

## توزیع مکانی کادمیوم و سرب کل در خاک‌های سطحی جنوب غرب اصفهان

اردشیر خسروی دهکردی<sup>۱\*</sup>، مجید افیونی<sup>۲</sup> و علیرضا سفیانیان<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۴)

### چکیده

آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل کننده محیط زیست به‌شمار رفته و از میان آنها فلزات سنگین به‌دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی بر موجودات زنده در غلظت‌های کم، اهمیت بیشتری دارد. هدف این تحقیق بررسی اثر کاربری صنعتی بر غلظت کادمیم و سرب در خاک‌های سطحی منطقه جنوب غرب اصفهان بود. پس از بررسی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نمونه‌برداری خاک از عمق صفر - ۲۰ سانتی‌متر به‌صورت تصادفی انجام شد. تعداد ۳۸ خاک سطحی منطقه صنعتی با حداقل فاصله ۱۴۸۰ متر در سطح ۷۳۴۸۱ هکتار نمونه‌برداری شد. غلظت کادمیم و سرب در نمونه‌های خاک پس از هضم تر (اسید نیتریک و اسید کلریدریک) به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. ساختار مکانی متغیرها و اعتبار واریوگرام مربوط به سرب و کادمیم حاصل از تجزیه نمونه‌های خاک منطقه بررسی شد و در نهایت توزیع مکانی سرب و کادمیم در محیط ArcGIS تهیه شد. نتایج اولیه نشان داد در خاک سطحی منطقه صنعتی میانگین غلظت کادمیم و سرب به ترتیب ۱/۸ و ۳۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از میانگین غلظت جهانی بالاتر بود. ولی مقادیر میانگین هر دو فلز از مقدار غلظت استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران کمتر بود.

واژه‌های کلیدی: کریجینگ ناپیوسته، کادمیم، سرب، توزیع مکانی، آلودگی خاک، منطقه صنعتی

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ardeshir.khosravi@of.iut.ac.ir

## مقدمه

توسعه پایدار صنعتی از مسائل اصلی مورد بحث جوامع کنونی می باشد که به فراخور بهره مندی و دسترسی به اطلاعات و امکانات، توجه به آن متفاوت می باشد در دستور کار ۲۱ سازمان ملل متحد بر توسعه ای همه جانبه و پیشرو تأکید شده است، اما در عین حال متذکر می شود که تنها توسعه ای که با توجه به سلامت محیط و حمایت و حفاظت از شرایط زیست آن باشد توسعه ای پایدار خواهد بود (۴، ۵، ۶).

به طور کلی صرف نظر از نحوه ورود و انتقال فلزات سنگین به چرخه های طبیعی، این آلودگی ها معمولاً از فعالیت های انسانی که عمدتاً صنایع شیمیایی، ذوب فلز و فعالیت های معدن کاری ناشی می شوند (۳، ۷، ۲۸، ۲۹). خاک قسمت اصلی اکوسیستم خشکی است و زیستگاه تعداد زیادی از ارگانیسم هاست. شاید تاکنون این جزء از محیط زیست در معرض بیشترین تهدیدها قرار گرفته است. خاک ساختار بسیار پیچیده ای است که خصوصیات مختلف آن از مکانی به مکان دیگر تغییر می کند. مهم ترین آلاینده های خاک های مناطق صنعتی شامل، فرونشست جوی و انباشت فلزات سنگین و ترکیبات آلی می باشند. ورود آلاینده به خاک باعث کاهش کیفیت و در نتیجه کاهش کارکرد مطلوب آن می شود (۸، ۹، ۱۳ و ۱۴).

عدم کنترل توسعه صنعتی، کشاورزی و شهری در ورود فلزات سنگین به محیط زیست در بسیاری از مناطق دنیا مشاهده شده است. بسیاری از فعالیت های علمی بر روی شناسایی منابع، اشکال و سطوح آلودگی فلزات سنگین در خاک متمرکز شده است (۱۲، ۳۰). کاربرد فلزات سنگین در صنعت و مهم تر از همه نقش بسیاری از این عناصر در آلودگی محیط زیست، از جمله عواملی است که نقش آنها را برجسته ساخته است (۴).

