

## تغییرات مکانی و زمانی برخی عناصر سنگین در غبارات اتمسفری منطقه لنجان اصفهان

نجمه نمازی<sup>۱</sup> - محمدحسن صالحی<sup>۲\*</sup> - جهانگرد محمدی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۰۵

### چکیده

از راه‌های ورود و تجمع فلزات سنگین در اراضی کشاورزی فرونشست‌های اتمسفری می‌باشد. مطالعه ترکیب شیمیایی غبارات اتمسفری به دلیل تأثیر آن‌ها روی اتمسفر و سلامت انسان، امروزه مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. این مطالعه به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی فلزات سنگین موجود در غبارات اتمسفری منطقه لنجان اصفهان انجام گردیده است. نمونه‌برداری از ۶۰ نقطه با ارتفاع تقریباً یکسان در منطقه با استفاده از تله‌های شیشه‌ای طی چهار فصل سال، انجام و وزن کل غبارات و میزان عناصر سنگین کادمیم، سرب، روی، مس و نیکل در آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد میانگین مقدار فرونشست غبارات به جز فصل بهار با پاییز در تمام فصول، اختلاف بسیار معنی‌داری باهم دارند. میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه در اکثر فصول با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشت. میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیم در تمام فصول و عنصر روی به جز فصل بهار، بالاتر از حد مجاز گزارش شده برای خاک بود. بین غلظت برخی از عناصر، همبستگی بسیار معنی‌داری وجود داشت که می‌تواند نشان‌دهنده منشأ مشترک آن‌ها باشد. تفسیر نقشه‌های کریجینگ نشان داد که آلودگی منطقه به فلزات روی، سرب و کادمیم بیش‌تر تحت کنترل معدن سرب و روی موجود در منطقه می‌باشد. میزان هم‌خوانی، نشان‌دهنده تفاوت زیاد نقشه‌های هر عنصر در فصول مختلف بود که این تفاوت‌ها به عوامل مختلفی از جمله سرعت باد و تغییر جهت آن، میزان و نوع فعالیت معادن و صنایع و میزان رطوبت خاک و هوا ارتباط داشته است و نشان‌دهنده این است که تفسیر داده‌های غبار بر اساس یک فصل می‌تواند گمراه‌کننده باشد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، فصل، غبارات اتمسفری

### مقدمه

دلیل توانایی بالقوه در آسیب‌رسانی به سلامت انسان‌ها و حیوانات در چند دهه اخیر از نظر مسائل زیست‌محیطی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و سعی شده که از ورود آن‌ها به چرخه محیط زیست تا حد امکان جلوگیری شود (۱۳ و ۲۱).

غبارات هم به‌طور مستقیم و هم غیر مستقیم بر اقلیم، شیمی اتمسفر، قابلیت دید، سلامتی و اکوسیستم‌هایی مانند اقیانوس‌ها و گیاهان از طریق ته‌نشست آن‌ها در چرخه‌های بیوشیمیایی تأثیر می‌گذارند (۵). عناصر موجود در اتمسفر در نهایت به صورت ته‌نشست اتمسفری روی سطح خاک و گیاهان قرار می‌گیرند، که این پدیده در مقیاس جهانی مهم‌ترین راه ورود فلزات سنگین به خاک است (۱۷). نرخ فرونشست گرد و غبار اساساً به سرعت تأمین گرد و غبار از منبع، بارندگی، اغتشاشات جوی و شرایط اقلیمی در منطقه منبع و مقصد بستگی دارد (۱۶).

ترانگ (۲۷) مطالعه‌ای به‌منظور بررسی سطوح و منابع آلودگی فلزات سنگین موجود در غبار جاده‌ای مناطق پرتراфик در یک شهر صنعتی در کره انجام داد. در این مطالعه غلظت کل کادمیم، مس، سرب، روی و نیکل اندازه‌گیری شد. نتایج مطالعه نشان داد که سطوح

انسان به دلیل سودجویی بی‌انتهای خود با اتکا به تکنولوژی پیشرفته به ناپودی و تخریب طبیعت اطراف خود اقدام نموده است. آلاینده‌های کشاورزی و صنعتی از عوامل مختل‌کننده محیط‌زیست هستند که از میان آن‌ها فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی آن‌ها بر موجودات زنده و انسان در غلظت‌های کم نیز مهم هستند. از جمله این عناصر می‌توان به سرب، روی، مس، نیکل و کادمیم اشاره کرد که به وسیله فعالیت‌های صنعتی به خاک اضافه می‌شوند (۱۵). از منابع اصلی تولید فلزات سنگین در شهرها معادن، صنایع کوچک و بزرگ و وسایل حمل و نقل می‌باشند که با تولید آلاینده‌ها و وارد کردن آن‌ها به هوا، اولین حلقه آلودگی را ایجاد می‌نمایند. این مواد از طریق فرونشست جوی وارد خاک‌ها شده و در آن‌ها تجمع می‌یابند. عناصر سنگینی چون سرب، روی و کادمیم به

۱، ۲ و ۳- به ترتیب، دانش آموخته کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(Email: mehsalehi@yahoo.com)

\*- نویسنده مسئول:

تا ۵۰، ۵ تا ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود.

منطقه لنجان واقع در جنوب غربی اصفهان، از مناطق حاصلخیز استان اصفهان است که کشاورزی یکی از فعالیت‌های اصلی ساکنین این منطقه می‌باشد. صنایع عظیمی چون کارخانه ذوب آهن، مجتمع فولاد مبارکه، کارخانه سیمان سپاهان و کارخانه سیمان اصفهان در این منطقه احداث شده است و معدن سرب و روی باما نیز در نزدیکی این منطقه قرار دارد. از آنجا که آلودگی هوا و اتمسفر با تغییرات زمانی و مکانی همراه است بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی آلودگی‌ها (نقشه پیوسته غبارات اتمسفری در فصول مختلف سال) برای شناسایی منشأ آن‌ها و ارائه راه کارهای مناسب، ضروری به نظر می‌رسد (۶ و ۷). این مطالعه با هدف بررسی الگوی مکانی آلودگی گرد و غبار این منطقه به فلزات کادمیم، سرب، روی، مس و نیکل و تغییرات زمانی آن‌ها طی چهار فصل سال انجام پذیرفته است.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حدفاصل عرض‌های جغرافیایی  $37^{\circ}44'$  تا  $32^{\circ}$  تا  $22^{\circ}21'$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $51^{\circ}$  تا  $12^{\circ}23'$  شرقی قرار دارد. نمونه برداری از غبارات اتمسفری، در چهار فصل پاییز، زمستان، بهار و تابستان از ۶۰ نقطه با مختصات تعیین شده توسط GPS و ارتفاع سه تا شش متری از سطح زمین در منطقه مورد مطالعه انجام شد (شکل ۱).

