

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره شش، شهریورماه ۹۸

## ارزیابی آلودگی به عناصر سمی و سنگین خاک های اطراف نیروگاه حرارتی

### شازند به روش تحلیل آماری و زمین آماری

فریدون قدیمی<sup>۱\*</sup>

[drghadimi@yahoo.com](mailto:drghadimi@yahoo.com)

محمد قمی<sup>۲</sup>

الهه محمدی ولی کندی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۶

#### چکیده

**زمینه و هدف:** توسعه شگرف علم و فناوری در دنیای امروز موجبات رفاه و آسایش را در زندگی فراهم آورده است. اما همین توسعه یافتگی با ایجاد آلودگی در محیط زیست باعث بروز مشکلات عدیده ای برای انسان و سایر موجودات زنده شده است. فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی آن ها بر موجودات زنده و انسان حتی در غلظت های کم حایز اهمیت شناخته شده اند که از جمله این عناصر می توان به سرب، روی، مس، کبالت، کروم و کادمیوم اشاره کرد که توسط فعالیت های صنعتی به خاک اضافه می-شوند.

**روش بررسی:** در این مطالعه سعی شده با استفاده از روش های دقیق ژئوشیمی زیست محیطی، روش های آماری و نیز زمین آمار، پراکنش فلزات سنگین و سمی در خاک مورد بررسی، تجزیه و تحلیل قرار گیرد. نیروگاه حرارتی شازند با قرارگیری در جوار شهرهای اراک، مهاجران و شازند و نیز قرارگیری صنایع پالایشگاهی و پتروشیمی در جوار آن از اهمیت ویژه ای در ایجاد آلودگی در این مناطق برخوردار است.

**یافته ها:** این بررسی نشان داد از بین عناصر  $Pb, Zn, Cr, Cd, Co$  و  $Cu$ ، خاک های منطقه تنها از نظر  $Cd$  آلودگی نشان می دهند. **بحث و نتیجه گیری:** از آن جا که  $Cd$  در مازوت ایران (مورد مصرف در نیروگاه ها) به طور طبیعی بالاست، بخشی از این آلودگی به دود انتقال یافته و توسط باد، باعث تجمع آن در خاک منطقه شده است؛ ضمن این که جهت باد نیز هم جهت با توزیع آلودگی است.

**واژه های کلیدی:** فلزات سنگین، نیروگاه حرارتی شازند، آلودگی زیست محیطی

۱- دانشیار گروه رسوب شناسی، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران\* (مسئول مکاتبات)

۲- دانشجوی دکترای مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر. مربی آموزشی، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اراک

۳- دانش آموزته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اراک.

## **Evaluation of Soil Contamination to Heavy Metals around the Shazand Power Plants Using Statistical and Geo Statistical Analysis**

**Fereydoon Ghadimi<sup>1</sup> \***

*[drghadimi@yahoo.com](mailto:drghadimi@yahoo.com)*

**Mohammad Ghomi<sup>2</sup>**

**Elaheh mohammadiVali Kandi<sup>3</sup>**

Admission Date: September 12, 2015

Date Received: June 6, 2015

### **Abstract**

**Background and Purpose:** Development in sciences are influenced by the ways of comfort in living today. But, the development has provided high problems such as environmental pollution. Heavy metals are the most important elements that contaminated environment and are poisonous for human as well. These elements such as Pb, Zn, Cr, Cd, Co and Cu are produced by industrial activities.

**Method:** This paper attempts to apply geochemical methods such as statistical and geostatistical method for evaluation of distribution heavy metals in soils. Thermal power plant of Shazand in the close of Mohajaran of Arak city is the center of elemental pollution accompanied with refinery and petrochemical in this area.

**Findings:** This study is determined that among the elements such as Pb, Zn, Cr, Cd, Co and Cu, only Cd is contaminants element.

**Discussion and Conclusion:** The amount of Cd is high in fuel raw of Iran and Shazand power plant uses this fuel. Therefore, Cd has increased in the extruded smok and has transferred by wind and has deposited in the soil.

**Keywords:** Heavy metal, Shazand power plant, environmental pollution.

---

1- Associate Professor Dept. of Sedimentology School of Mining Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran. \*(Corresponding Authours)

2- PhD Student in mining exploitation engineering, Amirkabir University of Technology. Instructor, Faculty of Mining Engineering, Arak University of Technology.

