



## کاربرد آنالیز چند متغیره مکانی در ارزیابی ذرات معلق (مطالعه موردی: بوشهر)

طیبه طباطبایی<sup>۱\*</sup>، عبدالرضا کرباسی<sup>۲</sup>، فرامرز معطر<sup>۳</sup>، سید مسعود منوری<sup>۲</sup>

۱. دکتری محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲. استادیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۳. استاد، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱۵ آبان ۱۳۹۲

پذیرش: ۱۱ خرداد ۱۳۹۳

دسترسی اینترنتی: ۱۸ دی ۱۳۹۳

واژه‌های کلیدی:

زمین آمار

آلودگی گرد و غبار

فلزات سنگین

تغییرات مکانی

سیستم اطلاعات جغرافیایی

### چکیده

میانگین ذرات معلق ده ایستگاه در سه دوره گرد و غبار در شهرستان بوشهر، برای تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، کبالت، آهن، نیکل، سرب و وانادیوم نمونه برداری گردید. تکنیک‌های زمین آمار، سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش کرچینگ گسسته برای تهیه نقشه توزیع مکانی غلظت هفت فلز، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، از روش‌های تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) و ماتریس همبستگی (CM) برای پردازش داده‌ها استفاده شد. نتایج اثر قطعه‌ای (C<sub>0</sub>) به آستانه واریوگرام (C<sub>0</sub>+C) نشان داد که توزیع تغییرات مکانی ۷ عنصر در طبقه وابستگی مکانی متوسط (۰/۷۵-۰/۲۵) قرار دارد. این بدان معنی است که ورود این فلزات به منطقه مورد مطالعه منشأ بیرونی دارد. همچنین، روش کرچینگ گسسته برای کمی کردن توزیع غلظت فلزات استفاده شد. آنالیز مؤلفه اصلی هفت فلز سنگین را در ۳ مؤلفه گروه‌بندی کرد. در مؤلفه اول فلزات آرسنیک، وانادیوم، کبالت، نیکل و سرب، در مؤلفه دوم کادمیوم و در مؤلفه سوم آهن بیشترین همبستگی را داشتند. نتیجه این آنالیز نشان داد که منشأ غلظت این عناصر یک عامل بیرونی است. این نتایج به مدیریت محیط زیست منطقه کمک خواهد کرد.

\*tabatabaie20@yahoo.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

## مقدمه

عناصر سنگین به آن دسته از عناصر اطلاق می‌شود که دارای جرم اتمی بیشتر از آهن هستند و به شدت جذب بافت‌های زنده شده، در آن انباشت شده و خروج آن‌ها از بافت به سختی صورت گیرد. مانند روی، کادمیوم، کبالت، مس، سرب، نیکل، آرسنیک، وانادیوم، کروم (۲۴). عناصر سنگین از جمله آلاینده‌های غیرنقطه‌ای هستند که امروزه به دلیل اثرات نامطلوب بر انسان و محیط زیست به یک معضل زیست محیطی در جهان تبدیل شده و مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته‌اند. که می‌توان به مطالعات آکاستا و همکاران (۱)، بنی و همکاران (۲)، کی و همکاران (۳)، چابوکدهارا و نیما (۴)، چن و همکاران (۶)، ایز و همکاران (۸)، گو و همکاران (۱۰)، لین و همکاران (۱۷)، لو و همکاران (۱۸)، میکو و همکاران (۲۰)، رالی (۲۳)، وی و همکاران (۲۷)، ژیا و همکاران (۲۸) و ژانگ و همکاران (۳۱) در این زمینه اشاره کرد. هرچند این عناصر به طور طبیعی و در مقادیر بسیار کم در هوا یافت می‌شوند ولی فعالیت‌های بشر باعث افزایش تراکم غلظت آن‌ها در بخش‌هایی از محیط شده که منجر به بروز خواص سمی آن‌ها می‌شود. فراگیر شدن پدیده گرد و غبار در مناطق جنوبی کشور در سال‌های اخیر مشکلاتی را ایجاد نموده است. بر طبق مطالعه لیون و لگراند (۱۵)، منشاء این گرد و غبارها کشورهای عربستان و عراق است که اختلاف فشار ایجاد شده بین جنوب ایران با عربستان و عراق و همراهی شرایط سطوح فوقانی جو به اضافه وزش بادهای شدید در عراق و عربستان (به ویژه در جنوب عراق و شمال عربستان) که بیشتر در تابستان اتفاق می‌افتد (۳۰)، همراه بادهای شرقی را می‌توان از عوامل اصلی گرد و غبار در جنوب ایران دانست. با توجه به اینکه منطقه بوشهر در جنوب کشور نیز مشکل پدیده گرد و غبار و ریزگردهای اخیر را پیدا کرده است، یکی از ترکیبات بسیار مهم که همراه با ذرات معلق با اندازه‌های کوچک جابه‌جا می‌شود فلزات سنگین هستند، که موقعیت جغرافیایی و فعالیت‌های طبیعی و انسانی تعیین‌کننده غلظت آن‌ها درون ذرات است. از روش‌های زمین‌آماری و GIS جهت استخراج تجزیه و تحلیل اطلاعات از مجموعه داده‌ها در مطالعات متعددی استفاده شده است که می‌توان به مطالعه کی و

همکاران (۳)، چابوکدهارا و نیما (۴)، دیویس و همکاران (۷)، ایز و همکاران (۸)، گو و همکاران (۱۱)، لی و فنگ (۱۶)، لو و همکاران (۱۹)، قشلاقی و همکاران (۲۲)، ژیا و همکاران (۲۸) و یانگ و همکاران (۲۹) اشاره کرد. که هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی انتشار فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، کبالت، آهن، نیکل، سرب و وانادیوم)، که در اثر پدیده گرد و غبار وارد منطقه بوشهر می‌شوند، با روش‌های زمین‌آمار و چندمتغیره مکانی است.

