

## بررسی عناصر سرب، کادمیم و مس در خاک اطراف نیروگاه حرارتی شازند اراک

حوریه عابدی<sup>۱</sup>

سهیل سبحان اردکانی<sup>۲\*</sup>

[s.sobhan@iauh.ac.ir](mailto:s.sobhan@iauh.ac.ir)

اصغر سیف<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۵

### چکیده

زمینه و هدف: آلودگی خاک به فلزات سنگین سمی از مشکلات رایج در سطح بین‌المللی است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی غلظت عناصر سرب، کادمیم و مس در خاک اطراف نیروگاه شازند اراک و تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر در سال ۱۳۹۲ انجام یافت. روش بررسی: پس از انتخاب ۹ ایستگاه نمونه‌برداری به روش تصادفی سیستماتیک، از خاک سطحی و همچنین از عمق ۳۰ سانتی‌متری در مجموع ۵۴ نمونه خاک برداشت شد. غلظت عناصر در نمونه‌ها بعد از طی مراحل آماده‌سازی آزمایشگاهی، به روش طیف‌سنجی نوری پلاسما جفت‌شده القایی خوانده شد. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر و پردازش آماری داده‌ها به ترتیب از نرم‌افزارهای ArcGIS و SPSS استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیشینه میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیم و مس در نمونه‌های خاک سطحی و عمق ۳۰ سانتی‌متری (میکروگرم در کیلوگرم) به ترتیب برابر با  $10255 \pm 577$  و  $415 \pm 8416$ ؛  $29/0 \pm 304$  و  $34/0 \pm 303$ ؛ و  $431 \pm 11839$  و  $501 \pm 10473$  است. نتایج مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌ها با رهنمود WHO نشان داد که فقط میانگین غلظت عنصر مس بزرگ‌تر از بیشینه رواداری بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری: علی‌رغم آن که نتایج نشان داد خاک‌های اطراف نیروگاه حرارتی شازند به عناصر سمی سرب و کادمیم آلوده نبودند، ولی، به منظور حفظ سلامت محیط و زیست‌مندان نسبت به اعمال مدیریت محیط‌زیستی صنایع مستقر در منطقه مورد مطالعه از جمله نیروگاه و پتروشیمی شازند توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، فلز سنگین، توزیع مکانی، بیشینه رواداری، نیروگاه شازند.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران  
۲- استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران\* (مسوول مکاتبات)  
۳- دانشیار گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

## **Assessment of Pb, Cd and Cu concentrations of soil samples in the vicinity of Shazand thermal power plant, Arak, Iran**

**Horiyeh Abedi<sup>1</sup>**

**Soheil Sobhanardakani<sup>2\*</sup>**

[s\\_sobhan@iauh.ac.ir](mailto:s_sobhan@iauh.ac.ir)

**Asghar Seif<sup>3</sup>**

Admission Date: September 8, 2015

Date Received: April 25, 2015

### **Abstract**

**Background and Objective:** Spatial distribution of contaminants is essential for soil contamination monitoring and maintaining environmental quality. Therefore, this study was conducted to assess the concentrations of Pb, Cd and Cu in soil samples in the vicinity of Shazand thermal power plant in 2013 and preparing the spatial distribution map of elements.

**Material and Methodology:** A total of 54 topsoil and subsoil samples were collected from nine sampling stations. In the laboratory, after preparation of soil samples, heavy metal concentrations were determined using ICP-OES. All statistical analyses were performed using the SPSS 18.0 statistical package. Also, spatial distribution maps of elements were prepared using Kriging interpolation method.

**Findings:** Based on the results obtained, the maximum mean concentration of Pb ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) in topsoil and subsoil samples were  $10255 \pm 577$  and  $8416 \pm 415$ , respectively, while, the maximum mean concentration of Cd in topsoil and subsoil samples were  $304 \pm 29.0$  and  $303 \pm 34.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ , respectively, whereas, the maximum mean concentration of Cu in topsoils and subsoils samples were found to be  $11839 \pm 431$  and  $10473 \pm 501 \mu\text{g}/\text{kg}$ , respectively. The results of statistical analyses showed that, the mean concentrations of Cu in both topsoil and subsoil specimens were significantly higher than permissible maximum permissible concentration established by WHO.

**Discussion and Conclusion:** Although the mean concentrations of Pb and Cd in soil samples were lower than WHO permissible limits, the establishment of environmental management system in industries of the study area and implementation of programs for the monitoring of heavy metals in soil samples is recommended.

**Keywords:** Soil Contamination, Heavy metal, Spatial distribution, Maximum permissible concentration, Shazand thermal power plant.