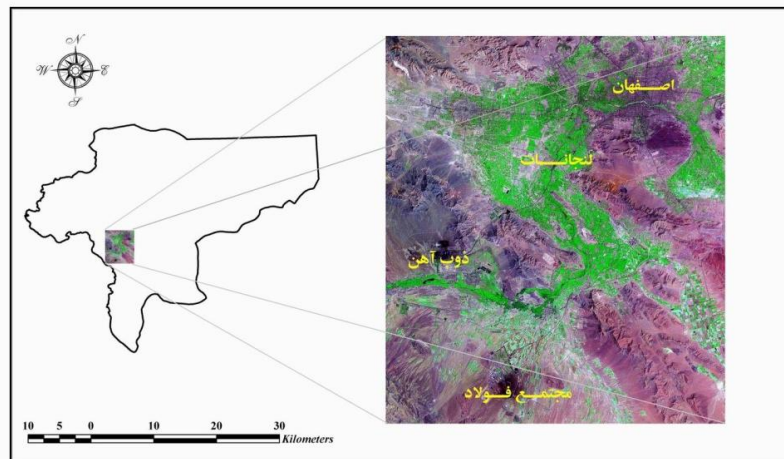
منابع انسانی اصلی افزایش فلزات سنگین در خاک مناطق صنعتی مانند فعالیت های ریخته گری، ذوب، شکل دهی، آماده سازی را می توان نام برد (۲۲). فاکویاد (۱۵) با مطالعه بر روی خاک مناطق شهری و صنعتی شرق اطراف ایکجا نیجریه

سطوح بالای فلزات سمی در اثر تخلیه فاضلاب بر روی زمین را مشاهده کرد. سوفیلیت (۲۵) در مطالعه ارزیابی آلودگی خاک ناشی از حمل سرباره های کارخانه ذوب آهن به خارج از آن در طول چند سال فعالیت، سطوح فلزات سنگین در خاک های اطراف مقدار ریسک غیر قابل قبول را بالا برده است.

لی و همکاران (۱۹) با مطالعه بر روی خاک های شهر هنگ کنگ چند منطقه بحرانی آلوده به فلزات سنگین از ترکیب نقشه فلزات سنگین به طور واقعی در مناطق صنعتی و مسکونی قدیمی را مشاهده کرد. آنان با استفاده از ایزوتوپ سرب آلودگی خاک های شهر هنگ کنگ را با منشأ انسانی نشان داد.

گرازینر (۱۷) نشان داد در نمونه های خاک مناطق شهری صنعتی غلظت فلزات سنگین مانند کادمیم ۶۱ درصد، سرب ۴۷ درصد، مس ۴۹ درصد و روی ۶۱ درصد بالاتر از مقدار خاک شاهد است. مقدار فلزات سنگین خاک های اطراف کارخانه های صنعتی و مرکز شهر به اندازه مقدار فلزات سنگین خاک های اطراف بزرگ راهها افزایش یافته است.

کریشنا و گوپل (۱۸) توزیع و آلودگی فلز سنگین در خاک ثان - بلاپور ناحیه توسعه صنعتی مومبای شرق هند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنالیز نمونه های حاکی از غنی بودن خاک ناحیه مورد مطالعه از روی، مس، کروم و کبالت بود. نتایج درخشان آنها وجود مؤسسه ای، به منظور پایش سیستماتیک و پیوسته میزان فلزات سنگین و شکل های دیگر آلودگی در ناحیه صنعتی مذکور را تضمین نمود تا از مشکلات جدی آلودگی منطقه در آینده جلوگیری شود. ونگ و همکاران (۳۱) الگوهای توزیع سرب در خاک شهری و گرد و غبار شهر شنی یانگ شمال شرقی چین را بررسی نمودند. آنها نمونه خاک از ۵۴ نقطه در شنی یانگ استان لیاونینگ را جمع آوری نمودند غلظت سرب در خاک زمینه ۲۲ میلی گرم بر کیلوگرم و مقدارهای کنترل از نواحی غیر صنعتی ۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم و برای گرد و غبار ۳۸ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آوردند. بیشترین غلظت سرب در محدوده تیکس در ناحیه صنعتی بوده غلظت های اولیه



نقشه ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی اصفهان

اصفهان در مناطقی از شهرستان اصفهان و شهرستان‌های اطراف پرداختند آنها گزارش دادند که آلودگی کادمیوم بیشتر در اطراف معادن سرب و روی و مناطق صنعتی متمرکز می‌باشد.

سید (۲۴) با مطالعه تغییرات در تجمع فلزات سنگین در خاک‌های سطحی منطقه صنعتی چیتگر تهران نشان داد با ورود فاضلاب صنعتی در خاک‌های منطقه صنعتی باعث تجمع فلزات سنگین از جمله سرب و کادمیم شده است. هدف از این مطالعه بررسی اثر فعالیت صنایع مادر فلزی بر میزان غلظت سرب و کادمیم خاک سطحی منطقه جنوب غرب اصفهان با استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی است.

### مواد و روش‌ها

#### جمع‌آوری اطلاعات و نمونه‌برداری

پس از بررسی منابع اطلاعاتی موجود شامل تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰؛ همچنین بازدید از منطقه جنوب غرب اصفهان، محدوده مطالعه با توجه به وسعت و ویژگی فعالیت صنعتی در مساحت ۷۳۴۸۱ هکتار، انتخاب شد. سپس تعداد ۳۸ نمونه خاک سطحی (۲۰ - سانتی‌متر)، با رعایت حداقل ۱۴۸۰ متر فاصله از یکدیگر برداشت شد. نقشه (۱).