## روش تحقیق

## منطقه مورد مطالعه

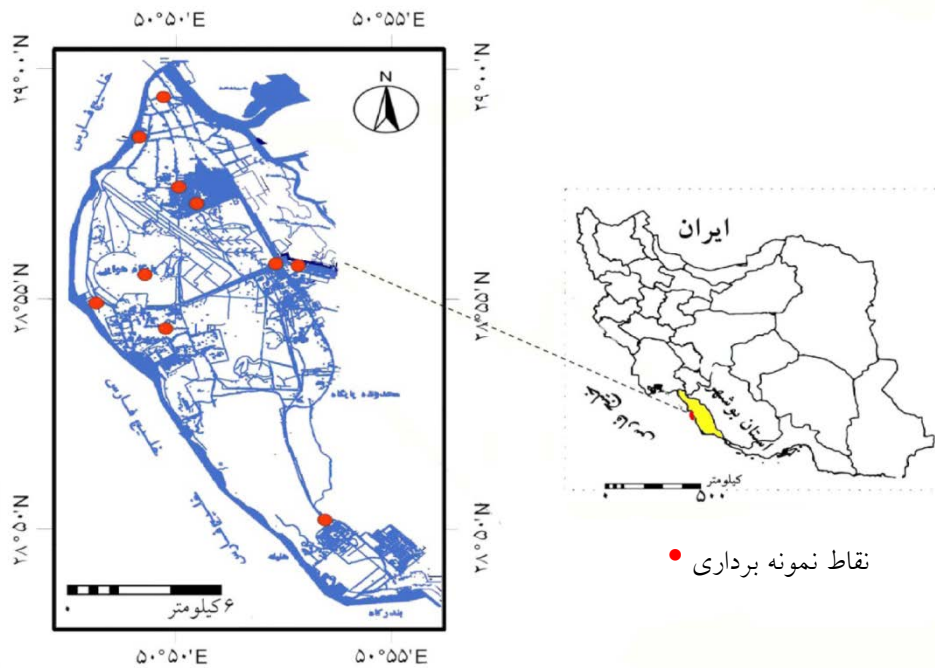
منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی ایران و در موقعیت جغرافیائی ۵۴° ۴۸' تا ۲۸° ۰۳' ۰۰" طول شرقی و ۱۹° ۴۸' تا ۵۰° ۵۵' ۰۷" عرض شمالی واقع شده است. مساحت بوشهر ۱۳۰۸/۳ کیلومتر مربع است. میانگین دمای سالیانه منطقه ۲۵/۷، میزان رطوبت نسبی آن بین ۷۵-۵۸٪ و میزان متوسط بارندگی سالیانه این شهر ۲۲۰ میلی‌متر است.

## ایستگاه‌های نمونه‌برداری

تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری، با توجه به نمونه‌های گرد و غبار مرداد ۹۰ گرفته شد، بر اساس رابطه ۱ تعیین گردید (۳).

$$N = \frac{t^2 \times \delta^2}{(X \times K)^2} \quad [1]$$

که در این رابطه؛  $t$  تی استودنت (t-students)،  $\delta$  واریانس،  $X$  میانگین و  $K$  ضریب دقت که ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود. محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس روش شبکه‌بندی (سیستماتیک - تصادفی) انتخاب گردید (شکل ۱). نمونه‌برداری در سه دوره (مرداد ۹۰، اسفند ۹۰ و خرداد ۹۱) برداشت گردید. برای این منظور ابتدا منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰، به شبکه‌های ۳/۵ × ۳/۵ کیلومتری، بر اساس مساحت منطقه که ۱۰۲ کیلومتر مربع می‌باشد و تعداد ایستگاه‌های مورد نیاز، تقسیم‌بندی شد. به منظور عدم ایجاد خطا و اریبی در آمار، محل نمونه‌برداری در هر شبکه به صورت تصادفی تعیین گردید (جدول ۱).



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

تعیین گردید. طبق دستورالعمل SKC filter selection guide استفاده از این دستگاه، از فیلتر سلولزاستر با سایز عبور ۰/۴۵ میکرومتر و قطر ۴۷ میلی‌متر، با دبی ۵ لیتر بر دقیقه استفاده گردید. قبل از نمونه‌برداری کلیه فیلترها در دسیکاتور قرار داده شد تا رطوبت آن‌ها گرفته شود. سپس با تراوی دقت یک ده هزارم گرم کلیه فیلترها وزن گردید (۲۱).

#### آنالیز آزمایشگاهی

پس از جمع‌آوری فیلترهای مورد نظر در ایستگاه‌های مورد مطالعه، مجدداً آن‌ها را وزن نموده و بر اساس دستورالعمل NIOSH-7300-issue-3، فیلترها را با اسید نیتریک و اسید پرکلریک با حجم ۴ به ۱ هضم و در نهایت محلول مورد نظر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید. با استفاده از دستگاه ICP-AES غلظت فلزات سنگین قرائت گردید (۲۱).

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

##### زمین‌آمار (Geostatistics)

برای بررسی توزیع و تست نرمال بودن در سطح اطمینان ۹۵٪، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده گردید. برای

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۵۰° ۴۹' ۳۸/۳۱"	۲۸° ۵۵' ۴۰/۱۴"
۲	۵۰° ۵۰' ۰۰/۴۱"	۲۸° ۵۴' ۳۶/۷۳"
۳	۵۰° ۵۲' ۰۳/۷۳"	۲۸° ۵۵' ۵۴/۲۸"
۴	۵۰° ۵۲' ۲۸/۱۸"	۲۸° ۵۵' ۵۱/۰۸"
۵	۵۰° ۵۰' ۱۶/۰۴"	۲۸° ۵۷' ۲۵/۵۵"
۶	۵۰° ۴۹' ۵۸/۰۰"	۲۸° ۵۹' ۱۶/۱۰"
۷	۵۰° ۴۹' ۳۱/۹۲"	۲۸° ۵۸' ۲۷/۸۶"
۸	۵۰° ۴۸' ۴۳/۳۸"	۲۸° ۵۵' ۰۶/۷۳"
۹	۵۰° ۵۰' ۳۵/۶۲"	۲۸° ۵۷' ۰۷/۳۰"
۱۰	۵۰° ۵۲' ۵۹/۰۸"	۲۸° ۵۰' ۴۴/۶۷"

#### روش نمونه‌برداری

با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار SKC مدل 224-PCXR3 با نمونه‌برداری از ذرات گرد و غبار انجام گردید. نمونه‌ها از ایستگاه‌های مطالعاتی از ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین جمع‌آوری گردید (۲۴). انتخاب مدل دستگاه و نحوه نمونه‌برداری بر اساس دستورالعمل NIOSH-7300-issue-3

استخراج داده‌های آنالیز شده در فرمت مناسب، مرحله چهارم: پردازش داده‌ها و تجزیه و تحلیل آمار توصیفی داده‌ها، مرحله پنجم: انتخاب مدل‌های تئوری زمین‌آمار برای بررسی پیوستگی مکانی و بررسی وجود ساختار فضایی بین داده‌ها، مرحله ششم: انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی، با بررسی واریوگرام داده‌ها و ساختار فضایی داده‌ها، پردازش توصیف آماری داده‌ها می‌توان مناسب‌ترین روش را برای پهنه‌بندی انتخاب کرد، مرحله هفتم: پهنه‌بندی، پس از پیش‌پردازش‌ها و انتخاب مدل مناسب و مرحله هشتم: ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدی می‌باشد.

### ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدی

با روش تعیین اعتبار (Cross validation) و با استفاده از تابع RMSs (Root-Mean-Square Standardized)، صحت مدل‌های برازش شده و نقشه‌های تولیدی با استفاده از میانگین قدر مطلق تفاضیل مقادیر واقعی و برآوردی محاسبه گردید.

$$RMSs = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P(x_i) - M(x_i)| \quad [2]$$

در این رابطه:  $P(x_i)$  مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر،  $M(x_i)$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر و  $n$  تعداد داده‌ها (۱۳). لادو و همکاران (۱۴) با استفاده از روش تعیین اعتبار، صحت نقشه‌های تولیدی با روش کریجینگ را تعیین نمودند.

### نتایج و بحث

#### نرمال بودن داده‌ها

نتایج آنالیز کولموگروف-اسمیرنوف در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج این آزمون نشان می‌دهد که توزیع آماری همه داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ نرمال می‌باشد.

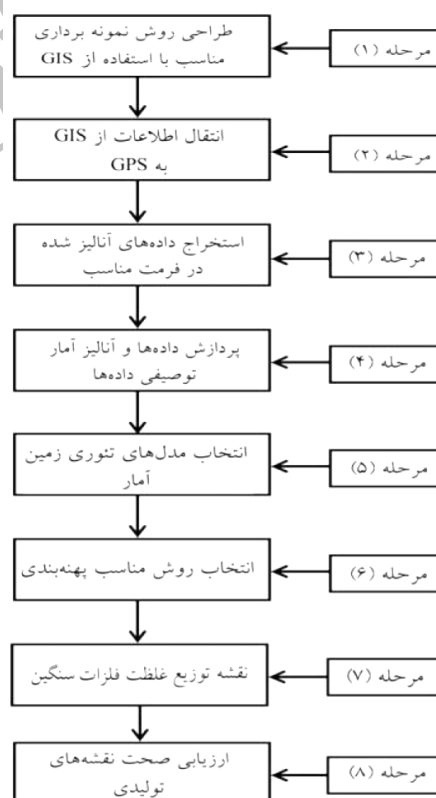
#### تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مکانی

آنالیز توزیع مکانی غلظت ۷ فلز سنگین مورد بررسی نشان می‌دهد که منشاء ورود این فلزات از یک منبع بیرونی می‌باشد. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه واریوگرام (Ratio of nugget to

بررسی تغییرات مکانی داده‌ها، از اکستنشن ژئواستاتستیک در محیط نرم‌افزار ArcGIS<sup>®</sup> 9.3 استفاده گردید. در این مطالعه از تکنیک سمی- واریوگرام (Semi-variogram) برای ارزیابی تغییرات مکانی متغیرها، و تهیه داده‌های لازم برای میانبازی (Interpolation) با روش کریجینگ (Kriging) تعیین گردید (۲۶). برای این منظور مدل‌های کروی، نمایی، گوسین، موجی، کوادراتیک چرخشی، مدور و توانی که در روش میانبازی کریجینگ فاصله‌ای وجود دارد، جهت یافتن مدل مناسب میانبازی استفاده شد (۱۲).

### نقشه توزیع مکانی غلظت فلزات

نقشه توزیع غلظت فلزات سنگین، بر اساس مراحل ارائه شده در شکل ۲ تهیه گردید.



شکل ۲. مراحل تهیه نقشه‌های توزیع مکانی فلزات مورد مطالعه

نخستین مرحله، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین، طراحی شبکه نمونه‌برداری، مرحله دوم: شامل انتقال اطلاعات از نرم‌افزار GIS به سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، مرحله سوم،

می‌دهد که سه مؤلفه (D1~D3)،  $۸۴/۷۳\%$  از کل واریانس، که مؤلفه ۱ ( $۵۱/۷\%$  تغییرات کل)، مؤلفه ۲ ( $۱۷/۲\%$  تغییرات کل) و مؤلفه ۳ ( $۱۵/۷\%$  تغییرات کل)، را توضیح می‌دهد. همان طور که نتایج جدول نشان می‌دهد آنالیز آماری تحلیل عاملی، فلزات سنگین در سه گروه قرار گرفتند. در مؤلفه اول فلزات آرسنیک، وانادیوم، کبالت، نیکل و سرب و در مؤلفه دوم کادمیوم و در مؤلفه سوم آهن بیشترین همبستگی را داشتند. نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی به روش گرافیکی، برای نشان دادن موقعیت مکانی فلزات سنگین استفاده شد. در این روش موقعیت مکانی هر فلز با فلش‌هایی مشخص گردید. فلش بلندتر اثر بیشتر (مثبت یا منفی) و فلش کوتاه‌تر اثر کمتر (مثبت یا منفی) را نشان می‌دهد. دو فلش همسو اثر مثبت و دو فلش مقابل با حداکثر زاویه  $۱۸۰^{\circ}$  نشانگر اثر منفی و متقابل دو پارامتر بر هم می‌باشند (شکل ۳).

(RNS: sill) در زمین‌آمار می‌تواند به عنوان معیاری برای طبقه‌بندی وابستگی مکانی داده‌ها در نظر گرفته شود (۵ و ۳۱). در صورتی که این نسبت کمتر از  $۰/۲۵$  باشد وابستگی مکانی قوی،  $۰/۲۵-۰/۷۵$  وابستگی مکانی متوسط، بیش از  $۰/۷۵$  وابستگی مکانی ضعیف می‌باشد (۲۵). همان طور که در جدول ۳ دیده می‌شود، نسبت آرسنیک، کادمیوم، کبالت، آهن، نیکل، سرب و وانادیوم بین  $۰/۲۵-۰/۷۵$  است، که متعلق به دامنه وابستگی مکانی متوسط است، که نشان می‌دهد که عوامل انسانی و بیرونی در ورود این فلزات به منطقه نقش دارند.