---

1- M.Sc., Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

2- Professor, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran. *\*(Corresponding Author)*

3- Associate Professor, Department of Statistics, College of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

## مقدمه

خاک یکی از محصولات محیط با فرآیند تشکیل طولانی است که به‌طور دائم در معرض تغییر و نمو قرار داشته و مخلوط پیچیده‌ای از مواد معدنی و آلی و موجودات زنده است (۱). به بیان دیگر، خاک پوسته‌ای از زمین است که بدون آن زمین خواهد مرد. بنابراین حفاظت از کیفیت خاک‌ها و جلوگیری از آلودگی و زوال آن‌ها از اصول اولیه برای رسیدن به توسعه پایدار است (۲). افزایش فعالیت‌های صنعتی توأم با تولید آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین یکی از مشکلات جدی و در حال گسترش زندگی انسان عصر حاضر است. یون فلزات سنگین از آلاینده‌های پایدار و ماندگار در محیط‌زیست و غیر قابل تجزیه بوده، از تمایل به تجمع در بافت بدن موجودات زنده برخوردارند، بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، فعالیت زیستی و دستیابی زیستی مواد مغذی در خاک تأثیر می‌گذارند و از طریق ورود به زنجیر غذایی و نفوذ در منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یک مخاطره جدی برای سلامت انسان و امنیت محیط‌زیست محسوب می‌شوند (۲ و ۳).

سرب، کادمیم و مس به‌خاطر توانایی بالقوه در آسیب‌رسانی به سلامت انسان، حیوانات و محیط در چند دهه اخیر از نظر بهداشتی و محیط‌زیستی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و سعی شده است از ورود آن‌ها به چرخه محیط‌زیست تا حد امکان جلوگیری شود (۴ و ۵).

غلظت سرب در خاک‌ها از یک تا ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بوده و حد بحرانی آن ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۳). سرب بعد از انتقال در خون به نقاط مختلف بدن منتقل شده و در اندام‌هایی مانند کلیه، کبد، طحال، سیستم‌های عصبی، مغز استخوان و غدد فوق‌کلیوی تجمع می‌یابد. افزایش غلظت سرب در بدن ایجاد سمیت شدیدی می‌کند که در اثر عدم درمان و جلوگیری از آلودگی با آن به مرگ منتهی می‌شود (۶). غلظت کادمیم در بیش‌تر خاک‌های غیرآلوده از یک میلی‌گرم در کیلوگرم کم‌تر و غلظت بحرانی آن در خاک ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۷). مهم‌ترین اثرات مخرب کادمیم، تجمع مزمن آن در قشر رویی کلیه بوده و زمانی که غلظت آن

به ۲۰۰ میکروگرم در هر کیلوگرم وزن تر کلیه برسد، سبب از کار افتادن مجاری کلیوی می‌شود. نرم شدن استخوان‌ها به‌واسطه اختلال در موازنه کلسیم و فسفر از دیگر علائم مسمومیت کادمیم است (۸ و ۹). غلظت مس در خاک بین ۱۸ تا ۹۴/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر و حد بحرانی آن ۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۷). جذب زیاد مس در انسان باعث خوردگی شدید مخاطی، آسیب گسترده مویزگی، تغییرات نروتیک کبدی و کلیوی، دستگاه گوارشی و سیستم عصبی مرکزی شده و منجر به افسردگی می‌شود. همچنین، تماس مستقیم با نمک‌های مس، ضمن آسیب جدی به پوست، می‌تواند منجر به آگزمای پاپولوویزیکولی شود (۱۰ و ۱۱).

تاکنون چندین مطالعه در خصوص بررسی تجمع فلزات سنگین در خاک اطراف نیروگاه‌ها و یا مناطق صنعتی انجام شده است که از جمله می‌توان به بررسی تغییرات غلظت فلز سمی آلومینیوم در برخی از مناطق صنعتی استان کرمان (۱۲)، بررسی محتوی و توزیع عناصر کروم و مولیبدن در مناطق مجاور مجتمع فولاد مبارکه اصفهان (۱۳)، بررسی آلودگی فلزات سنگین در مجموعه صنعتی شماره‌های ۲ و ۴ اهواز (۱۴ و ۱۵)، بررسی تجمع عناصر کروم و نیکل در خاک اطراف شهرک صنعتی خیرآباد اراک (۱۶)، بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف نیروگاه لودز لهستان (۱۷)، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک یک منطقه صنعتی سورات در گوجارات هندوستان (۱۸) و بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک ناحیه صنعتی Eastern Guwahati هندوستان (۱۹)، اشاره کرد.

با توجه به احتمال انتشار آلاینده‌های ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی از طریق فعالیت نیروگاه شازند، این پژوهش با هدف بررسی غلظت عناصر سرب، کادمیم و مس در خاک اطراف این نیروگاه و تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر انجام یافت.