جهت نمونه‌گیری از غبارات اتمسفری، از تله‌ی شیشه‌ای با ابعاد یک متر در یک متر و قطر شش میلی‌متر که بر روی آن‌ها مش پلاستیکی با منافذ  $2 \times 2$  سانتی‌متر برای به دام انداختن گرد و غبار نصب شده بود استفاده شد. نمونه‌گیری به صورت تصادفی از مناطق مسکونی و دارای فعالیت کشاورزی انجام شد. به دلایل مشکلات اداری، متأسفانه از محدوده داخل کارخانه ذوب آهن، نمونه‌گیری میسر نشد. همچنین با توجه به هدف مطالعه و اهمیت آلودگی در مناطق مسکونی و کشاورزی و نیز محدودیت بودجه برای نصب تله‌ها و از طرف دیگر امنیت نصب آن‌ها به مدت یکسال، از کوه واقع در شمال غربی ذوب آهن نیز نمونه‌برداری انجام نگرفت. نمونه‌ها در انتهای هر فصل جمع‌آوری شدند و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. با تعیین وزن غبارات در سطح و بازه زمانی مشخص، نرخ فرونشست از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

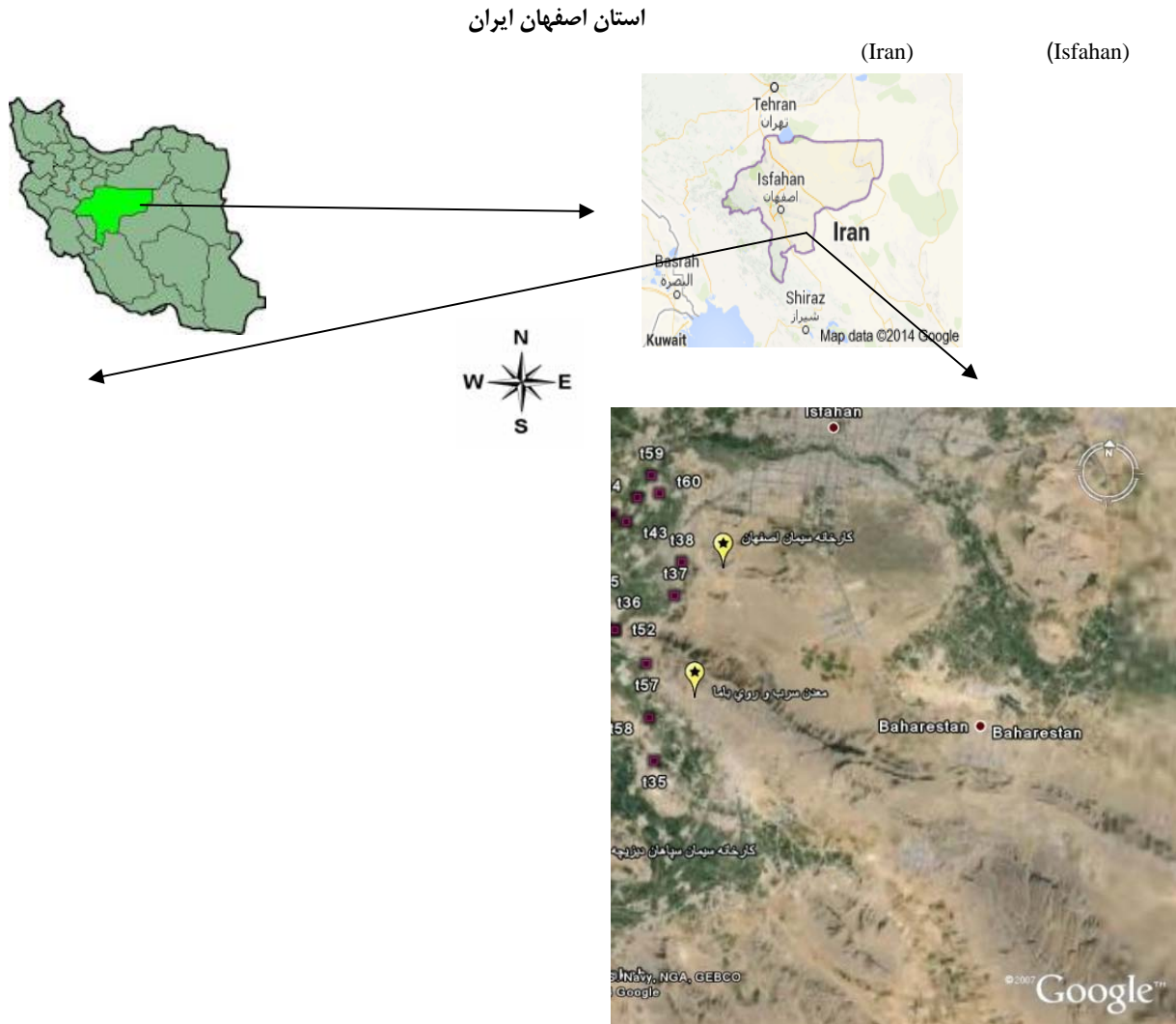
$$\text{نرخ فرونشست غبارات اتمسفری (گرم بر مترمربع در روز)} \\ = \frac{\text{جرم گرد و غبار (گرم)}}{\text{طول دوره نمونه برداری (روز)} \times \text{مساحت تله (مترمربع)}}$$

آلودگی فلزات سنگین در غبارات جاده‌ای بسته به مقدار ترافیک و ته‌نشست‌های اتمسفری، حاصل از محورهای ترافیکی بالا بوده است. خروجی‌های صنعتی و ترمز فراوان خودروها و سپس حرکت وسایل نقلیه تا ایستادن کامل آن‌ها به عنوان عوامل اضافی مؤثر بر سطوح آلودگی در مناطق شهری هستند. بزرگراه‌های بتونی دارای بیشترین سطح آلودگی فلزات سنگین نسبت به بزرگراه‌های آسفالتی بودند.

بقای و همکاران (۲) تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل جذب در خاک‌های اطراف دو کارخانه مجتمع فولاد مبارکه و ذوب آهن اصفهان را مطالعه کردند. نتایج نشان داد غلظت سرب در نزدیکی ذوب آهن و نیکل در نزدیکی هر دو کارخانه بیشتر از سایر نقاط است. دنکوب (۴) پراکنش مکانی برخی از فلزات سنگین در خاک‌های شهر اصفهان و مناطق اطراف آن را بررسی کرد. وی بیان کرد که بیشترین غلظت فلزات سرب، مس و روی در کاربری‌های شهری و صنعتی وجود دارد.

صالحی و همکاران (۲۱) مطالعه‌ای با هدف بررسی غلظت کادمیم و سرب در تعدادی از سبزیجات و نمونه‌های خاک در مناطقی از شهرستان لنجان در استان اصفهان، در مرکز ایران انجام دادند. غلظت سرب و کادمیم در بیش‌تر نمونه‌ها از حد استاندارد سوئیس (۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیش‌تر بود. نتایج نشان داد که ۴۸ و ۷۵ درصد از نمونه‌های سبزیجات به ترتیب غلظت بیش از حد مجاز فائو برای عناصر کادمیم و سرب دارند. موحدی‌راد (۱۹) با بررسی تغییرات مکانی روی، سرب، کادمیم و نیکل در بخشی از استان قم گزارش کرد که عامل مؤثر بر روند افزایشی عناصر سرب و روی نوع کاربری است و ماده‌ی مادری و توپوگرافی منطقه مؤثرترین عامل در افزایش غلظت نیکل در منطقه به‌شمار می‌رود.

محمودی و همکاران (۱۵) مطالعه‌ای با تعیین نرخ فرونشست اتمسفری گرد و غبار اتمسفری و غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار تعدادی از شهرستان‌های استان اصفهان، طی پنج ماه انجام دادند. نتایج نشان داد که نرخ فرونشست در مهرماه، حداقل و در آبان و آذرماه حداکثر و در شهریور و مردادماه مابین این دو می‌باشد. شای و همکاران (۲۴) توزیع مکانی برخی از عناصر سنگین را در خاک‌های سطحی شانگهای بررسی کردند. آن‌ها منبع ورود عناصر روی، سرب و مس به محیط را عمدتاً فعالیت‌های انسانی عنوان کردند. لیونگ و همکاران (۱۴) مطالعه‌ای را در جنوب چین انجام دادند. در این مطالعه، گردوغبار موجود بر روی سطوح در محیط‌های مختلف (فروشگاه‌های مواد غذایی، محوطه مدارس، کنار جاده‌ها) جمع‌آوری و فلزات سنگین آن اندازه‌گیری شد. غلظت سرب و روی در غبار کنار جاده به ترتیب  $22600$  و  $2370$  میلی‌گرم بر کیلوگرم و در محوطه مدارس غلظت سرب، روی، کروم و کادمیم به ترتیب  $800$  تا  $1000$ ،  $700$  تا  $800$ ،  $30$



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان اصفهان همراه با موقعیت نقاط نمونه برداری در منطقه لنجانات  
Figure 1 - Location of study area in country and Isfahan with location of sampling points in Lenjanat region

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{N}$$

که در این رابطه، A میزان همخوانی، N تعداد کل مشاهدات،  $X_{ii}$  عناصر قطر اصلی ماتریس خطا و  $X_{ij}$  عنصر ستون زام و ردیف ام می باشد (۱۱).