### آنالیز مؤلفه‌های اصلی

در آنالیز چندمعیاره مکانی، تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای تعیین منشاء فلزات استفاده شد (۹). برای تحلیل عاملی از مؤلفه‌های اصلی و روش چرخش واریومکس (Varimax) در نرم‌افزار Xlstat استفاده شد. نتایج PCA در جدول ۳ نشان

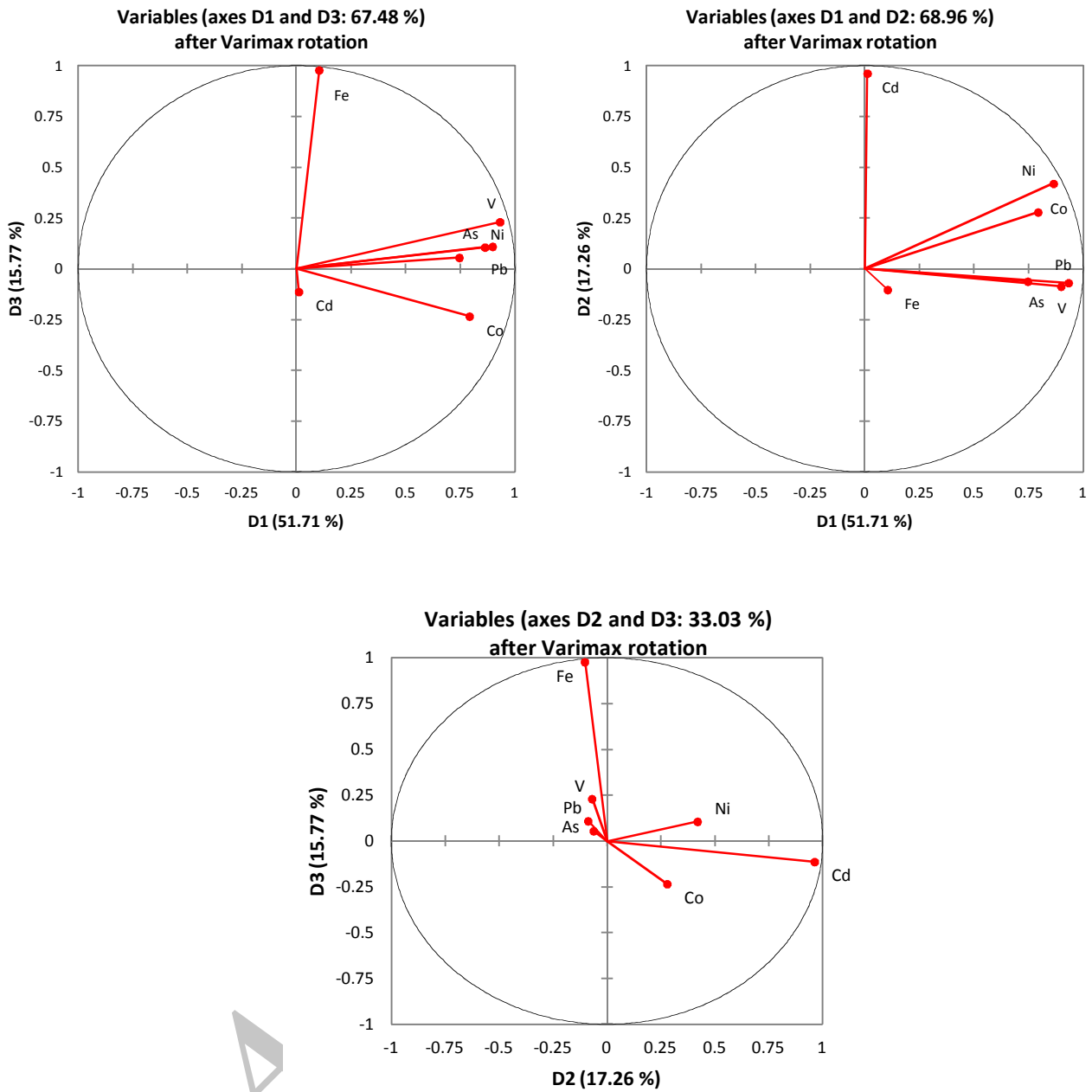
جدول ۲. توزیع غلظت فلزات سنگین در نمونه ذرات معلق (آزمون کولموگروف - اسمیرنوف)

		وانادیوم	نیکل	کبالت	کادمیوم	سرب	آهن	آرسنیک
N		۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
Normal Parameters	Mean	$۳/۴ \times ۱۰^{-۲}$	۹۲/۹۷	۵/۹۹	۱۵/۸۷	۴۶/۷۵	$۲ \times ۱۰^۴$	۸/۷۴
	Std. Deviation	۶۸/۴	۲۵	۱/۱۲	۱/۹۰	۱۷/۵	۲۶۲۰	۱/۶۹
Most Extreme Differences	Absolute	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱	۰/۱	۰/۱۴
	Positive	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱	۰/۰۶	۰/۱۴
	Negative	-۰/۱۲	-۰/۱۶	-۰/۱	-۰/۱۱	-۰/۰۷۵	-۰/۱	-۰/۰۸
Kolmogorov-Smirnov Z		۱/۳۴۶	۱/۲۵۶	۰/۵۷	۰/۸۱	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۷۷
Asymp. Sig. (2-tailed)*		۰/۰۵۳	۰/۰۸	۰/۹	۰/۵۲	۰/۸۷	۰/۹	۰/۵۹

\* Sig. بالای  $۰/۰۵$  نشان دهنده نرمال بودن داده‌ها است.

جدول ۳. نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی

متغیرها	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳
آرسنیک	۰/۵۵۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
آهن	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۹۵۷
سرب	۰/۸۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲
کادمیوم	۰/۰	۰/۹۲۷	۰/۰۱۳
کبالت	۰/۶۲۹	۰/۰۷۸	۰/۰۵۵
نیکل	۰/۷۴۶	۰/۱۷۶	۰/۰۱۱
وانادیوم	۰/۸۶۹	۰/۰۰۵	۰/۰۵۳



شکل ۳. همبستگی مکانی فلزات سنگین مورد مطالعه

همان طور که نتایج ارائه شده در جدول نشان می‌دهد هیچ کدام از فلزات سنگین با آهن همبستگی نداشتند که این عدم همبستگی نشان‌دهنده منشأ غیرطبیعی و ورود این فلزات به منطقه در اثر یک منشأ بیرونی است.