## مواد و روش‌ها

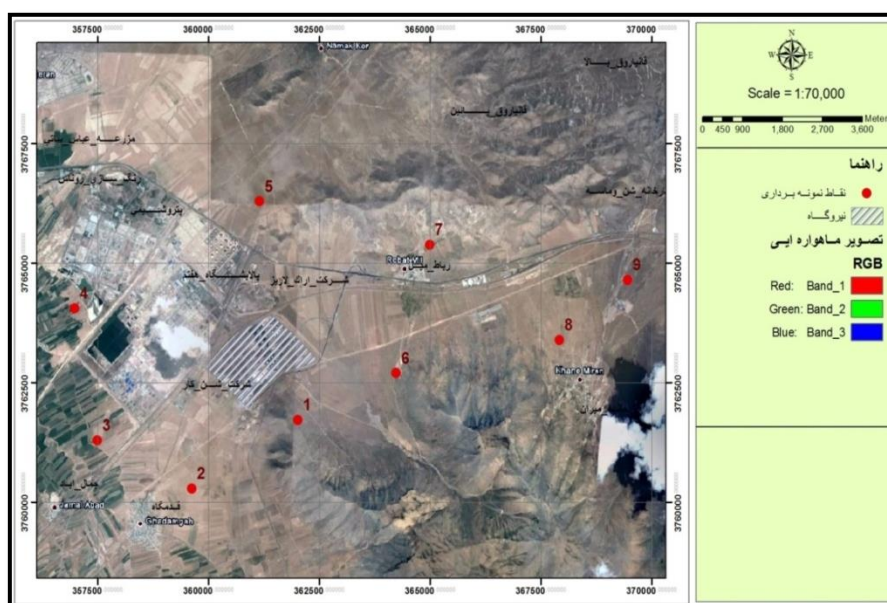
## معرفی منطقه مورد مطالعه

نیروگاه حرارتی شازند اراک با مساحت ۲۴۰ هکتار و ارتفاع ۱۹۰۰ متر از سطح دریا در کیلومتر ۲۵ جاده شازند- اراک و در شرق پالایشگاه شازند، در زمرة نیروگاه‌های حرارتی با ظرفیت تولید ۱۳۰۰ مگاوات برق است. سوخت مصرفی نیروگاه گاز طبیعی و مازوت است و از نفت نیز به‌عنوان سوخت استفاده می‌شود (۲۰).

## نمونه‌برداری

برای نمونه‌برداری از خاک منطقه از روش نمونه‌برداری تصادفی استفاده شد. بدین صورت‌که، از اطراف نیروگاه ۹ ایستگاه با در

نظر گرفتن جهت‌های موافق و مخالف باد غالب انتخاب و در مجموع ۵۴ نمونه خاک شامل ۲۷ نمونه خاک سطحی و ۲۷ نمونه خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری در شهریورماه سال ۱۳۹۲ برداشت و در کیسه‌های پلی اتیلنی نگهداری شد (۲۱). همچنین، مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS مدل ETREX 32X ساخت شرکت گارمین بر اساس سیستم UTM ثبت شد. نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تصویر ۱ آورده شده است.



تصویر ۱- نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Figure 1. Map of sampling sites

## آماده‌سازی نمونه‌ها

بدین منظور، پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه و جداکردن سنگ و سنگریزه از آن‌ها، نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و پس از آن توسط هاون عقیق پودر شده تا یکنواخت شوند. سپس، به دو گرم از هر نمونه همگن شده، اسید نیتریک چهار نرمال افزوده و محلول در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت در حمام بن‌ماری قرار داده شد. بعد از خنک شدن نمونه‌ها و صاف کردن آن‌ها توسط

کاغذ صافی واتمن ۴۲، محلول در بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری با آب دوبار تقطیر به حجم رسانده شد. در نهایت، غلظت عناصر در نمونه‌ها توسط دستگاه نشر اتمی Varian مدل ES-۷۱۰ در سه تکرار خوانده شد (۲۲).

## تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر

نقشه پهنه‌بندی محتوی عناصر در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی وزنی (Inverse Distance Weighted) توسط ویرایش ۹/۳ نرم افزار ArcGIS تهیه

شد. بدین صورت که، نقشه‌های توزیع مکانی برای هر عنصر ترسیم و تحلیل‌های لازم بر روی نقشه‌های رستری انجام شد.

### پردازش آماری داده‌ها

برای پردازش آماری نتایج از ویرایش ۲۰ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. بدین صورت که، برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، برای مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی با مقادیر بیشینه رواداری از آزمون تی تک‌نمونه‌ای، به منظور مقایسه میانگین غلظت عناصر بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آزمون آنالیز واریانس بین‌آزمودنی

یک‌طرفه، برای بررسی معنی‌داری اختلاف بین گروه‌ها به صورت دو به دو از آزمون تعقیبی بن‌فرونی و به منظور مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته فلزات بین نمونه‌های خاک سطحی با نمونه‌های خاک برداشت‌شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری از آزمون تی مستقل استفاده شد.

### یافته‌ها:

نتایج مربوط به تعیین محتوی فلزات سنگین در نمونه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- آمار توصیفی محتوی عناصر سرب، کادمیم و مس در نمونه‌های خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم، وزن خشک

Table 1. Descriptive statistics of Pb, Cd and Cu concentrations in soil samples ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ , dry w.)