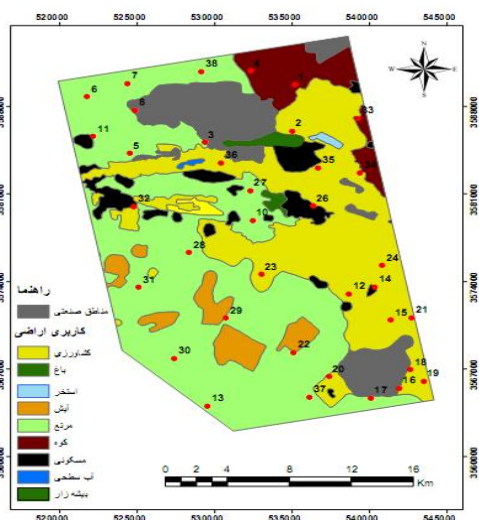
نقشه (۲) موقعیت منطقه صنعتی به مختصات شرقی

سرب کمی تغییر کرده است.

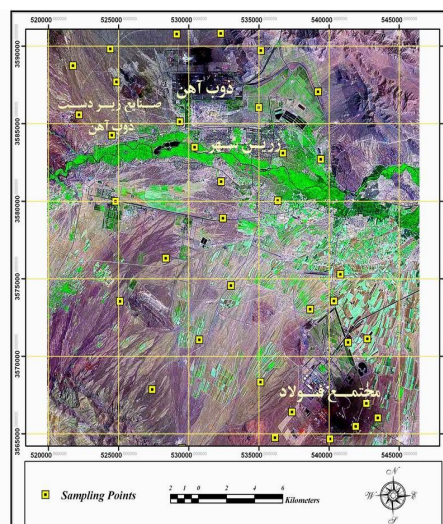
کسکان و همکاران (۱۲) در سال ۲۰۰۶ آلودگی به فلز سنگین خاک سطحی در منطقه تریس ترکیه را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد، غلظت‌های بیشتر عناصر متأثر از فعالیت‌های صنعتی و دیگر فعالیت‌های انسانی است. فلورور (۱۶) معتقد است سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مجموعه قدرتمندی برای جمع‌آوری، ذخیره، بازیابی، اصلاح (بروزرسانی) و درنهایت تبدیل و نمایش داده‌های مکانی و فضائی مربوط به دنیای واقعی به‌منظور دستیابی از مقاصد خاص به‌کار می‌رود. به‌طوری‌که کیفیت، کارائی، دقت و سرعت عمل این روش‌ها، استفاده از آنها را روز به روز وسیع‌تر و فراگیرتر می‌کند و امروز جدیدترین تکنیک‌ها در علوم مختلف در بستر GIS مطرح می‌شود. GIS ابزارهایی را برای هر دو نوع جستجوی تعاملی "ویژگی یک موقعیت چیست و در چه جاهایی این ویژگی‌ها وجود دارند" تدارک می‌بیند (۲۰).

ارزیابی توزیع مکانی خاک‌های آلوده بستگی به پراکنش مکانی و حد آستانه این آلاینده‌ها در خاک دارد (۸). برای تعیین وضعیت پراکنش مکانی آلاینده‌ها می‌توان از تئوری‌های زمین‌آمار استفاده نمود (۲۶ و ۲۷).

افیونی و همکاران (۱) در یک تحقیق وسیع به بررسی و تجزیه و تحلیل وضعیت آلودگی خاک‌های سطحی استان



نقشه ۳. کاربری اراضی جنوب غرب اصفهان



نقشه ۲. موقعیت مکانی نقاط نمونه برداری در جنوب غرب اصفهان

خاک به طور کامل انجام گیرد (۳۲). پس از سرد شدن، سوسپانسیون حاصل را از کاغذ واتمن ۴۲ عبور داده و حجم عصاره با آب مقطر به ۴۰ میلی لیتر رسانده شد. غلظت کل، عناصر سرب، کادمیم، روی، مس، نیکل در عصاره نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی پرقین المرم مدل ۷۰۰ قرائت شد (۳۲).

### آنالیزهای زمین آماری

توصیف داده‌ها به منظور بررسی چگونگی توزیع آنها و دست‌یابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری در مورد هر خصوصیت صورت گرفت. توزیع فراوانی داده‌ها به لحاظ تأثیری که روی تخمین به روش‌های میان‌یابی دارای اهمیت زیادی است. توزیع فراوانی با شاخص‌های حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۱) آمار توصیفی متغیرهای مختلف خاک منطقه نشان داده شده است (۲۱).

آنالیز همبستگی مکانی با استفاده از تغییر نما انجام شد. برای محاسبه و ترسیم تغییر نما از برنامه رایانه‌ای ArcGIS 9.2 استفاده گردید (۱۱). در محاسبه تغییر نما داده‌ها بایستی حتی‌الامکان از توزیع نرمال برخوردار باشند. لذا در مورد خصوصیات که توزیع فراوانی آنها نرمال نبود تبدیل داده

را ۵۴۵۴۷۸، ۳۵۹۱۸۳۱ متر، غربی ۵۲۰۳۸۹، ۳۵۶۳۲۱۲ متر را نشان می‌دهد.