### نتایج و بحث

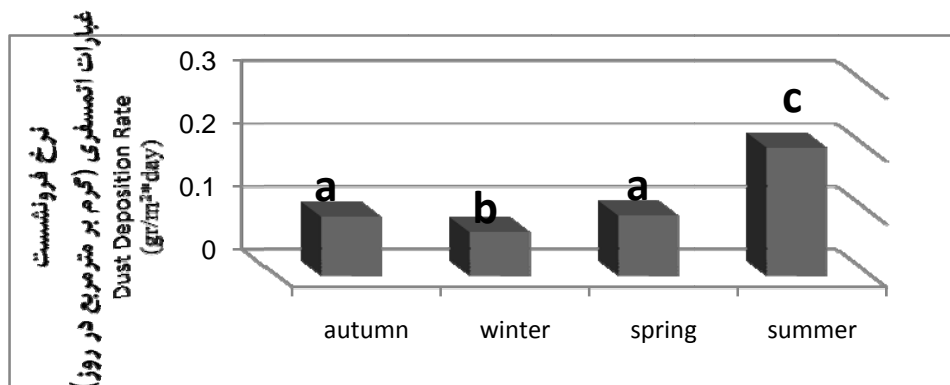
نتایج به دست آمده از محاسبه نرخ فرونشست غبارات اتمسفری (شکل ۲ و جدول ۱) نشان می دهد که در فصل تابستان نرخ فرونشست غبارات اتمسفری بسیار بیش تر از سایر فصول سال می باشد، بالا بودن سرعت باد و خشک تر بودن خاک در فصل تابستان نسبت به سایر فصول باعث شده مقدار غبارات بیش تری توسط باد

برای عصاره گیری عناصر سنگین (نیکل، روی، سرب، کادمیم و مس) از اسید نیتریک غلیظ استفاده شد و غلظت کل عناصر در عصاره با استفاده از دستگاه جذباتمی تعیین شد (۱۰). توصیف آماری داده ها با استفاده از نرم افزار Statistica، 6.0 صورت گرفت. تجزیه و تحلیل ساختار مکانی داده ها از طریق محاسبه تغییرنما و با استفاده از بسته نرم افزاری 2.2 Variowin انجام شد. برای میان یابی از کریجینگ معمولی بلوکی استفاده شد و به منظور بررسی دقت تخمین، شاخص های RMSE و ME محاسبه شد. بعد از تعیین و برازش بهترین مدل، نقشه های پیوسته غلظت کل عناصر سنگین توسط نرم افزار 8 Surfer تهیه شد. سپس، با استفاده از رابطه زیر، میزان همخوانی آن ها به صورت کمی نیز بررسی گردید. فرمول کاربردی این پارامتر عبارت است از:

باد و تغییر جهت آن، میزان و نوع فعالیت معادن و صنایع و نیز میزان رطوبت خاک و هوا در فصول مختلف را نام برد. اسچملینگ (۲۲) بیان کرد درجه حرارت، سرعت باد و بویژه الگوی جهت باد مناسب‌ترین پارامترها برای تفسیر نتایج مطالعه تغییرات فصلی غلظت عناصر در غبارات اتمسفری به حساب می‌آیند. نتایج به‌دست آمده از مطالعه این تغییرات نشان داد که فصل تابستان دارای کم‌ترین غلظت عناصر نسبت به سه دوره دیگر می‌باشد و جهت باد شرقی به عنوان یکی از دلایل آن بیان شد. همچنین بالاترین غلظت عناصر سنگین خاک در فصل پاییز و بهار که بیش‌ترین جهت باد به سمت غرب است و باد بیش‌ترین سرعت را نسبت به زمستان و تابستان دارد مشاهده شده است.

حمل شده باشد. میانگین فرونشست غبارات به جز فصل بهار با پاییز در سایر فصول اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد باهم دارند. حجتی و همکاران (۱۱) نیز در مطالعه تغییرات گرد و غبار در یک ترانسکت اقلیمی- ارتفاعی از جندق تا کوه‌رنگ نتیجه گرفتند با مرطوب شدن اقلیم و افزایش ارتفاع، نرخ فرونشست گرد و غبار کاهش معنی‌داری نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهند اختلاف بسیار معنی‌داری بین میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه در اکثر حالات وجود دارد. با توجه به این نتایج می‌توان گفت میزان آلودگی عناصر در فصول مختلف در منطقه متفاوت می‌باشد و عوامل متفاوتی بر غلظت فلزات در فصول مختلف تأثیر داشته‌اند و منابع منتشر کننده فلزات و شدت تأثیر آن‌ها در طول سال، متفاوت بوده است. از جمله عوامل مؤثر می‌توان میزان فعالیت



شکل ۲- نمودار نرخ فرونشست غبارات اتمسفری در فصول سال (حروف متفاوت، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد هستند).

Figure 2- Graph subsidence rate of atmospheric dust in seasons (Different letters indicate significant differences at the 99% level)

جدول ۱- نرخ فرونشست غبارات اتمسفری (گرم بر مترمربع در روز) در فصول سال

تابستان (Summer)	بهار (Spring)	زمستان (Winter)	پاییز (Autumn)	فصول سال (seasons)
0.204	0.095	0.068	0.093	نرخ فرونشست غبارات اتمسفری (rate of atmospheric dust)

نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در فصول مختلف سال در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- میانگین غلظت عناصر ( میلی گرم بر کیلوگرم) در چهار فصل

Table 2- Average element concentrations (mg/kg) at four seasons

Ni	Cu	Cd	Pb	Zn	
37.49a	33.12a	3.28a	256.83ac	785.45b	پاییز (Autumn)
26.09b	33.61a	2.74a	160.85a	573.79a	زمستان (Winter)
24.16b	14.43b	1.35b	133.81b	279.31c	بهار (Spring)
48.26c	22.32c	6.13c	524.31c	596.95a	تابستان (Summer)

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت میانگین معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد برای هر عنصر می‌باشد.

Different letters indicate significant differences at the 99% level

استاندارد خاک است. مقایسه بین میانگین غلظت عناصر در این مطالعه با میانگین غلظت عناصر در مطالعه محمودی (۱۵) بر روی فلزات سنگین موجود در غبارات اتمسفری در منطقه اصفهان (روی ۴۷۰/۳، سرب ۲۲۳/۵، کادمیم ۳/۵، مس ۷۰/۹، نیکل ۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم) نشان می‌دهد مقدار این عناصر در برخی فصول بیشتر و در برخی از فصول کمتر از اصفهان بوده که حاکی از آلودگی بالای منطقه لنجانان به دلیل وجود صنایع مختلف در این منطقه، نسبت به مناطق دیگر استان اصفهان می‌باشد. بر اساس مطالعات محققین قبلی در منطقه لنجانان، جورکش (۱۳) مقدار میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیم، مس و نیکل در خاک این منطقه را به ترتیب برابر با ۱، ۲۲، ۱۰ و ۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مهاجر (۱۷) مقادیر روی، سرب و کادمیم در خاک رابه ترتیب، برابر با ۳۶، ۱۷ و ۱ گزارش کرده است این نتایج نشان می‌دهند میزان فلزات روی، سرب، کادمیم، نیکل و سرب در خاک این منطقه بسیار کمتر از غبار است. این مسئله نشان می‌دهد فلزات سنگین موجود در غبار این منطقه ممکن است از منابع دیگری نیز ناشی می‌شوند یا عناصر سنگین در ذرات ریز خاک بیش‌تر تجمع یافته باشند.

