوفیزیک و ستاد بحران دارای ریسک متوسط در حدود ۲۷٪ - ۱۵٪ می‌باشند. ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۲۱، تربیت مدرس، دانشگاه تهران، شهری و شهرداری منطقه ۱۹ ریسک آلاینده‌های بالا در محدوده ۴۰٪ - ۲۷٪ و همچنین ایستگاه‌های دانشگاه شریف، میدان فتح، پارک سلامت، پارک رازی، شهرداری منطقه ۱۱، شهرداری منطقه ۱۵، شهرداری منطقه ۱۶ و فرمانداری شهری دارای ریسک بسیار بالایی

در محدوده ۶۶٪ - ۴۰٪ می‌باشند.

همچنین در نقشه‌های ریسک تولید شده برای آلاینده NO₂ ایستگاه‌های دانشگاه شهید بهشتی، دانشگاه علم و صنعت، شادآباد کمترین میزان ریسک را در محدوده ۲۹٪ - ۳٪ را به خود اختصاص دادند. ایستگاه‌های مربوط به موسسه ژئوفیزیک و ستاد بحران، شهرک چشمه، گلبرگ، پیروزی و فرمانداری شهری دارای ریسک متوسط در محدوده ۴۶٪ - ۲۹٪ می‌باشند. ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۲۱، تربیت مدرس، دانشگاه شریف، میدان فتح، پارک سلامت، شهری و شهرداری منطقه ۱۵ ریسک آلاینده‌های بالا در محدوده ۶۳٪ - ۴۶٪ و همچنین ایستگاه‌های پارک قائم، پارک رازی و شهرداری منطقه ۱۶ دارای ریسک بسیار بالایی در محدوده ۸۵٪ - ۶۳٪ می‌باشند.

در این تحقیق، خطای حداقل مربعات (RMSE) ناشی از تحلیل‌های انجام گرفته با استفاده از روش کریجینگ شاخص نسبت به روش کریجینگ معمولی حدود ۱/۱ پائینتر می‌باشد، که این خود نشان از مناسبتر بودن روش کریجینگ شاخص برای تهیه نقشه ریسک آلاینده‌های CO و

پی‌نوشت‌ها

NO₂ می‌باشد.¹ Index kriging² Variogram³ Tobler Law⁴ Best Linear Unbiased Estimator⁵ Inverse Distance Weighting⁶ Ordinary Kriging⁷ Conditional Cumulative Distribution Function⁸ United States Environmental Protection Agency⁹ World Health Organization¹⁰ Root Mean Square Deviation

استفاده از روش محاسباتی ریاضی سطح اطمینان با تولید نقشه‌های احتمال آلاینده‌گی و ریسک آلاینده‌گی برای پهنه کلانشهر تهران توانسته است ضمن مشخص کردن مقادیر کیفی و کمی برای نشان دادن اهمیت مخاطرات و احتمال به‌وقوع پیوستن آلاینده‌گی‌ها در بخش‌های مختلف تهران، امکان تصمیم‌سازی را برای مبحث‌های توسعه‌ای و زیر ساختی شهر فراهم می‌سازد.