نقشه (۳) کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد در این نقشه بیشتر مساحت مربوط به اراضی مرتع و کشاورزی است.

### تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک برای آنالیز آماده گردیدند. بافت خاک (درصد شن، سیلت، رس) به روش هیدرومتر، ماده آلی (بلاک و والکی)، پی-اچ (عصاره گل اشباع و پتانسیومتر)، هدایت الکتریکی (عصاره گل اشباع، پتانسیومتر)، ظرفیت تبادل کاتیونی (روش باور) پس از هوا خشک شدن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری غلظت کل سرب و کادمیم نمونه‌های خاک، ۵ گرم از هر نمونه توزین و سپس در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد آنگاه مخلوط ۱۵ میلی لیتر اسیدکلریدریک غلیظ و ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ (روش تیزاب سلطانی Aquaregia) به هر نمونه توزین شده اضافه و پس از تکان دادن به مدت یک ساعت و نیم در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت دیده تا اکسیداسیون مواد آلی

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای منطقه صنعتی مورد مطالعه

متغیر	واحد	تعداد	میانگین	میانه	انحراف استاندارد	چولگی	کشیدگی	حداقل	حداکثر
هدایت الکتریکی	dS/m	۳۸	۱/۸۶	۰/۵۱	۱/۱۸۹	۲/۲۵۵	۵/۲۰۴	۰/۱۹	۵/۵۴
ظرفیت تبادل کاتیونی	(meq/۱۰۰g Soil)	۳۸	۲۸/۸۸۷	۲۶/۷۵	۷/۷۳۴	۰/۶۸۴	-۰/۲۹۴	۱۶/۷۰	۴۷/۸۲
مواد آلی	%	۳۸	۰/۵۲۵	۰/۴۴	۰/۳۶۶	۱/۲۱۰	۱/۵۹۶	۰/۰۳	۱/۷۲
اسیدیته	—	۳۸	۸/۱۱۰	۸/۱	۰/۴۴۱	-۰/۳۳۴	-۰/۷۹۹	۷/۲۵	۸/۸۳
شن	%	۳۸	۴۹/۱۵۸	۵۰/۵۰	۱۰/۰۸۴	-۰/۲۱۳	-۱/۱۶۶	۳۲	۶۴
سیلت	%	۳۸	۳۱/۹۴۷	۳۲/۰	۹/۱۹	۰/۰۳۶	-۰/۴۰۱	۱۲	۵۲
رس	%	۳۸	۱۸/۹۴۷	۱۸/۰	۶/۰۷۱	۰/۸۱۰	-۰/۳۴۰	۱۲	۳۴
نیکل	mg/l	۳۸	۵۰/۲۵	۴۴/۶	۱۶/۵۸۶	۰/۶۸۵	-۰/۰۲۵	۲۵/۸	۹۴/۹۰
مس	mg/l	۳۸	۱۷/۸۱۲	۱۷/۲	۴/۶۶۹	۱/۲۱۹	۱/۸۵۰	۱۰/۶۴	۳۲/۱
کادمیوم	mg/l	۳۸	۱/۷۵۷	۱/۷۶	۰/۴۴۷	-۰/۴۲۵	۰/۸۷۰	۰/۴۸	۲/۷۰
سرب	mg/l	۳۸	۳۱/۵۰۷	۳۱/۵	۱۰/۱۹۳	-۰/۰۴۶	-۰/۳۱۴	۶/۷۲	۵۴/۶۴
روی	mg/l	۳۸	۵۰/۵۲	۴۲/۵	۴۶/۰۸۳	۵/۶۹۵	۳۳/۹۲۸	۳۰	۳۲۰

نایف استفاده شد. در این روش ابتدا مدل تغییر نمای متغیرهای مورد مطالعه تخمین زده می‌شود و آنگاه مدل حاصل جهت تخمین به کار می‌رود. سپس با آنالیز خطای تخمین صحت الگوی برازش داده بررسی شد. الگوی برازش یافته نبایستی موجب خطای نظامدار شود. به عبارت دیگر میانگین خطای تخمین بایستی برابر صفر و میانگین مجذور خطای کاهش یافته برابر یک شود. با استفاده از سعی و خطا مناسب‌ترین الگوی تغییر نمای متغیرهای مورد مطالعه تعیین گردید. جدول (۳) مقادیر کنترل اعتبار را نشان می‌دهد.