3- Master of Science in Mining Engineering, Arak University of Technology

## مقدمه

در محصولات تولیدی اراضی کشاورزی، سبزی کاری ها و صیفی- کاری های عمده حاشیه منطقه خواهد شد. بدیهی است که در صورت عدم توجه به پیامدهای زیست محیطی آلودگی نیروگاه و پتروشیمی بر تولیدات کشاورزی مناطق اطراف، صدمات جبران ناپذیری نیز به سلامت شهروندان وارد خواهد شد (۱).

در شمال منطقه صنعتی سازند جنب نیروگاه حرارتی سازند، آلودگی سرب، کادمیوم و کبالت مورد مطالعه قرار گرفته و نتیجه این تحقیق در مقایسه با استانداردهای جهانی نشان داده که کبالت کمترین و کادمیوم و سرب بیشترین غلظت آلاینده ها را شامل می شود و منشاء عناصر حاصل صنایعی چون نیروگاه، پالایشگاه و پتروشیمی و نیز حمل و نقل جاده ای و ریلی است (۲). در تحقیقی که در شهر اصفهان و با هدف بررسی اثر کاربری اراضی شهری، کشاورزی و صنعتی بر میزان غلظت روی، کادمیوم، نیکل، سرب، مس و تهیه نقشه پتانسیل آلودگی خاک صورت گرفت، نشان داد که توزیع این عناصر در مناطق صنعتی به علت فعالیت صنایع ذوب فلز، مجموعه صنایع زیر دستی ذوب آهن و محل های دپو ضایعات و آهن قراضه ها می- باشد. میزان سرب و کادمیوم ناچیز و سایر فلزات نیز در حد مجاز گزارش شده است (۳). در اطراف نیروگاه های با سوخت زغال سنگ، غنی شدگی  $\text{As}$ ،  $\text{Cd}$ ،  $\text{Co}$ ،  $\text{Cr}$ ،  $\text{Cu}$ ،  $\text{Fe}$ ،  $\text{Hg}$ ،  $\text{Ni}$ ،  $\text{Ti}$  و  $\text{Zn}$  مشاهده می شود. مواد این واحدهای صنعتی غنی از  $\text{Fe}$ ،  $\text{Cd}$ ،  $\text{Ni}$  و  $\text{Zn}$  می باشند. غنی شدگی خاک وابسته به الگوی وزش باد و محتوای مواد زغال به ویژه برای جیوه می باشند (۴). عمده این فلزات سنگین بر رشد و تکثیر و فعالیت های میکروارگانیسم های خاک اثر نامطلوب داشته و می توانند به طور انتخابی بر سایر ارگانیسم ها اثر گذارند (۵، ۶). افزایش غلظت فلزات سنگین به ویژه در شهرک های صنعتی به فراوان مشاهده می شود. در ترکیه، در منطقه صنعتی گبزه افزایش غلظت فلزات سنگین هم به علت فعالیت های صنعتی و هم به علت حمل و نقل و فعالیت های نیروگاهی رخ داده است. لذا افزایش غلظت عناصری چون  $\text{Hg}$ ،  $\text{Pb}$  و  $\text{Cu}$  در خاک های

در نیروگاه های با سوخت سنگین به خصوص نیروگاه هایی که از مازوت با درصد گوگرد بالا استفاده می کنند، سطوح محفظه احتراق بویلر و دودکش بعلا ت تماس مستقیم محصولات احتراق همواره پوشیده از رسوبات ترکیبات مختلف است. با توجه به کیفیت سوخت مصرفی در این نیروگاه ها اغلب رسوبات دوده، ترکیبات وانادیم، نیکل و ترکیبات گوگرددار در سطوح این مناطق یافت می شود. در اثر سوزاندن مواد نفتی مانند مازوت در این نیروگاه ها، مقادیر زیادی از عناصر سمی وارد اتمسفر شده که می توانند بر روی نباتات و خاک نشست و اثرات سوء خود را اعمال نمایند و موجب آلودگی خاک به عناصری چون منگنز، نیکل، روی، آرسنیک، کامیم، سرب، جیوه و غیره شوند. اثرات زیان بار تجمع فلزات سنگین در خاک بر روی موجودات زنده ثابت شده است و بارها موجب حوادث زیست محیطی شده اند. بعضی از مهم ترین این اثرات شامل اختلال فعالیت های بیولوژیک خاک و اثرات سمی روی گیاه و سپس انسان است (۱).