مقایسه میانگین غلظت هر عنصر در مطالعه حاضر با مقادیر استاندارد خاک کشور سوئیس (روی ۲۰۰، کادمیم ۰/۸ و سرب، مس و نیکل ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۳)، به خوبی نشان می‌دهد که عنصر سرب و کادمیم در تمام فصول و عنصر روی به جز فصل بهار، غلظتی بالاتر از حد مجاز داشته‌اند در حالی که سایر عناصر در تمام فصول، غلظتی کمتر از حد مجاز نشان داده‌اند. بدون در نظر گرفتن فصول مختلف، میانگین کل غلظت روی، سرب و کادمیم موجود در غبار نسبت به استاندارد خاک کشور سوئیس، در حدود ۲/۵ تا ۵ برابر بالاتر بوده است و میانگین کل غلظت سایر عناصر کمتر از حد استاندارد می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به عدم وجود استاندارد عناصر سنگین در غبار، تفسیر نتایج بر اساس استاندارد فلزات سنگین در خاک انجام شده است. در هر حال، با توجه به اینکه بخشی از غبار در اثر فرایند افزایش به خاک (addition) وارد خاک می‌شود تفسیر نتایج و مقایسه با استاندارد خاک، منطقی و قابل قبول خواهد بود. مطالعات سایر محققین (۲، ۹ و ۱۲) نیز نشان دهنده آلودگی خاک، گیاهان و دام این منطقه به عناصر سرب، روی و کادمیم بیش از سایر عناصر بوده که دلیل دیگری بر منطقی بودن تفسیر و مقایسه نتایج غبار با

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در فصول مختلف

Table 3- Correlation coefficient among heavy metals in different seasons

Ni	Cu	Cd	Pb	Zn	متغیر (Variable)	فصل (Seasons)
				1.00	Zn	
			1.00	0.86**	Pb	
		1.00	0.83**	0.87**	Cd	پاییز (Autumn)
	1.00	0.21	0.24	0.33**	Cu	
	0.44**	0.38**	0.41**	0.44**	Ni	
				1.00	Zn	
			1.00	0.96**	Pb	
		1.00	0.87**	0.92**	Cd	زمستان (Winter)
	1.00	0.42**	0.41**	0.45**	Cu	
1.00	0.26**	0.15	0.23	0.22	Ni	
				1.00	Zn	
			1.00	0.66**	Pb	
		1.00	0.81**	0.66**	Cd	بهار (Spring)
	1.00	0.22	0.34**	0.33*	Cu	
1.00	0.08	0.02	0.09	0.05	Ni	
				1.00	Zn	
			1.00	0.79**	Pb	
		1.00	0.69**	0.81**	Cd	تابستان (Summer)
	1.00	0.17	0.24	0.35**	Cu	
1.00	0.32**	0.39**	0.31*	0.41**	Ni	

\*, \*\*, \* به ترتیب در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪ معنی‌دار هستند.

\*, \*\* significant at 95 % and 99 % level, respectively.

نمونه‌های گرد و غبار با غلظت آن‌ها در نمونه‌های خاک و همین‌طور غلظت آن‌ها در نمونه‌های برگ، رابطه مستقیمی وجود دارد. نتایج همبستگی بین غلظت عناصر سنگین در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

بخشی از عناصر موجود در غبار می‌تواند ناشی از فرسایش خاک‌های کشاورزی نیز باشد که در مناطق دورتر می‌تواند رسوب نماید. صرفنظر از منشا، اسشتنشاق غبارات توسط انسان و دام و نیز جذب مستقیم آن‌ها توسط گیاه می‌تواند سلامت انسان‌ها را به خطر اندازد. زاسوندی (۲۹) بیان داشت که بین غلظت فلزات سنگین در

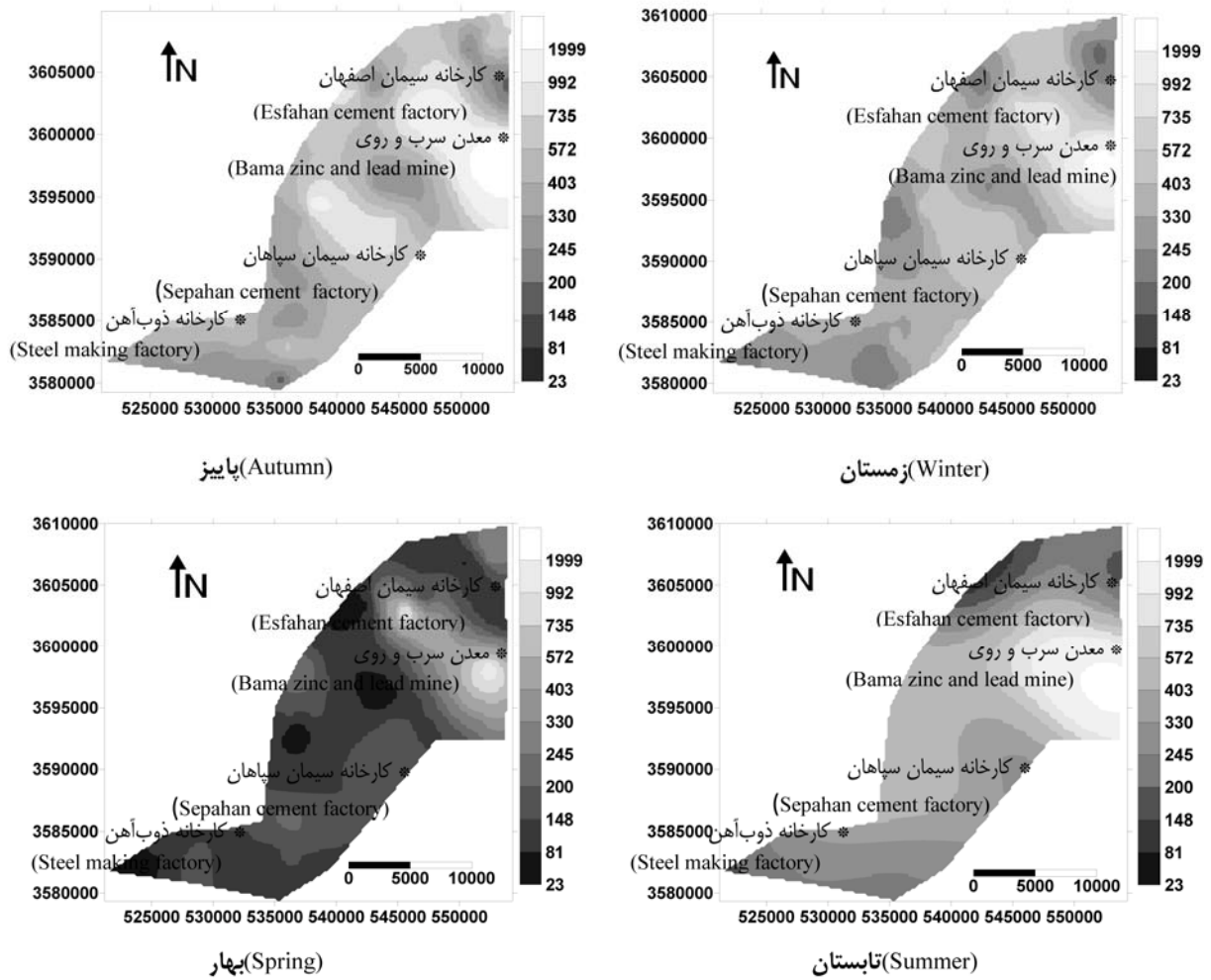
جدول ۴- شاخص‌های دقت تخمین فلزات سنگین در فصول مختلف  
Table 4- Accuracy indices of heavy metals in different seasons