انحراف معیار $\pm$ میانگین غلظت			تیمار	ایستگاه نمونه‌برداری
مس	کادمیم	سرب		
$5931 \pm 301$	$180 \pm 19/0$	$4141 \pm 222^*$	سطحی	۱
$4811 \pm 289$	$163 \pm 21/8$	$3671 \pm 209$	عمقی**	
$7652 \pm 312$	$275 \pm 27/6$	$7665 \pm 413$	سطحی	۲
$6535 \pm 278$	$221 \pm 17/2$	$5821 \pm 388$	عمقی	
$3623 \pm 110$	$150 \pm 24/5$	$4581 \pm 204$	سطحی	۳
$5425 \pm 218$	$204 \pm 21/8$	$7492 \pm 392$	عمقی	
$8540 \pm 355$	$295 \pm 30/9$	$10255 \pm 577$	سطحی	۴
$3984 \pm 99/1$	$145 \pm 14/9$	$4075 \pm 199$	عمقی	
$6806 \pm 235$	$252 \pm 27/2$	$7602 \pm 403$	سطحی	۵
$5052 \pm 222$	$205 \pm 22/9$	$5945 \pm 380$	عمقی	
$6023 \pm 190$	$174 \pm 16/2$	$5749 \pm 299$	سطحی	۶
$5794 \pm 203$	$182 \pm 31/9$	$6803 \pm 309$	عمقی	
$4554 \pm 163$	$153 \pm 19/5$	$4575 \pm 215$	سطحی	۷
$7715 \pm 309$	$253 \pm 36/5$	$6880 \pm 321$	عمقی	
$10081 \pm 412$	$292 \pm 29/9$	$8483 \pm 453$	سطحی	۸
$19473 \pm 501$	$303 \pm 34/4$	$8416 \pm 415$	عمقی	
$11839 \pm 431$	$304 \pm 29/3$	$9737 \pm 516$	سطحی	۹
$7965 \pm 233$	$205 \pm 18/7$	$6622 \pm 312$	عمقی	

\* داده‌ها مربوط به میانگین غلظت سه تکرار است.

\*\* نمونه مربوط به عمق ۳۰ سانتی‌متری است.

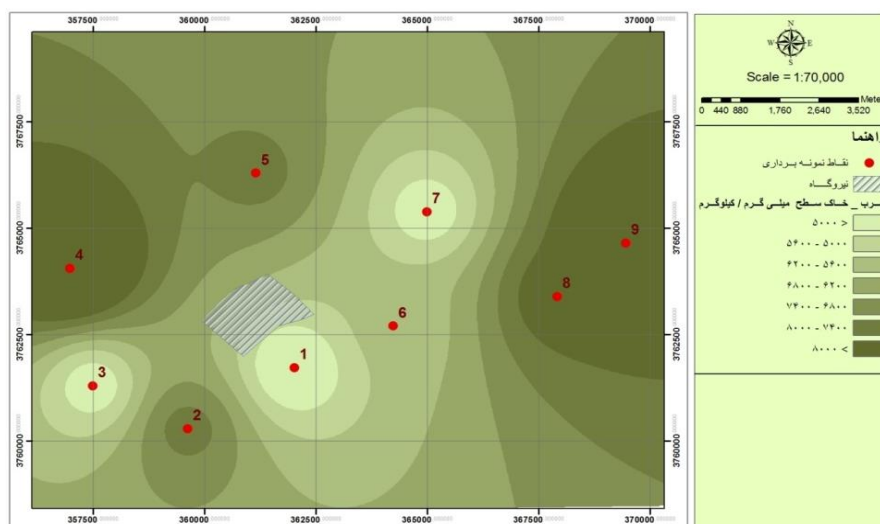
تحلیل واریانس یک‌طرفه (تعقیبی بن‌فرونی) به منظور بررسی اثر عوامل «منطقه»، «عمق برداشت» و اثر تقابلی «منطقه و عمق برداشت» بر میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیم و مس نیز نشان دهنده وجود ارتباط معنی‌دار با اندازه اثر شدید بود.

نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری بین میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیم و مس در نمونه‌های خاک سطحی با نمونه‌های خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشته است ( $p < 0/05$ ). نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای نیز نشان داد که در هر دو گروه از نمونه‌های خاک، غلظت عناصر با رهنمود WHO (برابر با ۵۰۰۰۰، ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب برای سرب، کادمیم و مس) (۲۳) تفاوت معنی‌دار آماری داشته و در همه موارد بیش‌تر از حد استاندارد بوده است.

نتایج مربوط به پهنه‌بندی محتوی عناصر سرب، کادمیم و مس به تفکیک خاک سطحی و خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری در تصاویر ۲ تا ۷ نشان داده شده است.

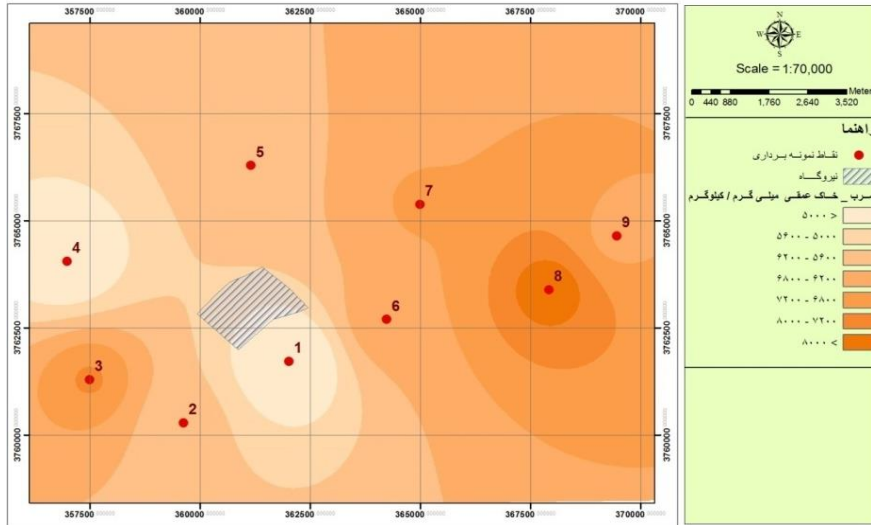
نتایج مندرج در جدول ۱ بیان‌گر آن است که در نمونه‌های خاک سطحی کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر سرب با ۴۱۴۱ و ۱۰۲۵۵ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱ و ۴؛ کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر کادمیم با ۱۵۰ و ۳۰۴ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۳ و ۹ و کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر مس نیز با ۳۶۲۳ و ۱۱۸۳۹ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۳ و ۹ است. همچنین، در نمونه‌های خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری، کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر سرب با ۳۶۷۱ و ۸۴۱۶ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱ و ۸؛ کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر کادمیم با ۱۴۵ و ۳۰۳ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۴ و ۸ و کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر مس نیز با ۳۹۸۵ و ۱۰۴۷۲ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۴ و ۸ است.

نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان دهنده نرمال بودن توزیع داده‌های مربوط به غلظت خوانده شده عناصر در نمونه‌های خاک سطحی و عمق ۳۰ سانتی‌متری بود. نتایج آزمون



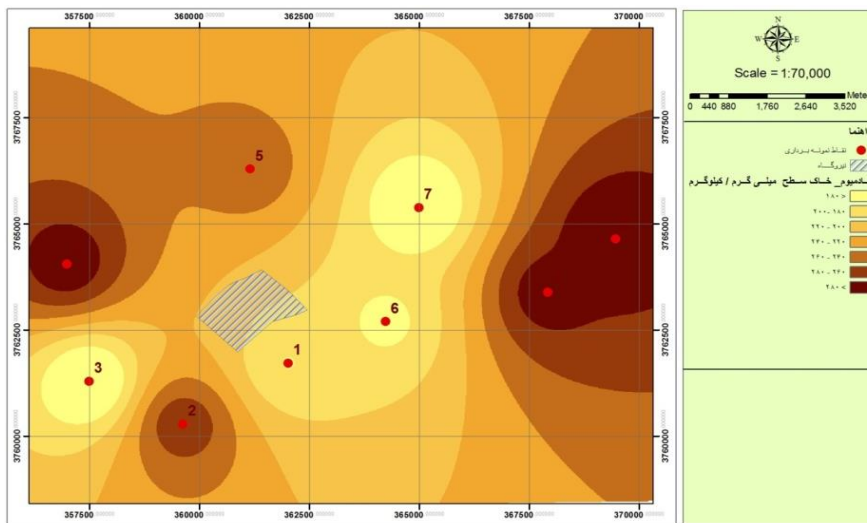
تصویر ۲- نقشه توزیع مکانی عنصر سرب در نمونه خاک سطحی

Figure 2. Map of the spatial distribution of Pb in the surface soil samples



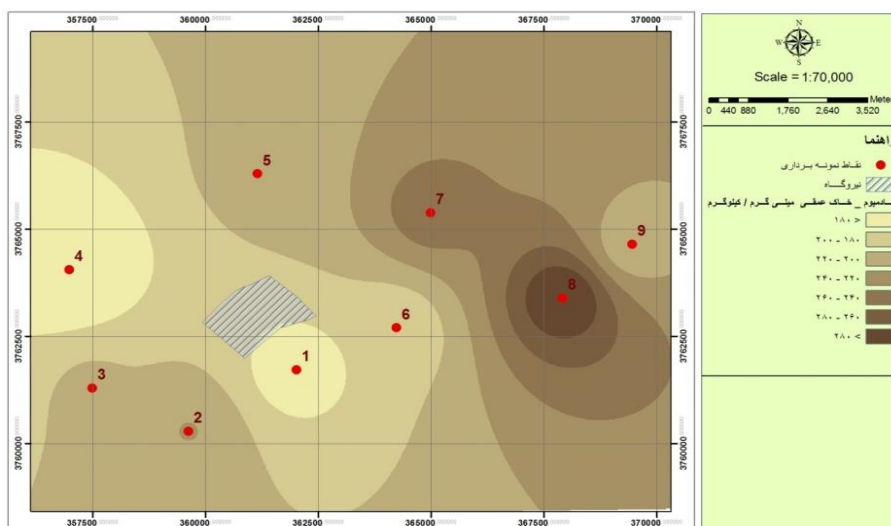
تصویر ۳- نقشه توزیع مکانی عنصر سرب در نمونه خاک عمق ۳۰ سانتی متری

Figure 3. Map of the spatial distribution of Pb in the subsoil samples



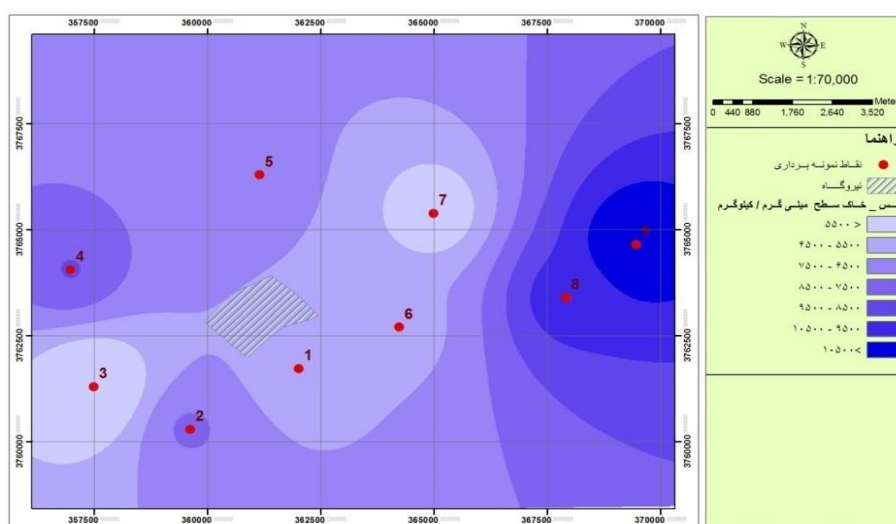
تصویر ۴- نقشه توزیع مکانی عنصر کادمیم در نمونه خاک سطحی