بحث آلودگی نیروگاه حرارتی سازند به عنوان یکی از مسایل مهم اجتماعی در استان مرکزی مطرح می باشد. البته با توجه به قرارگیری این نیروگاه در جوار صنایع آلاینده دیگری چون کارخانجات تولید آسفالت، کارخانه تولید رنگ، پالایشگاه و پتروشیمی، تنها منشأ آلودگی منطقه به شمار نمی رود. اما از نظر اجتماعی یکی از مهم ترین منابع آلاینده به محسوب می- شود. از سوی دیگر فلزات سنگین یکی از عوامل ایجاد بیماری های صعب العلاج مانند انواع سرطان ها می باشند که با ورود به خاک و سپس آب های زیرزمینی به طور مستقیم با غیرمستقیم وارد بدن انسان شده و باعث بیماری خواهند شد. با توجه به وجود مزارع کشاورزی و باغات تولید میوه و سبزیجات، احتمال تسریع در ورود این آلودگی ها به بدن انسان و سایر جانداران بیشتر است. متأسفانه با توجه به تداوم سوزاندن حجم عظیمی مازوت در نیروگاه حرارتی سازند، روزانه بیش از ۴۵۰ تن انواع آلاینده های گوگردی، ترکیبات آلی، فلزات سنگین و غیره وارد محیط شده که سبب ایجاد تاثیرات بسیار مخرب و زیان باری

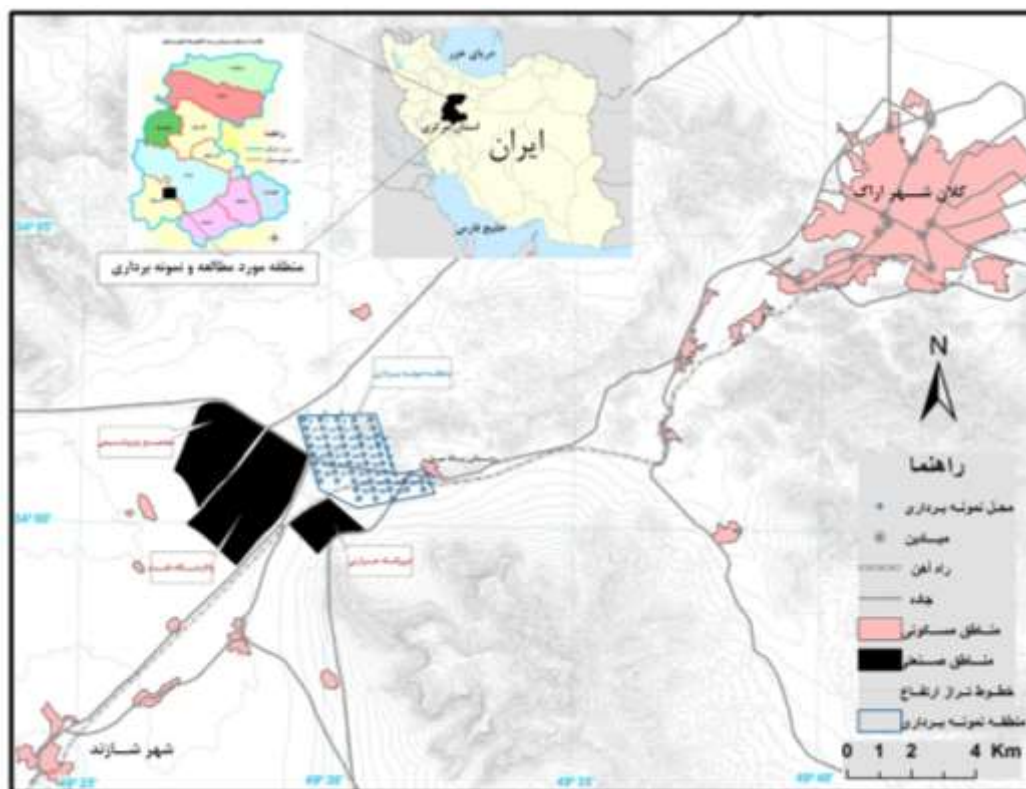
اراک، به عنوان یکی از آلاینده های احتمالی مهم این منطقه مطرح می گردد.