آنالیز همبستگی پیرسون برای نشان دادن منشأ فلزات مورد مطالعه (V, Pb, Ni, Fe, Co, Cd, As) انجام گردید (جدول ۴). همبستگی بین فلزات V و As، ( $r=0/806$ ) و Pb و V، ( $r=0/841$ ) و Ni و Co، ( $r=0/831$ ) و Ni و V، ( $r=0/754$ ) و Pb و Co، ( $r=0/687$ ) و Ni و Pb، ( $r=0/736$ ) تعیین گردید.

جدول ۴. ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین مورد مطالعه

متغیرها	آرسنیک	وانادیوم	کادمیوم	کبالت	آهن	نیکل	سرب
آرسنیک	۱						
وانادیوم	۰/۸۰۶**	۱					
کادمیوم	۰/۰۵۰	-۰/۰۳۲	۱				
کبالت	۰/۳۱۸	۰/۵۷۹	۰/۱۹۹	۱			
آهن	۰/۰۷۲	۰/۳۰۰	-۰/۲۳۹	-۰/۱۰۵	۱		
نیکل	۰/۵۶۶	۰/۷۵۴*	۰/۳۵۰	۰/۸۳۱**	۰/۱۶۶	۱	
سرب	۰/۵۰۱	۰/۸۴۱**	-۰/۰۸۴	۰/۶۸۷*	۰/۲۱۴	۰/۷۳۶*	۱

\*\*همبستگی در سطح ۱ درصد ( $P < 0.01$ ) و در \* سطح ۵ درصد ( $P < 0.05$ )

### ساختار مکانی

تجزیه و تحلیل ساختار تغییرات مکانی با استفاده از تغییر نما صورت می‌گیرد. تغییر نما تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییرپذیری یک متغیر خاص را نشان می‌دهد و از ابزارهای اساسی زمین‌آمار جهت بررسی تغییرات مکانی می‌باشد. در واقع تغییر نما (واریوگرام) میانگین مربعات تفاضل دو مقدار، به عنوان تابعی از نمو فاصله بین آن‌ها را نشان می‌دهد. با استفاده از آنالیز میانگین و RMSs، صحت الگوی برازش داده شده بررسی شد. مقادیر این دو پارامتر با نزدیک شدن به صفر نشان‌دهنده دقت بالای تخمین می‌باشد.

جهت انجام میان‌یابی، مدل‌های مختلف تغییر نما و روش‌های مختلف زمین‌آمار بکار گرفته شده و بهترین مدل تغییر نما و مناسب‌ترین روش درون‌یابی، انتخاب و میان‌یابی

نهایی با استفاده از آن‌ها صورت گرفت.

نتایج برازش سمی - واریوگرام برای فلزات سنگین و ذرات معلق در جدول ۵ آورده شده است. پارامترهای ارائه شده در این جدول اثر قطعه‌ای ( $C_0$ )، آستانه واریوگرام ( $C_0+C$ )، میانگین خطای تخمین (Mean)، میانگین دامنه همبستگی مکانی ( $\alpha$ ) و RMSs می‌باشد. مقادیر RMSs در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ نشان می‌دهد که مدل‌های سمی - واریوگرام برازش داده شده به درستی بیان‌کننده توزیع مکانی داده‌های مورد مطالعه است.

دامنه تغییرات توزیع مکانی ۷ عنصر مورد بررسی در طبقه وابستگی مکانی متوسط (۰/۷۵-۰/۲۵) واقع شده است. این بدان معنی است که ورود این فلزات به منطقه مورد مطالعه منشأ بیرونی دارد.

جدول ۵. نتایج آنالیز همبستگی مکانی متغیرها، مدل‌های برازش داده شده به داده‌های مورد مطالعه

فلزات سنگین	مدل	قطعه ( $C_0$ )	آستانه (C)	$C_0 / (C_0 + C)$	$\alpha$ (km)	میانگین (Mean)	RMSs
As	گوسین	۰/۳۴	۰/۷۰	۰/۳۲	۱/۹۵	۰/۰۴۸	۰/۸۷
Cd	گوسین	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۶	۰/۴۰	۴/۷۴	۰/۰۱۱	۰/۶۳
Co	کروی	۰/۸۰	۰/۶۸	۰/۵۴	۴/۷۴	۰/۰۳۸	۰/۹۷
Fe	کوادراتیک چرخشی	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۶	۰/۴۸	۱/۴۴	۰/۶۴	۰/۷۶
Ni	نمایی	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۶	۰/۳۶	۱/۳۷	۰/۰۵۲	۰/۷۳
Pb	مدور	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۶۳	۰/۳	۱۴/۹۸	۰/۰۶۵	۰/۹۸
V	نمایی	۰/۳۲	۰/۷۵	۰/۲۹	۱/۰۶	۰/۲	۰/۹۷