بزرگی میانگین خطای تخمین به دلیل محدودیت تعداد نمونه و بزرگی داده‌ها می‌باشد. مدل‌سازی میزان آلودگی برای سرب کل و کادمیوم کل مطابق جدول به وسیله کریجینگ ناپیوسته انجام شد. مدل‌ها به وسیله نرم‌افزار GIS تبدیل به شبکه ۱۵×۱۵ گردیدند. هر کدام از مدل‌ها براساس شروع سمیت برای کادمیوم ۰/۰۳ و سرب ۱ میلی‌گرم در روز برای انسان توسط پاپس و جونز، کلاس‌بندی مجدد (جدول ۴) شدند (۲۳). سپس نقشه هندسی مربوط به آلودگی کادمیوم و سرب بر

به روش BOX COX انجام شد. سپس تغییر نمای همه جهته توسط برنامه رایانه‌ای ArcGIS 9.2 محاسبه و ترسیم شد. پس از محاسبه و ترسیم تغییر نما در جهات مختلف وضعیت همسانگردی و ناهمسانگردی خصوصیات مورد مطالعه بررسی گردید.

میان‌یابی به روش کریجینگ ناپیوسته و با استفاده از برنامه رایانه‌ای ArcGIS 9.2 انجام شد. برای انجام میان‌یابی مدل‌های مختلف تغییر نما آزمون شد. آنگاه با آزمون صحت اعتبار برنامه رایانه‌ای ArcGIS 9.2 بهترین مدل تغییر نما، با کمترین RMSE و MEE انتخاب شد. پس از تبدیل مدل به فرمت رستر، کلاس‌بندی مجدد براساس شروع سمیت براساس جدول (۲) با در نظر گرفتن در معرض قرارگیری انسان انجام شد. سپس نقشه توزیع آلودگی کادمیوم و سرب پس از پردازش در محیط GIS بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه ترانسپرننت شد.

## نتایج و بحث

جهت تخمین پارامترهای تغییر نما از روش کریجینگ جک

جدول ۲. حد معمول و آستانه سمیت فلزات سنگین (میلی گرم در روز) توسط انسان

فلز	حد معمول	شروع سمیت	فلز	حد معمول	شروع سمیت
کادمیم	۰/۰۰۱-۰/۰۰۵	۰/۰۳	سلنیوم	۰/۰۲-۰/۰۷	۵
کروم	۰/۰۵-۰/۲	۵	مس	۲-۳	۲۰۰
کبالت	۰/۰۲-۰/۰۵	۵۰۰	آهن	۱۰-۲۰	۲۰۰
سرب	۰/۰۱-۰/۰۲	۱	روی	۱۰-۱۵	۶۰۰
نیکل	۰/۱-۰/۲	۲۰	مولیبدن	۰/۱۵-۰/۵	۵۰۰

جدول ۳. مدل توزیع مکانی سرب و کادمیم در منطقه جنوب غرب اصفهان

عنصر (متغیر)	مدل	MEE	RMS	اثر قطعه‌ای*	حد آستانه*	دامنه**
کادمیم	Spherical	۰/۰۳	۰/۴۵۹	۰/۰۰۱۴	۰/۲۷۳	۶۳۸۰/۵۷
سرب	Hole Effect	۰/۱۰۲	۷/۳۲۹	۳۵	۶۶	۶۳۸۰/۵۷

\*: میلی گرم بر کیلوگرم خاک \*\*: متر

جدول ۴. کلاس‌های آلودگی توزیع مکانی کادمیم و سرب در منطقه جنوب غرب اصفهان

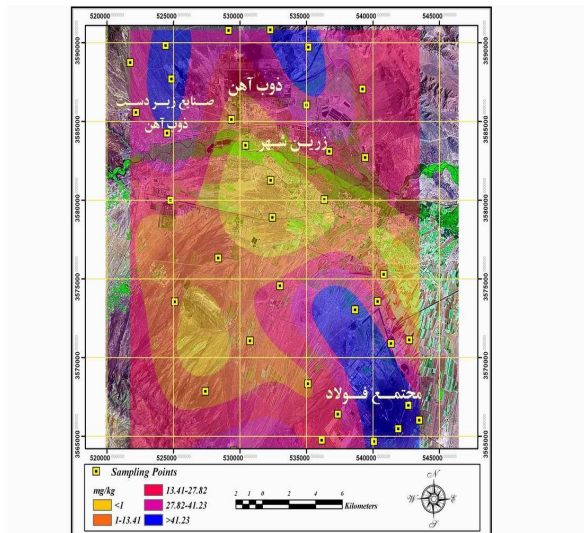
بسیار آلوده	خیلی آلوده	آلوده	آلودگی متوسط	تمیز (بدون آلودگی)	کلاس آلودگی
$> 1/98$	$1/32 - 1/98$	$0/66 - 1/32$	$0/03 - 0/66$	$> 0/03$	کادمیم (میلی گرم بر کیلوگرم)
$> 41/32$	$41/32 - 27/82$	$13/41 - 27/82$	$1 - 13/41$	$> 1$	سرب (میلی گرم بر کیلوگرم)

روی نقشه منطقه مورد مطالعه ترانسپرننت شد.