## ۲- موقعیت منطقه مطالعه

منطقه مورد مطالعه از زیر حوزه های حوزه آبخیز قره چای می باشد که در حدود ۱۷ کیلومتری شهر اراک و در مسیر اراک به همدان و یا بروجرد قرار گرفته است. بلندترین نقطه ارتفاعی آن ۲۴۳۰ متر و پایین ترین نقطه آن ۱۹۲۰ متر از سطح آب های آزاد قرار دارد. نیروگاه سازند در ۲۵ جاده اراک - سازند و در شرق پالایشگاه اراک و در مجاورت راه آهن سراسری تهران-جنوب در زمینی به مساحت ۲۴۰ هکتار و در ارتفاع ۱۹۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). نیروگاه دارای ۴ واحد بخاری با قدرت اسمی هر واحد ۳۲۵ مگاوات می باشد. سوخت اصلی نیروگاه گاز طبیعی و مازوت می باشد که از خط گاز سراسری و پالایشگاه اراک تأمین می شود. آب نیروگاه نیز از منابع آب زیرزمینی دشت سازند و به وسیله چاه های اطراف و داخل نیروگاه تأمین می گردد (۱).

سطحی به طور مستقیم تحت تأثیر فعالیت های نیروگاهی می باشد (۷). در تحقیقات مشابهی که در اسپانیا انجام گرفته، افزایش غلظت عناصر Ni, Bi, Cd و Pb به فعالیت های نیروگاهی نسبت داده شده است (۸, ۹). در فرانسه نیز در ۵ منطقه صنعتی فلزات سنگینی چون Cu, Pb, Zn, Sb و As در نمونه های خاک، مورد مطالعه قرار گرفته و به روش های آماری چند متغیره مشخص شد که فعالیت های صنعتی سبب افزایش این عناصر در خاک شده است (۱۰).

هدف از انجام تحقیق، بررسی و تعیین آلاینده های زیست محیطی نیروگاه های حرارتی تولید برق سازند در خاک می باشد. نیروگاه های سوخت فسیلی به علت وجود پتانسیل آلاینده های سمی مانند کادمیوم و فلزات سنگین چون کروم، کبالت، مس، سرب و روی در سوخت و احتمال انتقال آن ها در ذرات معلق موجود در دود خروجی، باعث آلودگی محیط زیست می گردند. از سویی دیگر با توجه به قرارگیری نیروگاه حرارتی سازند در نزدیکی شهرهای سازند، مهاجران و اراک و نیز روستاهای پرجمعیت و قرار گیری آن در مسیر باد غالب به سمت شهر



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مرکزی

Figure 1. Location map of study area in the Markazi province.

## روش بررسی

با توجه به جهت وزش باد، محل قرارگیری نیروگاه حرارتی شازند و صنایع نفتی دیگر و نیز مکان قرارگیری خطوط حمل و نقل جاده‌ای و ریلی، محدوده برای نمونه برداری انتخاب گردید (شکل ۲). پس از تعیین محل نقاط نمونه برداری از خاک (به کمک نرم افزار ArcGIS) در محدوده های مشخص شده، ۵۰ نمونه از خاک سطحی (به عمق ۵-۱۵ سانتی متری) در مهر سال ۱۳۹۱ برداشت گردید. فاصله تقریبی نمونه ها در راستای شرقی- غربی ۴۷۵ متر و در راستای شمالی جنوبی حدود ۲۲۵ متر می باشد (شکل ۲). برداشت نمونه خاک هر نقطه، از اضلاع و مرکز مربعی به ضلع تقریبی یک تا دو متر انجام گرفت. نمونه

های خاک برداشته شده بعد از عبور از سرنده های ۸۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ مش، در بسته های ۲۰ گرمی جهت آنالیز و تعیین میزان عناصر  $Pb, Zn, Cr, Cd, Co, Cu, Fe$  به آزمایشگاه ارسال گردید. آنالیز به روش اسپکتروفتومتری اتمی صورت پذیرفت. بعد از نمونه برداری از خاک و انجام آنالیز، تحلیل و بررسی های تعیین منشأ آلودگی توسط نرم افزار آماری Statistica به روش های ماتریس همبستگی (Correlation coefficient)، آنالیز عاملی (Factor analysis) و آنالیز خوشه‌ای (Cluster analysis) صورت گرفت. پهنه بندی آلودگی ها با استفاده از نرم افزار زمین آماری  $GS^+$  و با استفاده از روش کریگینگ برای عناصر سنگین انجام گردید.