Ni	Cu	Cd	Pb	Zn	متغیر (Variable)	فصل (Seasons)
0.254	0.672	0.466	0.716	0.679	RMSE	پاییز
-0.032	-0.001	0.036	0.008	0.067	ME	(Autumn)
0.001	0.720	0.443	0.672	0.548	RMSE	زمستان
0.333	0.013	-0.005	-0.037	-0.003	ME	(Winter)
0.014	0.437	0.319	0.623	0.959	RMSE	بهار
0.352	0.003	0.010	0.004	-0.064	ME	(Spring)
0.004	0.507	-0.005	1.351	0.663	RMSE	تابستان
0.143	-0.003	0.334	-0.006	-0.001	ME	(Summer)

جدول ۵- پارامترهای تغییرنمای همه‌جهته غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و فاکتورهای تجمعی آن در فصول سال  
Table 5-Omnidirectional variogram parameters for all heavy metal concentrations (mg/kg) and accumulation factors in the seasons

کلاس وابستگی مکانی (Spatial dependence class)	درصد وابستگی مکانی (%Spatial dependence)	دامنه (متر) Rang(m)	حد آستانه Sill	اثر قطعه‌ای Nugget	مدل (Model)	متغیر (Variable)
قوی (Strong)	8.33	7303	0.66	0.06	کروی (spherical)	lnZnau
قوی (Strong)	9.41	8047	0.56	0.06	کروی (spherical)	lnZnwi
قوی (Strong)	13.12	7491	1.00	0.15	کروی (spherical)	lnZnsp
قوی (Strong)	13.18	7246	0.90	0.14	گوسی (Gaussian)	lnZnsu
قوی (Strong)	15.30	7700	0.98	0.18	کروی (spherical)	lnPbau
قوی (Strong)	13.95	7913	0.62	0.10	کروی (spherical)	lnPbwi
قوی (Strong)	7.96	5843	0.83	0.07	گوسی (Gaussian)	lnPbsp
قوی (Strong)	14.18	7422	2.41	0.40	گوسی (Gaussian)	lnPbsu
قوی (Strong)	9.02	7913	0.78	0.08	گوسی (Gaussian)	lnCdau
قوی (Strong)	13.96	5628	0.37	0.03	گوسی (Gaussian)	lnCdwi
قوی (Strong)	15.20	7403	0.32	0.06	گوسی (Gaussian)	lnCdsp
قوی (Strong)	3.70	7197	0.62	0.02	گوسی (Gaussian)	lnCdsu
قوی (Strong)	6.80	4238	0.58	0.04	گوسی (Gaussian)	lnCuau
قوی (Strong)	24.37	5237	0.19	0.60	کروی (spherical)	lnCuwi
قوی (Strong)	12.40	4258	0.21	0.03	گوسی (Gaussian)	lnCusp
قوی (Strong)	8.40	5200	0.33	0.03	کروی (spherical)	lnCusu
متوسط (Medium)	27.86	8520	0.06	0.02	کروی (spherical)	Niau
متوسط (Medium)	26.32	5471	0.18	0.07	کروی (spherical)	Niwi
متوسط (Medium)	25.43	4824	0.10	0.03	گوسی (Gaussian)	Nisp
متوسط (Medium)	31.65	10082	0.02	0.01	کروی (spherical)	Nisu

au: پاییز wi: زمستان sp: بهار و su: تابستان  
au: Autumn wi: Winter sp: Spring su: Summer



شکل ۳- تغییرات مکانی عنصر روی در فصول سال

Figure 3- Spatial variability of zinc in seasons

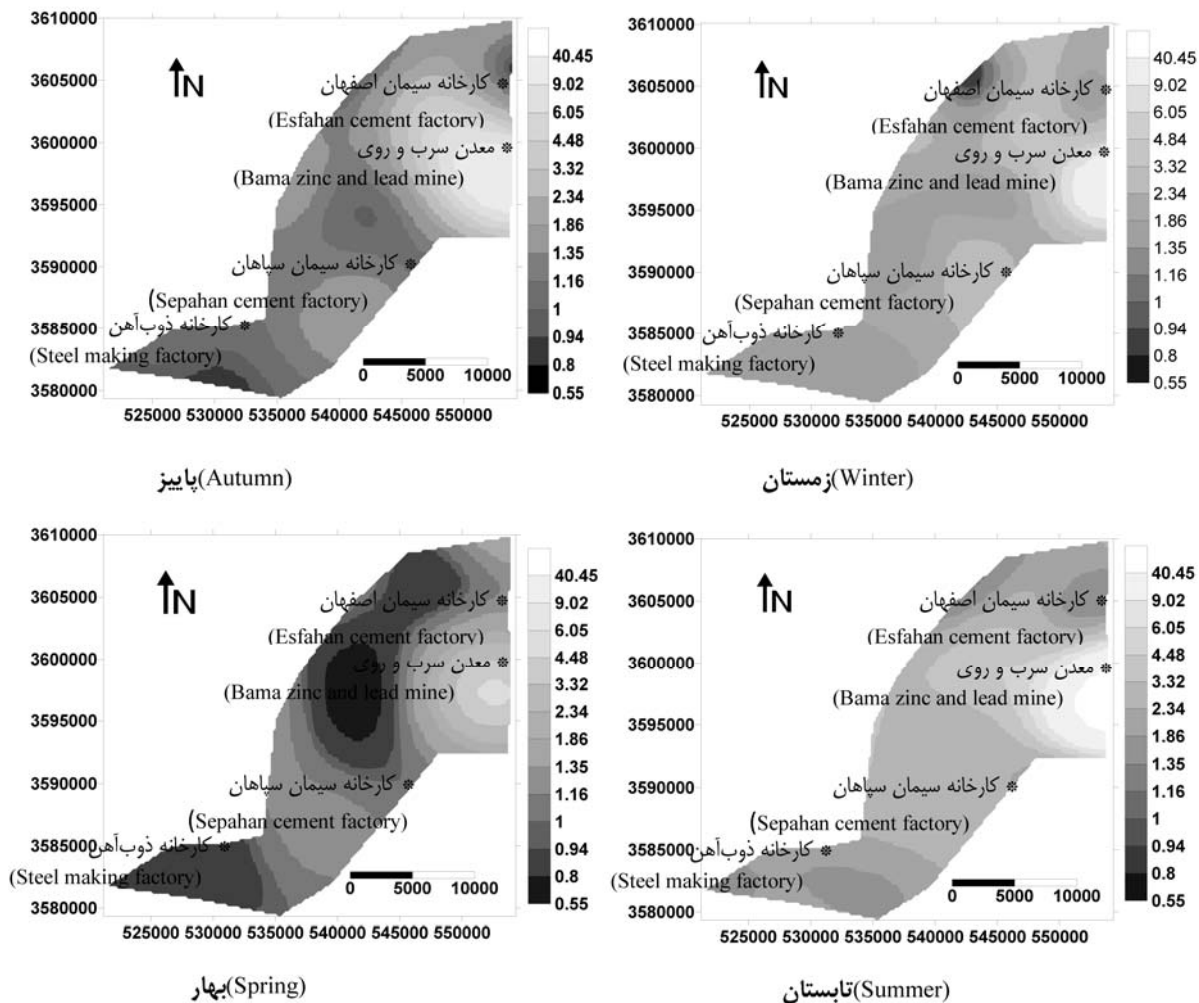
واریوگرام رویه‌ای<sup>۱</sup> برای همه عناصر، هیچ‌گونه ناهمسانگردی<sup>۲</sup> نشان نداد. بنابراین، با توجه به همسان‌گردی متغیرها، تغییرنمای همه‌جهته<sup>۳</sup> برای آن‌ها تهیه شد. مقادیر میانگین خطای تخمین (ME) نزدیک به صفر بوده و بیان‌گر ناریب بودن تخمین‌ها در روش کربجینگ می‌باشد. پایین بودن مقادیر ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) نیز بیانگر دقت قابل قبول تخمین می‌باشد (جدول ۴).