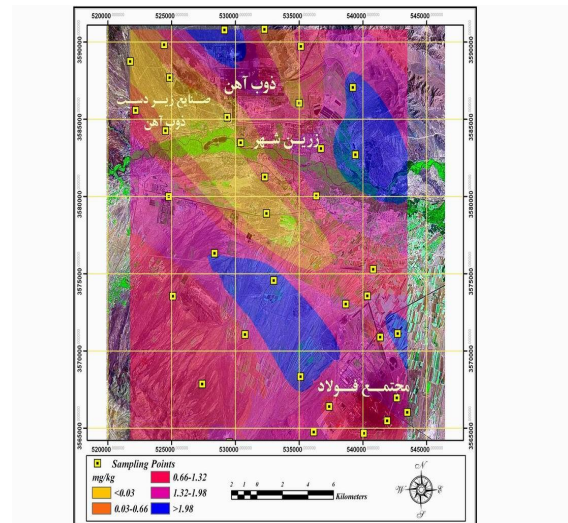
بر کیلوگرم می‌باشد.

به دلیل وجود منابع آلوده کننده نقطه‌ای (به‌طور عمده صنایع ذوب فلز و صنایع زیردست) و غیرنقطه‌ای (فعالیت‌های کشاورزی) در کلاس بسیار آلوده، کلاس خیلی آلوده و کلاس آلوده قرار گرفتند. نقشه چهار توزیع مکانی کادمیم کل را در سطح مربوط به ناحیه بین استخرهای تبحیری ذوب آهن و کشاورزی شرق و جنوب شرقی زرین شهر ناشی از مصرف کود شیمیایی فسفات‌ها توسط کشاورزان (۲) همچنین برداشت آب از زه کش زرین شهر (ذوب آهن) مربوط به استخرهای تبحیری ذوب آهن در کلاس بسیار آلوده قرار می‌دهد. سطح مربوط به ناحیه شمال کارخانه ذوب آهن مکان دپو زائدات خط تولید همچنین جنگل دست کاشت بادام کوهی به‌علت آبیاری با پساب حاصل

دامنه میانگین غلظت کل کادمیم و سرب به ترتیب (۰/۵) - (۲/۷)، (۵۴/۶-۶/۷) میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک سطحی منطقه صنعتی جنوب غرب اصفهان به دست آمده است. میانگین غلظت کادمیم و سرب به ترتیب ۱/۸ و ۳۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از میانگین غلظت جهانی (به ترتیب ۰/۳۵ و ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر بود (۲۳ و ۱۰). از مقایسه میانگین کادمیم با مقدار غلظت آستانه شروع سمیت (۲۳)، جدول (۴) کلاس‌های آلودگی بر اساس حساسیت انسان نسبت به میزان غلظت کادمیم را نشان می‌دهد. میانگین غلظت کل کادمیم ۱/۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم و دامنه تغییرات غلظت کادمیم در خاک‌های منطقه ۲/۷-۰/۵ گرم



نقشه ۵. توزیع مکانی سرب کل



نقشه ۴. توزیع مکانی کادمیم کل

کادمیوم ۰/۳٪ و سرب ۱ میلی‌گرم در روز برای انسان توسط پایس و جونز گزارش می‌شود همچنین با توجه به استاندارد ارائه شده برای خاک‌های جهان توسط آژانس شورای حفاظت محیط زیست اروپا (به ترتیب ۰/۳۵٪ و ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) این مقدار بیشتر از حد آلودگی است.

بالاترین غلظت کادمیم به ترتیب ۲/۷ و ۵۴/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم از مقدار استاندارد غلظت سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای کاربری صنعتی (به ترتیب ۸ و ۷۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) کمتر بود. (۳۳)

توزیع مکانی کادمیم کل، کلاس بسیار آلوده براساس شروع سمیت برای کادمیوم ۰/۳٪ و سرب ۱ میلی‌گرم در روز برای انسان توسط پایس و جونز در ناحیه استخرهای تبخیری ذوب آهن و اراضی شمال شرق زرین شهر همچنین ناحیه دپو ضایعات ذوب آهن و جنگل دست کاشت بادام کوهی به دلیل آبیاری با پساب گزارش می‌شود.

توزیع مکانی کادمیم کل، کلاس بسیار آلوده را در ناحیه شمال شرقی و شمال دریاچه مجتمع فولاد به علت فعالیت کشاورزی و استفاده از کودهای فسفاته و فرونشست جوی گزارش می‌شود.