منابع

- Adhikary, P.P., Chandrasekharan, H., Chakraborty, D. and Kamble, K., 2010. Assessment of groundwater pollution in West Dehli India using a geostatistical approach. *Environmental Monitoring and Assessment*. 167, 599–615.
- Adhikary, P.P., Dash, C.J., Bej, R. and Chandrasekharan, H., 2011. Indicator and probability kriging methods for delineating Cu, Fe, and Mn contamination in groundwater of Najafgarh Block, Delhi, India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 176(1-4), 663-76.
- Bagheri Shirvan, B., Shad, R. and Ghaemi, M., 2015. Assessment spatial accuracy of algorithms Ordinary Kriging, Simple Kriging, and Universal Kriging in order to estimate soil moisture. 3rd National Conference of Medical Herbs and Stable Agriculture, 11th June, Hamedan, Iran.
- Burgess, T.M. and Webster, R., 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I: the variogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science*. 31, 315–331.
- Collins, F.C. and Bolstad, P.V., 1996. A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. *Proceedings of the 3rd International Conference/ Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*, National Center for Geographic Information and Analysis, 21th-26th February, Santa Barbara, CA., USA.
- Dammer, K.H., Schweigert, T. and Wittmann, C., 1999. Probability maps for risk assessment in patchy weed control. *Precision Agriculture*. 1, 185-198.
- Delbari, M., 2007. Estimation and stochastic simulation of soil properties for case studies in Lower Austria and Sistan plain, southeast of Iran. Ph.D. Thesis. University of natural resources and applied life science, Vienna, Austria.
- Deutsch, C.V. and Journel, A.G., 1998. *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. Second ed. Oxford University Press, New York, USA.
- Di Piazza, A., Conti, F.L., Noto, L.V., Viola, F. and La Loggia, G., 2011. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo Information*. 13, 396-408.
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York.
- Goovaerts, P., 1999. Geostatistical in soil science: state of-the-art and perspectives. *Geoderma*. 89, 1-45.
- Goovaerts, P., 2009. AUTO-IK: a 2D indicator kriging program for the automated nonparametric modeling of local uncertainty in earth sciences. *Computer & Geo-*

- sciences. 35(6), 1255-1270.
- Goovaerts, P., 2011. Geostatistical modeling of uncertainty in soil science. *Geoderma*. 103, 3-26.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M., 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, USA.
- Jensen, J.R., 2005. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. 3rd ed. Prentice Hall Inc., USA, p. 526.
- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. and Lucas, N., 2011. Using ArcGIS Geostatistical Analyst; Redlands ESRI: Redlands, CA., USA.
- Journel, A.G. and Huijbregts, C.J., 1978. Mining Geostatistic. Academic Press, New York, USA.
- Journel, A.G., 1983. Non-Parametric estimation of spatial distribution. *Mathematical Geology*. 15(3), 445-468.
- Kakaie, R., Doulati Ardejani F. and Sarkheil, H., 2009. Fractal Method and Orthonormal Trend Surface Analysis Application for Separation of Gechemical Anomalies from background in 1: 100000 Sorian Sheet. *Amirkabir*. 20, 1-7.
- Karimi, H.A., 2009. Handbook of Research on Geoinformatics. Hershey: Information Science Reference, USA.
- Kindap, T., Unal, A., Chen, S.H., Odmen, M.T. and Karaca, M., 2006. Long-range aerosol transport from EUROPE to Istanbul. *Atmospheric Environment*. 40, 3536-3547.
- Mohammadi, J., van Meirvenne, M. and Goovaerts, P., 1997. Mapping cadmium concentration and the risk of exceeding a local sanitation threshold using indicator geostatistics, In Soares, A. and Gómez-Hernández, J. and Froidevaux, R. (eds.), *geoENV I –geostatistical for environmental applications*. Kluwer, Dordrecht. pp. 327–337.
- Rayegani, B., Barati, S., Goshtasb, H., Sarkheil, H. and Ramezani, J., 2019. An effective approach to selecting the appropriate pan-sharpening method in digital change detection of natural ecosystems. *Ecological Informatics*. 53, 1-13.
- Rayegani, B., Barati, S., Goshtasb, H., Gachpaz, S., Ramezani, J. and Sarkheil, H., 2020. Sand and dust storm sources identification: a remote sensing approach. *Ecological Indicators*. 112, 1-12.
- Sarkheil, H., Hassani, H. and Alinia, F., 2013. Fractures distribution modeling using fractal and multi-fractal–neural network analysis in Tabnak hydrocarbon field, Fars, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. 6(3), 945-956.
- Sarkheil, H., Hassani, H., Alinia, F., Enayati, A. and Nikandish, A., 2012. Fracture analysis in Tabnak hydrocarbon field of Iran by using fractal geometry and multi-fractal analysis. *Arabian Journal of Geosciences*. 5(4), 579-586.
- Sarkheil, H., Hassani, H., Alinya, F., Enayati, A.A. and Motamedi, H., 2009. A forecasting system of reservoir fractures based on artificial neural network and borehole images information-exemplified by Reservoir fractures in Tabnak Feild, Fars, Iran. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Surveying Geology & mining Ecology Management*. 1, 563-570.
- Sarkheil, H. and Rahbari, S., 2016. Development of case historical logical air quality indices via fuzzy mathematics (Mamdani and Takagi–Sugeno systems), a case study for Shahre Rey Town. *Environmental Earth Sciences*. 75, 1-15.
- Sarkheil, H. and Rahbari, S., 2019. Fractal geometry analysis of chemical structure of natural starch modification as a green biopolymeric product. *Arabian Journal of Chemistry*. 12(8), 2430-2438.
- Sarkheil, H., Tavakoli, J. and Rezvani, S., 2016. Inher-