شکل ۲- موقعیت نمونه ها در تصویر ماهواره ای

Figure 2. Location map of samples in the satellite portrait.

## یافته ها

## ۴-۱- توصیف آماری

برای تحلیل های آماری از بسته نرم افزاری Statistica استفاده شد. برای شروع تحلیل آماری، بررسی نرمال بودن داده‌ها الزامی می‌باشد. لذا دو پارامتر چولگی و کشیدگی برای هر عنصر بررسی گردید. در این تحقیق،  $Pb$  و  $Co$  نزدیک به نرمال بوده

و سایر داده ها یعنی  $Cr, Cd, Cu, Zn$  به صورت لاگ نرمال می باشند. آمار توصیفی و همچنین مقادیر مرجع (متوسط پوسته زمین) از فلزات مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است (۱۱). بسیاری از عناصر دارای طیف گسترده‌ای از تغییرات می‌باشند. برای مثال مقدار غلظت عنصر سرب از ۰/۰۷ تا ۰/۶۶

میلی گرم در کیلوگرم با میانه ۰/۲۱ میلی گرم در کیلوگرم  
متغیر می باشد. به نحو مشابهی نیز اطلاعات آماری برای Co.

جدول ۱- نتایج آنالیز نمونه های خاک و نتایج آمار توصیفی (واحد به میلی گرم در کیلو گرم)

Table1. Statistical descriptive of soil data (mg/kg).

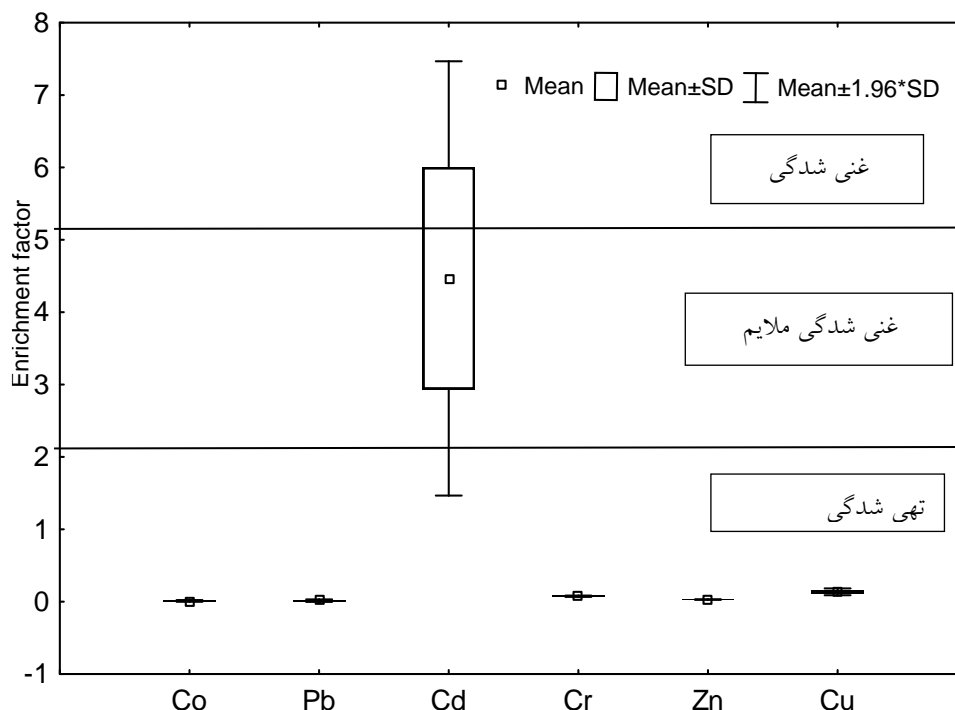
پارامتر های آماری	Co	Pb	Cd	Cr	Zn	Cu	Fe
حداقل	۰/۰۵	۰/۰۷	۱/۰	۶/۲۱	۱/۲۲	۱/۳۴	۱۶۶۷۴
متوسط	۰/۱۷	۰/۲۱	۳/۰۱	۶/۷۱	۱/۳۴	۱/۷۱	۱۶۶۹۲
حداکثر	۰/۴۵	۰/۶۵	۷/۶۸	۷/۸۹	۱/۶۲	۲/۵۵	۱۶۷۱۷
انحراف استاندارد	۰/۱۰	۰/۱۴	۱/۰۴	۰/۴۲	۰/۱۰	۰/۳۰	۹/۴
چولگی	۰/۷۷	۱/۰۱	۱/۴۰	۰/۷۱	۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۴۹
کشیدگی	-۰/۱۴	۰/۶۲	۶/۷۴	-۰/۱۹	۰/۲۶	-۰/۱۹	-۰/۰۱
میانگین پوسته زمین	۱۷	۱۷	۰/۷	۹۲	۴۷	۱۳	۱۷۰۶۶