### نقشه‌های توزیع مکانی غلظت فلزات

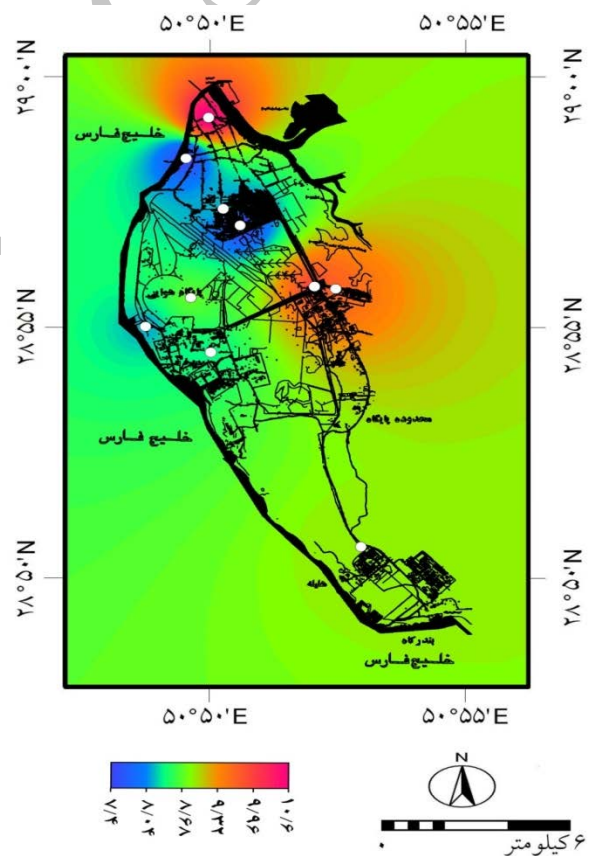
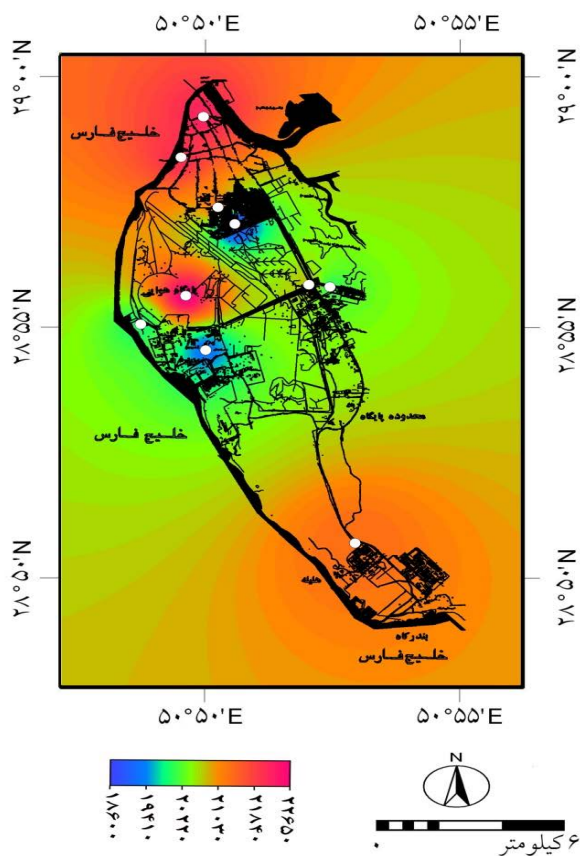
نقشه توزیع غلظت فلز آرسنیک در ذرات معلق در شکل ۴ آورده شده است. توزیع مکانی این فلز در بخش‌های مرکزی شهر غلظت کمتری را نشان داد. مدل برازش شده گوسین بیشترین انطباق، جهت میان‌یابی را داشت. نقشه توزیع غلظت فلز آهن نشان می‌دهد که تمرکز غلظت در قسمت‌های جنوبی شهر می‌باشد (شکل ۵). مدل برازش شده برای توزیع غلظت این فلز کودراتیک چرخشی است. نقشه توزیع غلظت سرب از مدل مدور تهیه گردید (شکل ۶).

پایش توزیع مکانی نیکل در دوره مطالعه در شکل ۷ نشان می‌دهد که پراکنش این عنصر در بیشتر سطح شهر در محدوده

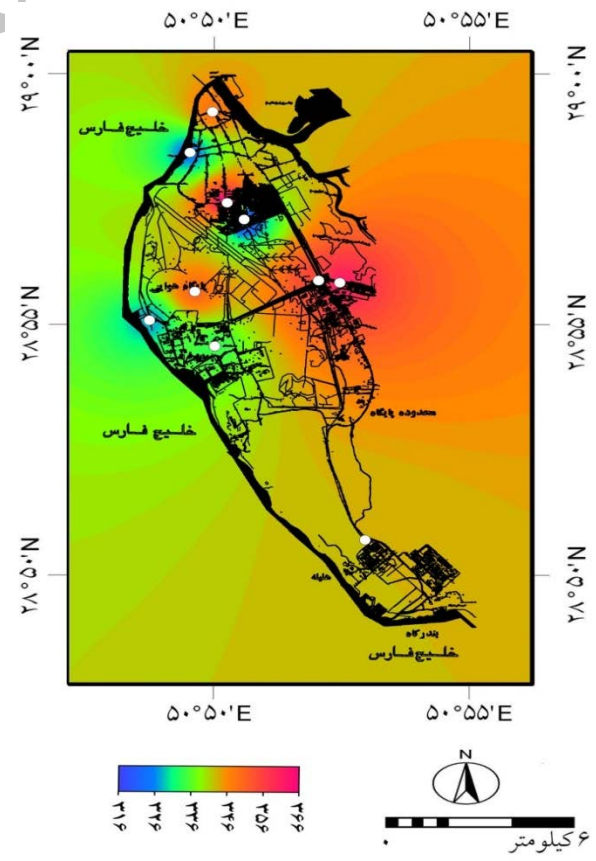
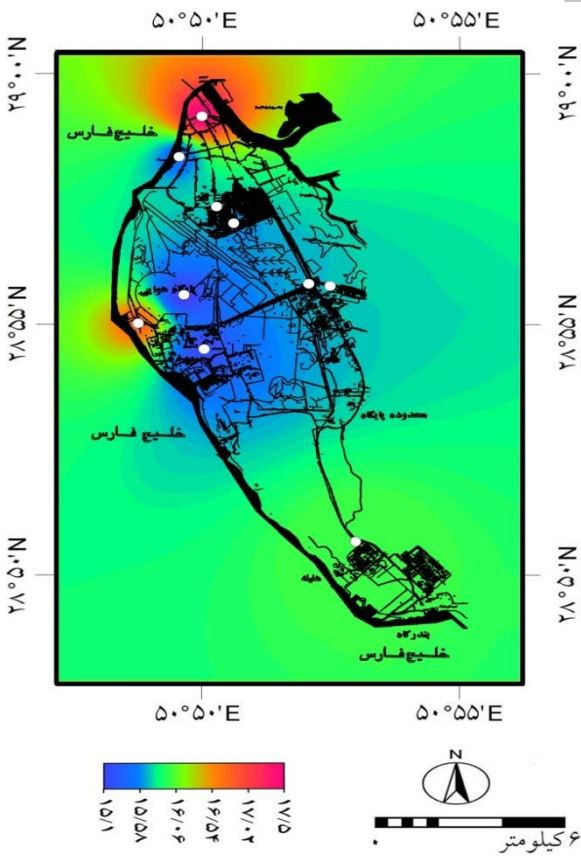
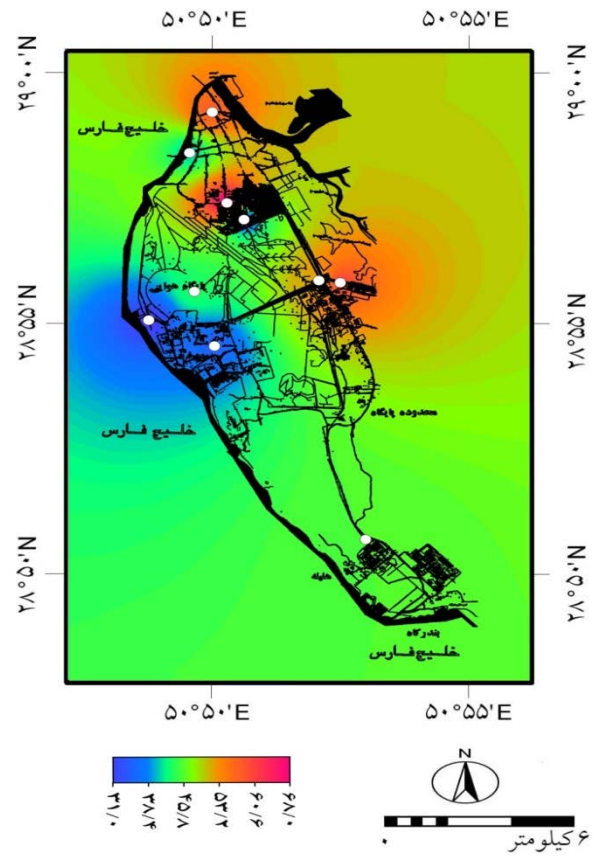
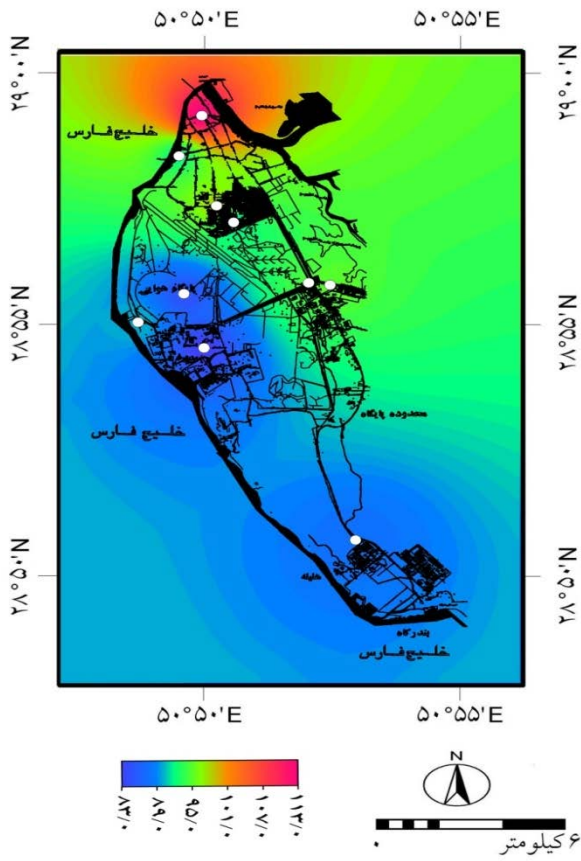
غلظت کم و نسبتاً کم قرار می‌گیرد. مدل برازش شده نمایی بیشترین انطباق را جهت توزیع مکانی غلظت نیکل داشت. نقشه توزیع غلظت وانادیوم در شکل ۸ نشان می‌دهد که بیشتر مساحت شهر در دامنه غلظت بالا قرار دارد.