Figure 4. Map of the spatial distribution of Cd in the surface soil samples



تصویر ۵- نقشه توزیع مکانی عنصر کادمیم در نمونه خاک عمق ۳۰ سانتی متری

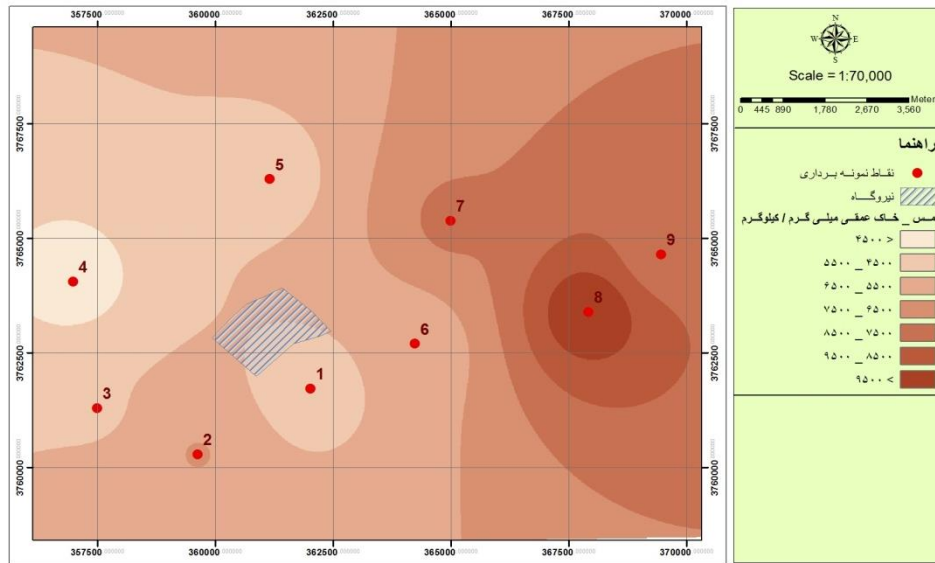
Figure 5. Map of the spatial distribution of Cd in the subsoil samples



تصویر ۶- نقشه توزیع مکانی عنصر مس در نمونه خاک سطحی

Figure 6. Map of the spatial distribution of Cu in the surface soil samples





تصویر ۷- نقشه توزیع مکانی عنصر مس در نمونه خاک عمق ۳۰ سانتی متری

Figure 7. Map of the spatial distribution of Cu in the subsoil samples

طرفی، بیشینه مقادیر عنصر مس در نمونه‌های خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی متری نیز با ۷۷۱۵، ۷۹۶۵ و ۱۰۴۷۳ میکروگرم در کیلوگرم مربوط به ایستگاه‌های ۷، ۹ و ۸ واقع در قسمت شرقی منطقه مورد مطالعه بوده است (تصویر ۷).

#### بحث و نتیجه‌گیری

در بین آلاینده‌های شیمیایی، فلزات سنگین به لحاظ اثرات بوم‌شناختی، زیستی و بهداشتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. تجمع بالای فلزات سنگین در خاک می‌تواند برای سلامتی بوم‌سازگان‌ها و انسان خطرات طولانی مدت به همراه داشته باشد. به همین دلیل، آلودگی فلزات سنگین در سرتاسر جهان همواره به‌عنوان یک مشکل جدی مطرح بوده است (۲۴).

نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیم و مس در نمونه‌های خاک سطحی بیش‌تر از نمونه‌های خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی متری بوده است که با نتایج پژوهشی که با هدف بررسی آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به سرب و کادمیم انجام شد (۲۵)، مطابقت دارد.

نتایج نشان داد که میانگین غلظت عنصر مس بزرگ‌تر از بیشینه رواداری بوده است که این موضوع را می‌توان با ساختار زمین‌شناختی منطقه که از سنگ‌های نفوذی گرانیتی یا