پارامترهای تغییرنمای ویژگی‌های مورد مطالعه در جدول‌های ۵ تا ۹ نشان داده شده است. مدل برازش داده شده در فصول مختلف برای عناصر متفاوت کروی و گوسی است. کلاس وابستگی مکانی در تمام فصول برای عناصر روی، سرب، کادمیم و مس قوی و برای عنصر نیکل متوسط می‌باشد که نشان می‌دهد مقادیر عناصر در تمام فصول وابسته به مکانی است که در آن قرار دارد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود همبستگی بین غلظت عناصر سنگین در فصول مختلف نیز متفاوت است. در فصل پاییز بین عنصر روی و نیکل با تمام عناصر و کادمیم با سرب، در فصل زمستان بین عنصر روی، سرب، کادمیم و مس و مس با نیکل، در فصل بهار سرب، کادمیم و روی باهم و مس با روی و سرب، در فصل تابستان بین نیکل و روی با همه و سرب و کادمیم باهم همبستگی معنی‌داری وجود دارد. همبستگی بین روی و نیکل با تمام عناصر و کادمیم با سرب، در فصل پاییز و تابستان مشابه است که نشان دهنده ارتباط این عناصر در این دو فصل می‌باشد. همچنین، همبستگی بین روی، سرب و کادمیم در فصل بهار و زمستان مشابه است. وجود همبستگی معنی‌دار بین عناصر می‌تواند نشان‌دهنده منشأ مشترک آن‌ها باشد. احتمالاً این عناصر تحت کنترل فعالیت‌های انسانی به ویژه معدن سرب و روی باما و کارخانه سیمان هستند.

- 1 - Surface Variogram
- 2- Anisotropy
- 3- Omnidirectional



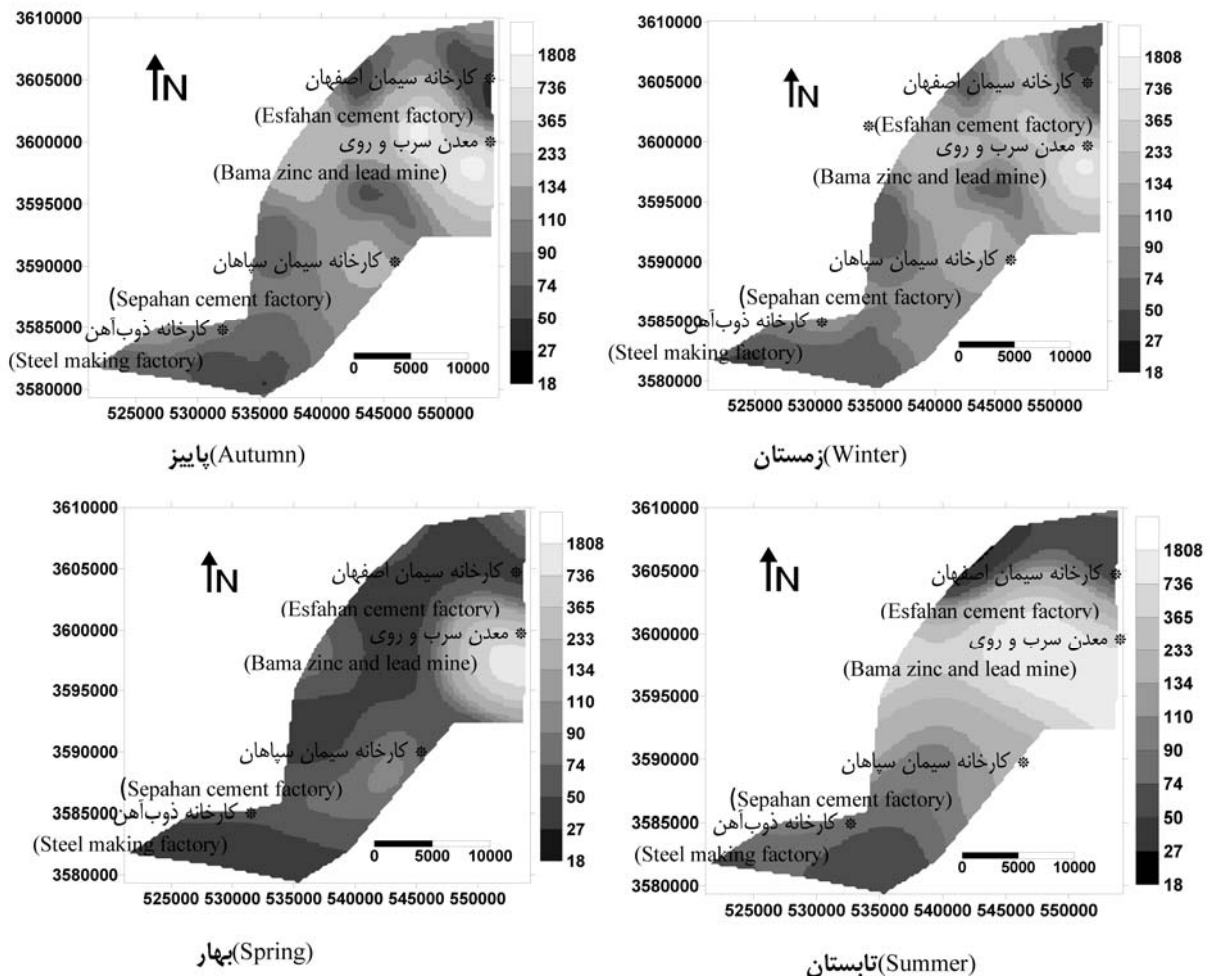


شکل ۴- تغییرات مکانی عنصر سرب در فصول سال  
Figure 4- Spatial variability of Lead in seasons

در رابطه با کادمیم (شکل ۵) نیز در کنار معدن سرب و روی باما حداکثر مقدار کادمیم مشاهده می‌شود و با افزایش فاصله از معدن غلظت کاهش می‌یابد. با توجه به وجود معدن سرب و روی باما و کارخانه سیمان حداکثر آلودگی در چهار فصل در اطراف روستای آبئیل و شهر ابریشم مشاهده می‌شود. البته با تغییر فصل و تغییر مواردی از قبیل میزان فعالیت کارخانجات و جهت باد در نقاط دیگری از منطقه نیز آلودگی بالای این عنصر قابل مشاهده است. به طور کلی، آلودگی به این عنصر در فصل بهار کمتر از سایر فصول است. امینی (۱) گزارش داد که فعالیت‌های صنعتی، شهری و کشاورزی به طور معنی‌داری غلظت کادمیم کل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین بیان کرد که صرف‌نظر از فرونشست جوی، مهم-ترین مسیر ورود کادمیم به زمین‌های کشاورزی کودهای فسفره است.