توزیع مکانی سرب کل، طبقه پنج (بیشتر از ۴۱/۲۳ میلی‌گرم

از استخرهای تبخیری در کلاس بسیار آلوده قرار گرفت. نقشه (۵) توزیع مکانی سرب کل سطح نواحی اطراف مجتمع فولاد مبارکه، مکان دپو ضایعات فلزی و حوالی خط راه آهن در طبقه پنج (بیشتر از ۴۱/۲۳) قرار گرفت. این ناحیه ناشی از فعالیت خط تولید و خروج ذرات معلق حاوی ترکیبات سرب و فرونشست آن در اطراف کارخانه می‌باشد. سطح مربوط به مکان جمع‌آوری ضایعات ذوب آهن و تردد کامیون‌های حامل ضایعات از جمله عامل عمده قرارگیری این ناحیه در طبقه پنج (بیشتر از ۴۱/۲۳) است. سطح مربوط به ناحیه درب شرقی ذوب آهن از طرف اتوبان اصفهان - ذوب آهن مکان توقف کامیون‌ها و اتوبوس‌های پرسنل کارخانه در گردنه موجود در این ناحیه و تردد زیاد وسایل نقلیه سنگین همچنین قسمتی از مسیر ریل انتقال مواد معدنی (بعضاً رو باز) از عوامل مهم قرارگیری این ناحیه در طبقه پنج (بیشتر از ۴۱/۲۳) است.

## نتیجه‌گیری

میانگین غلظت کادمیوم و سرب در منطقه صنعتی به ترتیب ۱/۷ و ۳۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است بالاترین غلظت به ترتیب ۲/۷ و ۵۴/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم براساس شروع سمیت برای

در کیلوگرم) از نظر تماس با انسان را در ناحیه دپو ضایعات فلزی و حاشیه ایستگاه ریل انتقال مواد معدنی، همچنین ناحیه جمع‌آوری ضایعات ذوب آهن و سرباره‌ها و مسیر تردد کامیون‌های حامل ضایعات گزارش می‌شود. توزیع مکانی سرب کل، طبقه پنج (بیشتر از ۴۱/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) سطح مربوط به ناحیه ورودی ذوب آهن از طرف اتوبان اصفهان - ذوب آهن و مکان توقف کامیون‌ها و تردد فشرده اتوبوس‌های پرسنل کارخانه در گردنه ورودی شرقی و فرونشست جوی ذرات حاوی ترکیبات سرب حاصل از عملیات تخلیه و بارگیری گزارش می‌شود.

### منابع مورد استفاده

۱. افیونی، م.، ح. خادمی، ح. شریعتمداری، م. امینی و ا. خسروی، ۱۳۸۱. گزارش نهایی بررسی آلودگی خاک‌های سطحی منطقه مرکزی اصفهان، اداره کل حفاظت محیط زیست اصفهان.
۲. امینی، م.، ۱۳۸۳. مدل‌سازی روند تجمع عناصر سنگین در اکوسیستم‌های زراعی و ارزیابی عدم قطعیت آن در منطقه اصفهان رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. بروگنورت، ف. ج. ۱۳۷۱. شیمی خاک، جلد اول: مبانی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۴. پیوی، ه. ۱۳۷۶. مهندسی محیط زیست، جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند.
۵. دبیری، م. ۱۳۷۵. آلودگی محیط زیست، چاپ اول، نشر اتحاد.
۶. طراوتی، ح.، و ا. ایافت. ۱۳۷۷. دستور کار ۲۱ کنفرانس سازمان ملل متحد درباره محیط زیست و توسعه، چاپ اول، انتشارات سازمان حفاظت و محیط زیست.
۷. وهاب‌زاده، ع. ۱۳۷۲. مبانی محیط زیست، چاپ اول، جهاد دانشگاهی مشهد.
8. Alloway, B. J. 1990. Heavy Metals in Soil. John Wiley & sons, Inc., New York. PP. 38-40.
9. Atteia, O., Dubois, J. P. and R. Wester. 1994. Geostatistical analysis of soil contamination in the Swiss. J. Enu. Pollution 86: 315-327.
10. Bowen, H. J. M. 1979. The Environmental Chemistry of Elements. Academic press, London, New York. PP. 12-23.
11. Childs, C. 2004. Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analst. WWW.esri.com, Arc user, July-Septembers.
12. Coskun, M., E. Steinnes and M. V. Frontasyeva. 2006. Heavy metal pollution of surface soil in the THRACE region. J. TURKEY. Environmental Monitoring and Assessment 119: 545-556.
13. David, M. 1988. Handbook of Applied Geostatistical Ore Reserve Estimation. Elsevier, Amsterdam. p. 232.
14. Deboudt, K., P. Flement and M. Bertho. 2004. Cd, Cu, Pb and Zn concentration in atmospheric wet deposition at a coastal station in Western Europe. J. Water, Air and soil pollution 151: 335-359.
15. Fakoyade So. and Pc. Onianwa. 2002. Heavy metal contamination of soil and bioaccumulation in Guine grass Panicumacium around Ikeja industrial estate. Lagos, Nigeiria. J. Environ. Geology 41: 461-469
16. Flowerew, R. 1991. Spatial data integration In Geographical Information Systems. L: 375-387 in: Maguire, D. J., M. F. Goodchild, D. W. Rhind, (Ed.), Longman Scientific and Technical, London.
17. Grzebisz W., L. Ciesla, J. Cieśła and J. Potarzycki. 2002. Geochemical Assessment of heavy metals pollution of urban soils. polish J. Environ. Studies 11(5):493-499.
18. Krishna, A. K. and P. K. Govil. 2005. Heavy metal distribution and contamination in soils of Thane-Belapur industrial development area, Mumbai, Western India. J. Environ. Geol. 47: 1054-1061.
19. Li X., S. Lee, S. Wong and W. Shi. 2004. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. J. Environ. Pollution 129: 113-124
20. Madrid, L., E. Diaz-Barrientos and F. Madrid. 2000. Distribution of Heavy metal contents of Urban soil in park of Seville. J. Chemosphere 49(10): 1301-1308.
21. Microsoft SPSS for windows. Release. 15 Copyright SPSS, Inc. 2005-2007.
22. Nilgun G. and T. Gurdal. 2004. Investigation of soil multi – element composition in Antalya Turkiy. Envi. International 29: 631-640