عامل غنی شدگی ۵-۲ دارای غنی شدگی ملایم و در برخی نقاط با عامل غنی شدگی در بازه ۲۰-۵ غنی شدگی بالا را نشان می دهد (شکل ۳).

$$EF = \frac{C_n(\text{Sample}) / C_{ref}(\text{Sample})}{B_n(\text{Background}) / B_{ref}(\text{Background})} \quad \text{رابطه (۱)}$$

### عامل غنی شدگی (Enrichment factor)

عامل غنی شدگی مطابق رابطه (۱) محاسبه گردید. در این رابطه EF عامل غنی شدگی،  $C_n$  و  $B_n$  غلظت عنصر مورد نظر و غلظت آهن و  $C_{ref}$  و  $B_{ref}$  غلظت استاندارد عنصر مورد نظر و غلظت آهن استاندارد می باشد. فلز آهن به عنوان عنصر استاندارد استفاده شده است. عناصر Co، Pb، Cr، Zn و Cu با عامل غنی شدگی کمتر از ۰.۲، تهی شدگی و عنصر کادمیوم با



شکل ۳- نمودار جعبه ای نمایش عامل غنی شدگی در خاک

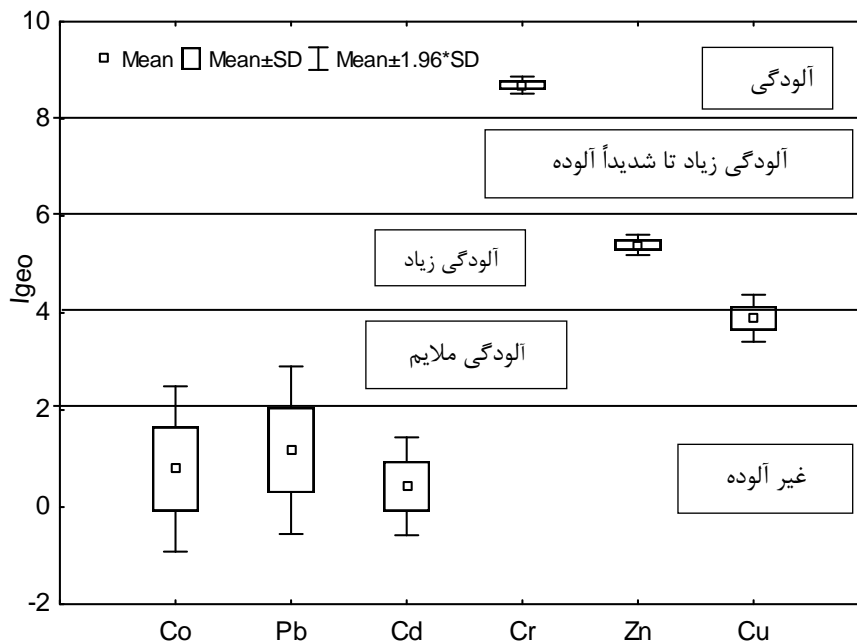
Figure 3. Box diagram of Enrichment Factor in soils.

شاخص انباشتگی زمین شناسی ( $I_{geo}$ )

شاخص انباشتگی زمین شناسی از رابطه (۲) محاسبه گردید. در این رابطه  $I_{geo}$  شاخص انباشتگی زمین شناسی،  $C_n$  غلظت عنصر مورد نظر و  $B_n$  غلظت استاندارد همان عنصر است. شاخص انباشتگی زمین شناسی به هفت دسته تقسیم می شود که شامل ( $I_{geo} \leq 0$ ) غیر آلوده، ( $0 < I_{geo} < 1$ ) غیر آلوده تا آلودگی ملایم، ( $1 < I_{geo} < 2$ ) با آلودگی ملایم، ( $2 < I_{geo} < 3$ ) آلودگی ملایم تا زیاد، ( $3 < I_{geo} < 4$ ) آلودگی زیاد، ( $4 < I_{geo} < 5$ ) آلودگی زیاد تا شدیداً آلوده و ( $5 \leq I_{geo}$ ) شدیداً آلوده می باشد. عنصر Co با قرارگیری در بازه کوچک تر از صفر تا