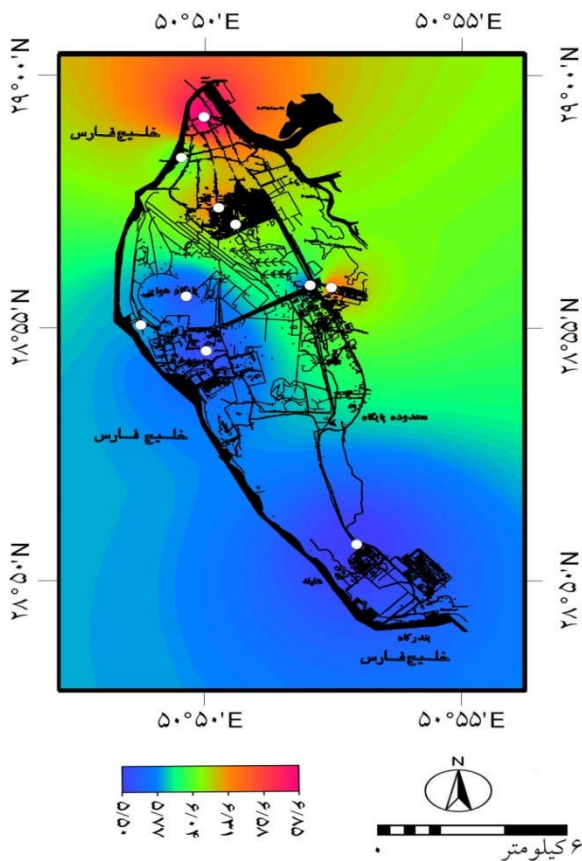
توزیع مکانی غلظت این عنصر از مدل نمایی تبعیت می‌نماید. ساختار مکانی کادمیوم نشان داد که بیشتر قسمت‌های شهر در دامنه غلظت پایین این عنصر قرار می‌گیرد (شکل ۹). بهترین مدل انطباق داده شده برای میان‌یابی گوسین بود.

شکل ۱۰ ساختار مکانی پراکنش غلظت کبالت را نشان می‌دهد. نتیجه تطبیق برازش مدل‌ها نشان داد که مدل کروی بهترین انطباق را برای توزیع غلظت این عنصر می‌باشد.