23. Pais, I. J. and Benton Jones Jr. 1997. The handbook of Trace Element. PP. 2162 -2168. Publishing by: Luice St. Press Boc a Raton Florida. US EPA.
24. Sayyed M. R. G. and M. H. Sayadi. 2011. Variations in the heavy metal accumulations within the surface soils from the Chitgar industrial area of Tehran. Procc. of Inter. Academy of Ecology and Environ. Sci. 1(1): 36-46
25. Sofilic T., B. Bertic, V. Simunic-Meznaric and I. Brnardic. 2013. Soil pollution as a result of temporary steel scrap storage at the Melt Shap. J. Ecologia Balkanica 5(1): 21-30.
26. Sultan, K. 2007. Distribution of Metals and Arsenic in Soils of Central Victoria (Creswick-Ballararat), Australia. Arch. Environ. Contam. J. Toxicol. 52: 339-346.
27. Tao, S. 1994. Spatial structure of Copper, Lead and Mercury content in surface soil in the Shenzhmen area. water, Air and soil pollution 82: 583-591.
28. Tao, S., 1995. Kriging and mapping of copper, Lead and mercury contents in surface soil in the Shenzhen area. Water Air and Soil Pollution 83. 161-172.
29. Theodoratos, P., A. Mirou, A. Xenidis and P. Ioann. 2000. The use of municipal sewage sludge for the stabilization of soil contaminated by mining activities. J. Hazardous Materials B(77): 177-191.
30. Van, M. and P. Goovaerts. 2001 Evaluating the probability of exceeding a site-specific soil cadmium contamination threshold. J. Geoderma 102: 63-88.
31. Wang, J., H. Ren and X. Zhang. 2006. Distribution patterns of lead in urban soil and dust in Shenyang city, Northeast China. J. Environmental Geochemistry and Health 28: 53-59.
32. Westerman, R. L. 1990. Soil testing and plant analysis. PP. 275-293 (Ed.), 3<sup>rd</sup> Edition, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
33. <http://www.doe.ir/Portal/file/?483969/soil-standard.pdf>.

## Spatial Distribution of Total Cadmium and Total Plumb in Surface Soils of the Southwest Isfahan

A. Khosravi-Dehkordi<sup>1\*</sup>, M. Afyuni<sup>2</sup> and A. Soffianian<sup>1</sup>

(Received: Oct 1-2015 ; Accepted : April 23-2016)

### Abstract

Pollutants are considered the disturbing factors of environment, and among them the heavy metals are more important considering their non-degradability and physiological effects on organisms in low concentrations. The goal of this research was to investigate the effect of industrial landuse on Cd and Pb concentrations in surface soils of the southwest Isfahan. According to satellite images and topographic maps (1:50000) of the study area, soil samples (depth: 0–20 cm) were collected using random sampling. A total of 38 surface soil samples were obtained from industrial areas (lowest distance = 1480 m) in the area of 73481 ha. Total concentrations of Cd and Pb in the digested solution were measured by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Using Arc GIS, the spatial distribution patterns and Cd and Pb variability of samples were analysed and finally the best models of spatial distribution of heavy metals were achieved. The primary results showed that the mean concentrations of Cd, and Pb of surface soil samples in industrial areas were 1.8 to 31.5 mg Kg<sup>-1</sup> higher than the world's mean values, respectively. Although the mean concentrations of Cd and Pb were respectively 8 to 700 mg Kg<sup>-1</sup> lower than the standard of Iranian Department of Environment for industrial landuse.

**Keywords:** Cd, Industrial area, Non-continuous Kriging, Pb, Spatial distribution, Soil pollution.

---

1. Division of Environ. Sic., Dept. of Natural Resource, Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

2. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: ardeshir.khosravi@of.iut.ac.ir