نتایج پهنه‌بندی میانگین محتوی عناصر مورد بررسی نشان داد که بیشینه مقادیر فلز سرب در نمونه‌های خاک سطحی (میکروگرم در کیلوگرم) با ۸۴۸۳ و ۹۷۳۷ و ۱۰۲۵۵ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۸، ۹ و ۴ واقع در قسمت‌های غربی و شرقی منطقه مورد مطالعه است (تصویر ۲). همچنین، بیشینه مقادیر فلز سرب در نمونه‌های خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی متری با ۶۸۸۰، ۷۴۹۲ و ۸۴۱۶ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۷، ۳ و ۸ مستقر در قسمت‌های غربی و شرقی منطقه مورد مطالعه بوده است (تصویر ۳). به‌علاوه، بیشینه مقادیر فلز کادمیم در نمونه‌های خاک سطحی با ۲۹۲، ۲۹۵ و ۳۰۴ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۸، ۴ و ۹ مستقر در قسمت‌های مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه است (تصویر ۴). در حالی که، در نمونه‌های خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی متری با ۲۲۱، ۲۵۳ و ۳۰۳ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۲، ۷ و ۸ واقع در قسمت‌های مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه بوده است (تصویر ۵). بیشینه مقادیر عنصر مس در نمونه‌های خاک سطحی (میکروگرم در کیلوگرم) نیز با ۸۵۴۰، ۱۰۰۸۱ و ۱۱۸۳۹ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۴، ۸ و ۹ واقع در قسمت‌های غربی و شرقی منطقه مورد مطالعه (تصویر ۶) و از

است و به علاوه، مجاورت ایستگاه‌های ۸ و ۹ به محدوده شهری در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها مرتبط دانست. بنابراین، با توجه به تجمع فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه، نسبت به اجرای برنامه‌های پایش محیطی و ملزم کردن صنایع به کنترل آلاینده‌های خروجی توصیه می‌شود. همچنین، باید برای حفظ سلامت مصرف‌کنندگان قبل از عرضه محصولات کشاورزی و باغی تولیدی به بازار مصرف نسبت به بررسی آلودگی این محصولات به فلزات سنگین اقدام شود.

## References

1. Taghipour, M., Khademi, H., Ayoubi, Sh. (2010). Spatial variability of Pb and Zn concentration and its relationship with land use and parent materials in selected surface soils of Hamadan province. *Journal of Water and Soil*, 24(1), 132-144. (In Persian)
2. Khodakarami, L., Soffianian, A., Mirghafari, N., Afyuni, M., Golshahi, A. (2012). Concentration zoning of chromium, cobalt and nickel in the soils of three sub-basin of the Hamadan Province using GIS technology and the geostatistics. *JWSS*; 15(58), 243-254. (In Persian)
3. Rezaei Raja, O., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M. (2016). Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan City, potential risk of Al and Cu. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 3(3), 131-135.
4. Zimdahl, R.L., Skogerboe, R.K. (1977). Behavior of lead in soil. *Environmental Science and Technology*, 11(13), 1202-1207.
5. Sobhanardakani, S., Maanijou, M., Asadi, H. (2015). Investigation of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in groundwater resources of Razan Plain. *Scientific Journal of Hamadan*

گرانودیوریتی تشکیل شده است و یا استفاده از نهاده‌های کشاورزی حاوی مس به‌ویژه کودهای مایع حاوی سولفات مس و قارچ‌کش اکسی کلرور مس در باغات و مزارع منطقه مطالعاتی مرتبط دانست. از طرفی، علی‌رغم آن‌که نتایج مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌های خاک سطحی و خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری با رهنمود سازمان بهداشت جهانی نشان داد که میانگین غلظت عناصر سمی سرب و کادمیم کوچک‌تر از بیشینه رواداری بوده است، ولی نباید از منابع بالقوه آلودگی خاک منطقه به عناصر سمی از جمله فرونشست آلاینده‌های انتشار یافته از صنایع مستقر در پیرامون منطقه مورد مطالعه و به‌علاوه، حجم بالای ترافیک وسایل نقلیه از جمله وسایل حمل و نقل سنگین از جاده مواصلاتی توره-اراک که از طریق احتراق سوخت‌های فسیلی و استهلاک لنت ترمز وسایل نقلیه می‌تواند در میان‌مدت به آلودگی خاک به عناصر سمی و به‌ویژه کادمیم (۲۶ و ۲۷) منجر شود، غافل شد. به‌بهانه‌ی نیا (۲۰۰۹) نیز در پژوهش خود به دلایل مشابه آلودگی خاک به عناصر سرب و کادمیم اشاره کرد (۲۸). فاگبوت و همکاران (۲۰۱۰) نیز میانگین محتوی عناصر سرب و کادمیم در خاک منطقه‌ای صنعتی در نیجریه را کوچک‌تر از بیشینه رواداری WHO گزارش کردند (۲۹).

نتایج مطالعه توزیع مکانی محتوی عناصر در نمونه‌های خاک نشان داد که بیشینه غلظت فلز سرب (میکروگرم در کیلوگرم) در نمونه‌های خاک سطحی و خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری با ۱۰۲۵۵ و ۸۴۱۶ به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۸ و ۹ و بیشینه غلظت فلز کادمیم در نمونه‌های خاک سطحی و خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری نیز هر دو با ۳۰۴ میکروگرم در کیلوگرم به‌ترتیب مربوط به همین ایستگاه‌ها بود. همچنین، بیشینه غلظت فلز مس (میکروگرم در کیلوگرم) در نمونه‌های خاک سطحی و خاک برداشت شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری با ۱۱۸۳۹ و ۱۰۴۷۳ مربوط به ایستگاه‌های ۴ و ۸ بود که این موضوع را می‌توان به حد پراکنش و نشست آلاینده‌های خروجی از دودکش صنایع فعال در منطقه که بیش‌ترین میزان آن در منطقه «خانه‌میران» یعنی ایستگاه ۸ ثبت شده