نقشه‌های پیوسته عنصر سرب (شکل ۴) نیز نشان می‌دهد حداکثر مقدار سرب در کنار معدن سرب و روی باما مشاهده می‌شود و با افزایش فاصله از معدن غلظت کاهش می‌یابد. آلودگی به این عنصر در فصل بهار کمتر از سایر فصول و در فصل تابستان آلودگی در نزدیکی معدن بیش‌تر است. تقی‌پور و همکاران (۲۶) بیان داشتند که مناطق با کاربری شهری دارای غلظت بالای روی و سرب هستند. تجزیه سنگ‌های مادری در مطالعه آن‌ها نشان داد که شیل‌ها بیش‌ترین غلظت روی را در خود جای داده‌اند که می‌تواند عامل افزایش غلظت روی در خاک منطقه باشند. برای دو عنصر روی و سرب با توجه به وجود معدن سرب و روی باما و کارخانه سیمان حداکثر آلودگی در چهار فصل در اطراف روستای آبئیل و شهر ابریشم و در فصل پاییز در اطراف فولادشهر آلودگی زیادی مشاهده می‌شود.





شکل ۵- تغییرات مکانی عنصر کادمیم در فصول سال  
Figure 5- Spatial variability of cadmium in seasons

با داده‌های یک فصل می‌تواند همراه کننده باشد. مطالعه مقدار و غلظت عناصر در جهات مختلف باد و نیز مقدار آن‌ها در ذرات با اندازه‌های مختلف غبار و خاک می‌تواند در تعیین منشأ عناصر مفید واقع شود.

### نتیجه‌گیری کلی

میانگین غلظت و غلظت روی، سرب و کادمیم در غبارات منطقه مورد مطالعه در اکثر نقاط بسیار بالاتر از مقدار استاندارد خاک است و حداکثر مقادیر آن در اطراف معدن سرب و روی باما است. میانگین غلظت فلزات سنگین در فصول مختلف یک سیر نزولی از پاییز به بهار و سپس یک سیر افزایشی از بهار به تابستان داشته‌اند.

بنابراین، می‌توان گفت روند تغییرات هر عنصر در فصول مختلف به دلایل مختلفی، متفاوت است که دلیل آن می‌تواند تفاوت در جهت باد، سرعت باد و یا نوع فعالیت‌های صنعتی باشد. با این حال، مکان‌های با حداقل و حداکثر آلودگی در هر چهار فصل برای هر عنصر تقریباً یکسان است. بنابراین، اگر هدف، بررسی روند آلودگی عناصر باشد نمونه‌برداری در هر فصل امکان‌پذیر است. پایین بودن میزانی همخوانی (جدول ۶) در مطالعه حاضر نشان‌دهنده تفاوت زیاد مقادیر هر عنصر برای چهار فصل می‌باشد. در بین عناصر مورد مطالعه، عنصر سرب و نیکل نسبت به سایر عناصر دارای مقادیر همخوانی بالاتری می‌باشند که می‌توان گفت این عناصر در فصول مختلف شرایط پایدارتری داشته و منشأ آن‌ها ثابت‌تر بوده است. در هر حال، اگر مقادیر مطلق عناصر اهمیت داشته باشد فصل نمونه‌برداری در نتایج به‌دست‌آمده به‌شدت تاثیرگذار است و تفسیر وضعیت آلودگی

جدول ۶ - مقادیر همخوانی نقشه‌ها در فصل‌های مختلف

Table 6-Map concordance in different seasons

مقادیر همخوانی (Quantitate calculations)					مقایسه نقشه‌های فصل‌های مختلف maps Quantitate calculations in different seasons
Ni	Cu	Cd	Pb	Zn	
5.10	29.14	16.25	50.60	24.37	پاییز با زمستان (Autumn with Winter)
0.33	8.95	21.77	9.57	0.40	پاییز با بهار (Autumn with Spring)
1.35	22.78	10.68	29.10	21.05	پاییز با تابستان (Autumn with Summer)
50.11	2.65	23.81	12.44	2.35	زمستان با بهار (Winter with Spring)
0.00	20.81	26.42	24.87	29.33	زمستان با تابستان (Winter with Summer)
0.00	23.13	7.92	9.37	2.49	بهار با تابستان (Spring with Summer)

فصل تابستان آلودگی بیشتری در نزدیکی معدن مشاهده می‌شود که تغییرات جوی و نوع و شدت فعالیت صنایع و منابع آلاینده می‌تواند از دلایل آن باشد. شباهت مکان‌های با حداقل و حداکثر آلودگی در چهار فصل برای هر عنصر بیانگر این است که اگر هدف بررسی روند آلودگی این عناصر باشد نمونه‌برداری در یک فصل کافی است ولی اگر مقادیر مطلق عناصر اهمیت داشته باشد فصل نمونه‌برداری در نتایج بدست آمده از غلظت به شدت تاثیرگذار است و تفسیر وضعیت آلودگی با داده‌های یک فصل، می‌تواند گمراه کننده باشد. اندازه‌گیری مقدار غبار و عناصر سنگین موجود در آن در جهات مختلف باد و نیز ذرات غبار در اندازه‌های (فرکشن) مختلف می‌تواند برای شناسایی منشأ آن‌ها مفید واقع گردد.

مقایسه میانگین نشان داد بین فصول مختلف، اختلاف معنی‌داری بین غلظت بیشتر عناصر وجود دارد. بین سرب، روی و کادمیم در تمام فصول همبستگی معنی‌داری وجود داشت که می‌تواند نشان دهنده مشترک بودن منشأ این عناصر در فصول مختلف باشد. میانگین نرخ فروروشست غبارات اتمسفری در فصل تابستان بیش‌تر از سایر فصول بود که می‌توان به عواملی هم‌چون خشک‌تر بودن خاک و عدم وجود پوشش گیاهی در سطح زمین و انتقال مقادیر بیشتری از ذرات خاک به هوا در این فصل اشاره کرد. نقشه‌های پیوسته روی، سرب و کادمیم نشان می‌دهد که در کنار معدن سرب و روی باما حداکثر مقدار این عناصر مشاهده می‌شود و با افزایش فاصله از معدن، غلظت کاهش می‌یابد. مقایسه نقشه‌های هر فصل نشان می‌دهد که آلودگی به عناصر در فصل بهار کم‌تر از سایر فصول بوده است و در

## منابع

- 1- Amini M. 2004. Modeling the accumulation of heavy metals in agricultural ecosystems and evaluation of uncertainty in the region. Soil Science PHD thesis. Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (in Persian)
- 2- Baghayi A.H., Khademi H.V., and Mohammadi C. 2007. Spatial analysis of lead and nickel absorbent Geostatistics around two poles of Isfahan Technology. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 4: 20-11. (in Persian)
- 3- Boruvka L., Vacak O., and Jeilicka J. 2005. Principle Component Analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soil. Geoderma, 28: 289-300.
- 4- Dankoub Z. 2010. Magnetic susceptibility spatial correlation with the concentrations of some heavy metals in surface soils of the Isfahan. Soil Science MA thesis. Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (in Persian)
- 5- Deboudt K., Flament P., and Bertho B. 2004. Cd, Cu, Pb and Zn Concentrations in Atmospheric Wet Deposition at a Coastal Station in Western Europe. Water Air and Soil Pollution, 151:335-359.
- 6- Dvonch J.T., Morishita M., Hall N.L., Barres J.A., and Keeler G.J. 2012. Assessing the Sources of Atmospheric Mercury Wet Deposited in Florida, USA. 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment, 23-27 Sep. 2012. ICHMET, Rome, Italy.
- 7- FOEFL (Swiss Federal Office of Environment, Forest and Landscape). 1998. Commentary on the ordinance relating to pollutants in soils (VBBo of July 1, 1998).
- 8- Gallavardin S., Lohmann U., and Cziczco. D. 2008. Analysis and differentiation of mineral dust by single particle laser mass spectrometry. International Journal of Mass Spectrometry, 274: 56-63.
- 9- Ghazaban. F. 2002. Environmental Geology, Tehran University Press. Tehran. (in Persian)
- 10- Gupta U.C., and Gupta S.C. 1998. Trace element toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 29: 1491-1522.