ent safety process assessment in the initial phase of the chemical design process: the case of acetic acid production process. *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*. 4(1), 207-212.

Tehran Air Quality Control Company, 2018. Available

online at: <http://www.airtehran.ir/>.

Van Meirvenne, M. and Gooverts, P., 2001. Evaluating the probability of exceeding a site-specific soil cadmium contamination threshold. *Geoderma*. 102, 75-100.





Environmental Sciences Vol. 18/ No. 2/ Summer 2020

187-202

Reliability assessment in spatial modeling for identification of air pollution (NO₂ & CO) probability in Tehran metropolis

Hamid Sarkheil,* Maryam Fakhari, Behzad Rayegani and Javad Bodagh Jamali
Department of Human Environment, College of Environment, Karaj, Iran

Received: 2019.03.02 Accepted: 2019.09.01

Sarkheil, H., Fakhari, M., Rayegani, B. and Bodagh Jamali, J., 2020. Reliability assessment in spatial modeling for identification of air pollution (NO₂ & CO) probability in Tehran metropolis. *Environmental Sciences*. 18(2): 187-202.

Introduction: Tehran metropolis, with an area of 750 km², a population of more than 8 million people, and about 4 million vehicles, is associated with the problem of air pollution. A thorough study of the spatial distribution of pollutants such as CO and NO₂ in Tehran is significant for identifying the risks, probabilities, and risks of these contaminants. Therefore, mathematical and computational methods such as the confidence level method can be useful. The main goals of this research were to investigate the changes in air pollution levels in terms of CO and NO₂ concentration, study the radius of impacts of fixed pollution stations, and calculate the level of reliability by investigating the probability of air pollution and the map of the risk of air pollution in different parts of the urban area of Tehran.

Material and methods: In this study, Tehran's air pollution data in October, November, and December 2017 was used in spatial modeling. Using geostatistics and indicator kriging methods, data were analyzed and maps of the distribution of pollution concentration, and also two-dual maps (0 and 1) of the probability of pollution and risk of pollution in Tehran's for the study period were produced by ArcGIS Software.

Results and discussion: The resulting maps showed the highest NO₂ emissions areas (Ghaem Park, Razi Park, and the municipality of district 16) and areas with the least risk of NO₂ pollution (Shahid Beheshti University, Pasdaran, Science, and Technology University, and Shad Abad). Moreover, the highest CO emission areas were the municipality of districts 11, 15, and 16, Ray station, Sharif University, Fatah Square, Health Park, and Razi Park. Aghdasyeh station, Shahid Beheshti University, municipality of district 2, Rose Park, Science and Technology University, Golbargh, Shad Abad, and Masoudieh had the lowest CO emissions.

*Corresponding Author. *Email Address:* sarkheil_h@yahoo.co.uk

Conclusion: The indicator kriging was a useful method for assessing the risk of contamination by providing a possibility map. The hazardous maps produced in this study were useful tools for identifying areas with CO and NO₂ contaminations. The results of this study can play an effective role in urban management decisions by correctly identifying the amount of air pollution in an appropriate spatial distribution.

Keywords: Spatial distribution, Tehran metropolis, Indicator kriging, Geostatistics, Reliability.