شکل ۱۰. توزیع مکانی غلظت کبالت

منابع مورد استفاده

- Acosta J, Faz A, Martinez-Martinez S, Zornoza R, Carmona D, Kabas S. 2011. Multivariate statistical and GIS-based approach to evaluate heavy metals behaviour in mine sites for future reclamation. *Journal of Geochemical Exploration*, 109(1-3): 8-17.
- Bini C, Sartori G, Wahsha M, Fontana S. 2011. Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 109(1-3): 125-133.
- Cai L, Xu Z, Ren M, Guo Q, Hu X, Hu G, Wan H, Peng P. 2012. Source identification of eight hazardous heavy metals in agricultural soils of Huizhou, Guangdong Province, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 78: 2-8.
- Chabukdhara M, Nema AK. 2012. Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediments: A chemometric and geochemical approach. *Chemosphere*, 87(8): 945-953.
- Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Turco RF, Konopka AE. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society American Journal*, 58: 1501-1511.
- Chen T, Liu X, Li X, Zhao K, Zhang J, Xu J, Shi J, Dahlgren RA. 2009. Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a field-scale vegetable soil of Hangzhou, China. *Environmental Pollution*, 157(3): 1003-1010.
- Davis HT, Marjorie Aelion C, McDermott S, Lawson AB. 2009. Identifying natural and anthropogenic sources of metals in urban and rural soils using GIS-based data, PCA, and spatial interpolation. *Environmental Pollution*, 157(8-9): 2378-2385.
- Eze PN, Udeigwe TK, Stietiya MH. 2010. Distribution and potential source evaluation of heavy metals in prominent soils of Accra Plains, Ghana. *Geoderma*, 156(3-4): 357-362.
- Facchinelli A, Sacchi E, Mallen L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*, 114(3): 313-324.
- Gu YG, Wang ZH, Lu SH, Jiang SJ, Mu DH, Shu YH. 2012. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify source of anthropogenic impacts on metallic elements in sediments from the mid Guangdong coasts, China. *Environmental Pollution*, 163: 248-255.
- Guo G, Wu F, Xie F, Zhang R. 2012. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(3): 410-418.
- Hendrikse J. 2000. Geostatistics in ILWIS. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B4/1; PART 4): 365-375.
- Johnston K, Ver Hoef JM, Krivoruchko K, Lucas N. 2001. Using ArcGIS geostatistical analyst. Esri Redlands, CA, New York, USA.
- Lado LR, Hengl T, Reuter HI. 2008. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*, 148(2): 189-199.
- Léon JF, Legrand M. 2003. Mineral dust sources in the surroundings of the north Indian Ocean. *Geophysical Research Letters*, 30: 1309-1312.
- Li X, Feng L. 2012. Geostatistical analyses and fractionation of heavy metals in urban soil from industrial district in Weinan, NW China. *Environmental Earth Sciences*, 67: 2129-2140.
- Lin YP, Cheng BY, Shyu GS, Chang TK. 2010. Combining a finite mixture distribution model with indicator kriging to delineate and map the spatial patterns of soil heavy metal pollution in Chunghua County, central Taiwan. *Environmental Pollution*, 158(1): 235-244.
- Lu X, Wang L, Li LY, Lei K, Huang L, Kang D. 2010. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1): 744-749.
- Lu A, Wang J, Qin X, Wang K, Han P, Zhang S. 2012. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and origin of heavy metals in the agricultural soils in Shunyi, Beijing, China. *Science of the total environment*, 425: 66-74.
- Micó C, Recatalá L, Peris M, Sánchez J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate

- analysis. *Chemosphere*, 65(5): 863-872.
21. Niosh. 2003. Manual of analytical method (NMAM), 4th ed. <http://www.skinc.com/filterselection.asp>.
  22. Qishlaqi A, Moore F, Forghani G. 2009. Characterization of metal pollution in soils under two landuse patterns in the Angouran region, NW Iran; a study based on multivariate data analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 172(1): 374-384.
  23. Reilly C. 2008. Metal Contamination of Food: Its Significance for Food Quality and Human Health. 3<sup>rd</sup> ed. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
  24. Rossini P, Matteucci G, Guerzoni S. 2010. Atmospheric fall-out of metals around the Murano glass-making district (Venice, Italy). *Environmental Science and Pollution Research*, 17: 40-48.
  25. Shi J, Wang H, Xu J, Wu J, Liu X, Zhu H, Yu C. 2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China. *Environmental Geology*, 52(1): 1-10.
  26. Webster R, Oliver MA. 2007. *Geostatistics for environmental scientists*. Second Edition edn. John Wiley & Sons Inc.
  27. Wei C, Wang C, Yang L. 2009. Characterizing spatial distribution and sources of heavy metals in the soils from mining-smelting activities in Shuikoushan, Hunan Province, China. *Journal of Environmental Sciences*, 21(9): 1230-1236.
  28. Xia X, Chen X, Liu R, Liu H. 2011. Heavy metals in urban soils with various types of land use in Beijing, China. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2-3): 2043-2050.
  29. Yang Z, Lu W, Long Y, Bao X, Yang Q. 2011. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 108(1): 27-38.
  30. Zarasvandi A, Carranza E, Moore F, Rastmanesh F. 2011. Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of Geochemical Exploration*, 111(3): 138-151.
  31. Zhang C, Wu L, Luo Y, Zhang H, Christie P. 2008. Identifying sources of soil inorganic pollutants on a regional scale using a multivariate statistical approach: role of pollutant migration and soil physicochemical properties. *Environmental Pollution*, 151(3): 470-476.

Archive of SID



## Multivariate geostatistical analysis in assessment of aerosols (Case study: Bushehr)

T. Tabatabaei<sup>1\*</sup>, A.R. Karbassi<sup>2</sup>, F. Moatar<sup>3</sup>, S.M. Monavari<sup>2</sup>

1. Ph.D. of Environment, College of Environment and Energy, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran

2. Assis. Prof. College of Environment and Energy, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran

3. Prof. College of Environment and Energy, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 6 November 2013

Accepted 1 June 2014

Available online 8 January 2015

#### Keywords:

Geostatistics

Dust pollution

Heavy metals

Spatial variability

Geographic information system

### ABSTRACT

The mean aerosols samples in three periods of ten stations were taken from Bushehr region, to characterize the spatial variability and concentration of As, Cd, Co, Fe, Ni, Pb and V. The geostatistics and geographic information system (GIS) techniques were applied, and the disjunctive kriging was used to map the spatial patterns of the seven heavy metals. Meanwhile, Principal component analysis (PCA) and correlation matrix (CA) were used for the data processing. The results of Nug/Sill ratios for the seven metals showed that spatial dependent is moderate (0.25-0.75), that indicative the effects of natural factors such as parent material and topography. Meanwhile, the disjunctive kriging technique was used to quantify their concentration distribution. Combined with the results of PCA, 7 heavy metals could be divided into 3 factors. D1 was the metals, i.e., As, Co, Ni, Pb, V. Cd was in D2, Fe in D3. This results show the concentrations of 7 heavy metals were mainly controlled by the external factors. These results will contribute to the management of regional environment.

\* Corresponding author e-mail address: [tabatabaie20@yahoo.com](mailto:tabatabaie20@yahoo.com)