- 11- Hojati S., Khademi H., Cano A.F., and Landi A. 2012. Characteristics of dust deposited along a transect between Central Iran and the Zagros Mountains. *Catena*, 88:27-36.
- 12- Jarup L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin* 68: 167-182.
- 13- Jorkesh Sh. 2012. The relationship between magnetic susceptibility and the concentration of heavy metals in contaminated soils and dust atmosphere Lenjanat, Isfahan. Soil Science MA thesis. Faculty of Agriculture, shahrecoeur University.(in Persian).
- 14- Leung Anna O.W., Duzgoren-Aydin Nurdan S., Cheung K.C., and Wong Ming H. 2009. Heavy Metals Concentrations of Surface Dust from e-Waste Recycling and Its Human Health Implications in Southeast China, *Environmental science technology*, 42:2674- 2680.
- 15- Mahmoudi Z. 2011. Geochemical and mineralogical characterization of atmospheric dust. Soil Science MA thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.(in Persian)
- 16- Meza-Figueroa D., De la O-Villanueva M., and De la Parra M.L. 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Atmospheric Environment*, 41: 276-288.
- 17- Mohajer R. 2013. The spatial distribution of heavy metals in the soil map units and their relation to accumulate in the tissues of plants, animals and the prevalence of gastrointestinal cancer in Lenjanat, Isfahan (medical dirt). Soil Science PhD thesis. Faculty of Agriculture, shahrecoeur University.(in Persian)
- 18- Mohammadi J. 2006. *Pedometer (Spatial Statistics)*. Volume II. Pelk Publishing.(in Persian)
- 19- Movahedi Rad Z. 2007. Spatial analysis of zinc, lead, nickel and cadmium in soils of Qom province. Soil Science MA thesis. Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.(in Persian)
- 20- Rossiter D.G. 2000. *Methodology for Soil Resource Inventories*, 2nd. Revised Version, Soil Science Division, International institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC), 132 pp.
- 21- Salehi M.H., Mohajer R., and Mohammadi J. 2012. Accumulation of Cadmium and Lead in Soils and Vegetables of Lenjanat Region in Isfahan Province, Iran, 16th international conference on heavy metals in the environment (ICHMET). E3S Web of Conferences, 23-27 Sept. 2012. Rome, Italy.
- 22- Schmeling M. 2003. Seasonal variations in diurnal concentrations of trace elements in atmospheric aerosols in Chicago. *Analytica Chimica Acta*, 496: 315-323.
- 23- Sahebghadam Lotfi A. 1988. Lead poisoning due to its metabolism, Tarbiat Modarres University Press. Tehran.(in Persian)
- 24- Shi G., Chen Z., Xu S., Zhang J., Wang L., Bi C., and Teng J. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 156: 251-260.
- 25- Ta W., Xiao H., Cou J., Xiao Z., Yang G., Wang T., and Zhang X. 2004. Measurement of dust deposition in Gausu Province China 1986-2000. *Geomorphology*, 57: 41-51.
- 26- Taghipur A.D., Khademi H., and Ayoubi Sh.A. 2010. The spatial concentration of lead and zinc in surface soil and its relationship with the parent material and the use of part of Hamedan province. *Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology)*, 1(24): 144- 132.(in Persian)
- 27- Trang T., Duong T., and Lee B.K. 2011. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*, 92: 554- 562.
- 28- Zimdahi R.L., and Skogerboe R.K. 1997. Behavior of lead in soil. *Environment of Science Technology* 11: 1202-1207.
- 29- Zorasvand A.R., Rastmanesh F., Pourkaseb H., and Azarmi Z. 2012. The effect of dust on the phenomenon of heavy metals in selected species of plants and soil in Ahwaz. *Journal of Modern Applied Geology*, 2(1): 101-112.(in Persian)

## Spatial and Temporal Variability of Some of Heavy Metals in Aerosols of Lenjanat Region, Esfahan

N. Namazi<sup>1</sup>-M.H. Salehi<sup>2\*</sup>-JMohammadi<sup>3</sup>

Received: 14-09-2013

Accepted: 27-10-2014

**Introduction:** Heavy metals released from stationary and mobile origins can be transported in water, air and soil and can be even absorbed by plants, animals and human bodies. Trace elements are currently of great environmental concern. Nowadays, one of the most important environmental problems is pollution of agricultural soils occurs by heavy metals due to human activities. Atmospheric subsidence is one of the main sources of these elements which can result from industrial activities, fertilizers, sewage sludge, compost and pesticides. Heavy metals mapping of the atmosphere dusts indicates the status of pollution and its intensity in industrial regions. This information can also be used as a guideline for better management and pollution control. This study was performed to investigate the spatial and temporal availability of heavy metals in atmospheric dusts of Lenjanat region, Esfahan where agricultural land is extensively surrounded by industrial activities like steel making factory (Esfahan), cement making factory (Sepahan and Esfahan) and Bamalead mine.

**Materials and Methods:** Sampling was done from 60 points with the same altitude (three to six meters from the ground) and their location was recorded by GPS. Glass traps (1×1 m<sup>2</sup>) covered by plastic mesh (2 × 2 cmvents) were used to trap the dusts for four seasons of the year. Collected dust samples were passed through a 200 mm mesh screen size and the total weight of the dusts and the heavy metals content of Cd, Zn, Cu, Ni and Pb were determined (with HNO<sub>3</sub> 60%). Data analysis was performed using Statistical 6.0 software. Analysis of spatial data via variogram was calculated and performed using Variowin, 2.2 software packages. After determination of the best fitting model, kriged maps of the total concentration of heavy metals were prepared by Surfer 8 software.

**Results and Discussion:** The average concentrations of Zn, Pb and Cd in dust in most parts of the study area were much higher than the soil standard values and the maximum value was around the Zn and Pb mines. However, the concentrations of Cu and Ni were higher than the standard values only in some parts of the area. Comparison of the averages for different seasons showed that in most cases there were significant differences between the concentrations of the various elements. A significant correlation was observed among Pb, Zn and Cd concentrations in all seasons indicating similar origin of these elements. The average dust deposition rate in the summer was more than the other seasons. Moreover, in all seasons except the spring and fall, there was a significant difference between the average dust deposition rates. Kriged maps of Zn, Cd, and Pb showed that the maximum concentrations of these elements occurred near the Pb and Zn Bama mine and the concentrations of these elements decreased with increasing the distance from the mine. The contamination was lower in the spring and higher in the summer. Based on the kriged maps, sampling from one season only can be used to assess the trend of element contamination but if the objective focuses on absolute heavy metals values, season strongly influences the results and interpretation from one season can be misleading. The determination of the amounts of dust and their heavy metal contents in different wind directions is recommended to identify the source of dusts and heavy metals.

**Conclusion:** Results showed a significant difference among the mean values of dusts for the different seasons except for the spring and fall. The mean values of Pb and Cd in all seasons and Zn except for the spring were higher than the threshold values reported for the soils. A significant correlation was observed among the concentrations of some elements which may suggest their same origin. Interpretation of kriged maps showed that zinc and lead Bamamine in the region could be the main source of the contamination of Zn, Pb and Cd. According to quantitative calculations, a low accordance was observed for the pattern and the values of each element in different seasons. This can be related to the wind velocity and its direction, intensity of industrial and mining activities and also the amount of humidity of soil and air during the year. Interpretation of atmospheric data based on one season may be considerably misleading.

**Keywords:** Atmospheric dusts, Heavy metals, Season

1, 2,3- MSc Graduate, Professor and Associate Professor of Soil Science Department, College of Agriculture, Shahrekord University, Respectively

(\* - Corresponding Author Email: mehsalehi@yahoo.com)