- changing in industrial zones (Case study: Some of industrial zones in Kerman province). *Journal of Environmental Science and Technology*, 13(1), 21-38. (In Persian)
13. Norozi, S., Ardestani, M., Ghazban, F., Khosro Tehrani, Kh. (2012). Molybdenum and chromium pollution around Mobarakeh Steel Manufacturing, Esfahan Province, Iran. *Journal of Science*, 23(1), 1-12. (In Persian)
  14. Mohammadi Roozbahani, M., Sobhanardakani, S., Karimi, H., Sorooshnia, R. (2015). Natural and anthropogenic source of heavy metals pollution in the soil samples of an industrial complex; a case study. *Iranian Journal of Toxicology*, 9(29), 1336-1341.
  15. Sobhanardakani, S., Mohammadi Roozbahani, M., Sorooshnia, R., Karimi, H. (2016). Assessment of heavy metal contamination in surface soils of Ahvaz IV industrial estate, Khuzestan province, Iran. *Iranian Journal of Health Sciences*, 4(1), 53-61.
  16. Ahmadi, S.A., Sobhanardakani, S. (2020). Evaluation of Cr and Ni concentrations in the soil samples collected from near the Arak III industrial estate. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(5), 85-97. (In Persian)
  17. Jankiewicz, B., Adamczyk, D. (2007). Assessing heavy metal content in soils surrounding the Lodz power plant, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(6), 933-938.
  18. Krishna, A.K., Govil, P.K. (2007). Soil contamination due to heavy metals University of Medical Sciences, 21(4), 319-329. (In Persian)
  6. Sobhanardakani, S. (2018). Human health risk assessment of Cd, Cu, Pb and Zn through consumption of raw and pasteurized cow's milk. *Iranian Journal of Public Health*, 47(8), 1172-1180.
  7. Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants* (4th Edition). CRC Press, 548 pp.
  8. Dayani, M., Mohammadi, J., Naderi, M. (2010). Geostatistical analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Esfahan). *Journal of Water and Soil*, 23(4), 67-76. (In Persian)
  9. Hosseini, S.V., Sobhanardakani, S., Kolangi Miandare, H., Harsij, M., Regenstein, J.M. (2015). Determination of toxic (Pb, Cd) and essential (Zn, Mn) metals in canned tuna fish produced in Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13, 59.
  10. Rodriguez, J.A., Nanos, N., Grav, J.M., Gil, L., Lopez-Arias, M. (2008). Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsoils. *Chemosphere*, 70(6), 1085-1096.
  11. Sobhanardakani, S., Jafari, S.M. (2014). Investigation of As, Hg, Zn, Pb, Cd and Cu concentrations in muscle tissue of *Cyprinus carpio*. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 24, 184-195. (In Persian)
  12. Salari, H., Mozafai, H., Manoocheri Kalantari, K., Torkzadeh, M., Naseri, F. (2011). The environmental evaluation of toxic metal of Al content

24. Lin, W., Xiao, T., Wu, Y., Ao, Z., Ning, Z. (2012). Hyperaccumulation of zinc by *Corydalis davidii* in Zn-polluted soils. *Chemosphere*, 86(8), 837-842.
25. Samani Majd, S., Taebi, A., Afyuni, M. (2007). Lead and cadmium pollution in urban roadside soil. *Journal of Environmental Studies*, 33(43), 1-10. (In Persian)
26. McKenzie, E.R., Money, J.E., Green, P.G., Young, T.M. (2009). Metals associated with stormwater-relevant brake and tire samples. *Science of the Total Environment*, 407(22), 5855-5860.
27. Farzan, M., Sobhanardakani, S. (2016). Analysis of Fe, Pb, and Cd content of surface runoff in regions with high traffic intensity in Hamedan, Iran, in 2014. *Health System Research*, 12(2), 208-213. (In Persian)
28. Behbahaninia, A. (2009). The investigation of metals pollution of fossil fuels in roadside soils of Tehran – Damavand. 5(17), 45-56. (In Persian)
29. Olubunmi Fagbote, E., Olorunsola Olanipekun, E. (2010). Evaluation of the status of heavy metal pollution of soil and plant (*Chromolaena odorata*) of Agbabu Bitumen deposit area, Nigeria. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 5(4), 241-248.
- from an industrial area of Surat, Gujarat, western India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 124(1-3), 263-275.
19. Deka, J., Sarma, H.P. (2012). Heavy metal contamination in soil in an industrial zone and its relation with some soil properties. *Archives of Applied Science Research*, 4(2), 831-836.
20. Feizi, A.A., Mansouri, M.M. (2005). Quantitative and qualitative study of environmental pollutants of Shazand power plant. 20th International Power System Conference, 12 p.
21. Heywood, I., Cornelius, S., Carver, S. (2011). *An Introduction to Geographical Information Systems*. Forth Edition, Pearson Prentice Hall, 446 pp.
22. Mousavi, E., Soffianian, A., Mirghafari, N., Khodakarami, L. (2012). Investigation of spatial distribution of heavy metals in surface soil of Hamadan Province. *Iranian Journal of Soil Research*, 25(4), 323-336. (In Persian)
23. Dantu, S. (2010). Geochemical patterns in soils in and around Siddipet, Medak District, Andhra Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170(1-4), 681-701.