حدود ۲/۵، در برخی نقاط غیر آلوده تا آلودگی زیاد دارد (شکل ۴). Pb نیز با قرارگیری در بازه کوچک تر از صفر تا حدود ۳، در برخی نقاط غیر آلوده تا آلودگی زیاد می باشد. شاخص انباشتگی زمین شناسی Cd در بازه کمتر از صفر تا حدود ۲ است که غیر آلوده تا آلودگی ملایم ایجاد نموده است. عناصر Cr و Zn با دارا بودن شاخص بزرگ تر از ۵ در تمام نقاط، شدیداً آلوده می باشند. Cu نیز با شاخص ۳/۵ تا ۴/۵ آلودگی زیاد تا شدید در منطقه ایجاد کرده است.

$$I_{geo} = \log_2(C_n / 1.5B_n) \quad \text{رابطه (۲)}$$



شکل ۴- نمودار جعبه ای شاخص انباشتگی زمین شناسی فلزات در خاک

Figure 4. Box diagram of  $I_{geo}$  in soils.

## ماتریس همبستگی پیرسون

است. لازم به توضیح است ماتریس همبستگی می تواند انواع منشاء را مشخص کند اما نمی تواند در خصوص طبیعی بودن منشاء (منشاء ژئوژنیک یا لیتوژنیک) و منشاء غیر طبیعی (آنتروپوژنیک) یا عامل انسانی بحث نماید. از طرفی همبستگی عنصر Cd با سایر عناصر بسیار ضعیف (ضریب همبستگی کمتر از ۰/۲) و همبستگی عنصر Pb با عناصر Co، Cr، Zn و Cu عموماً متوسط (بین ۰/۴ تا ۰/۶) است. لذا Pb می تواند تقریباً هم منشاء با عناصر Co، Cr، Zn و Cu باشد. اما منشاء متفاوتی با سایر عناصر نشان می دهد که ممکن است حاکی از

براساس پارامترهای آماری از عناصر، برخی از عناصر ضریب چولگی و کشیدگی بالا نشان داده که با تبدیل لگاریتمی آنها که نرمال نبوده نرمال گردیدند و در تحلیل های آماری مورد استفاده قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل همبستگی برای عناصر مورد مطالعه در نمونه های خاک برای تعیین روابط چند عنصر و مشخص کردن انواع منشاء آلودگی قابل توجه است. در سطح اعتماد  $P \leq 0.01$ ، ارتباط معنی دار و همبستگی قوی بین عناصر Co، Cr، Zn و Cu وجود دارد (ضریب همبستگی بالای ۰/۸) (جدول ۲). همبستگی قوی این عناصر حاکی از یک منشاء واحد

منشاء انسانی و ناشی از فعالیت های نیروگاه سازند باشد.

جدول ۲- ماتریس همبستگی پیرسون عناصر در نمونه های خاک ( $p \geq 0.01$ )

Table 2. Pearson correlation matrix of heavy metals in soil data.

متغیرها	Co	Pb	Log Cd	LogCr	Log Zn	Log Cu
Co	۱/۰۰					
Pb	۰/۴۵	۱/۰۰				
Log Cd	۰/۱۰	۰/۰۷	۱/۰۰			
Log Cr	۰/۹۸	۰/۴۳	۰/۰۸	۱/۰۰		
Log Zn	۰/۹۸	۰/۴۳	۰/۰۶	۰/۹۶	۱/۰۰	
Log Cu	۰/۹۸	۰/۴۲	۰/۰۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۱/۰۰

عوامل دارند. در عامل اول فلزات Co، Cr، Zn و Cu، در عامل دوم عنصر Cd و در عامل سوم فلز Pb نسبت به سایر فلزات دارای تأثیر پذیری بیشتری بوده و حاکی سه منشاء برای آلودگی است (۱۵). فلزات Co، Cr، Zn و Cu با هم دارای منشاء واحدی بوده و فلز Cd و Pb نیز هر یک دارای منشاء جداگانه ای هستند (شکل ۵).

### آنالیز عاملی (Factor analysis)

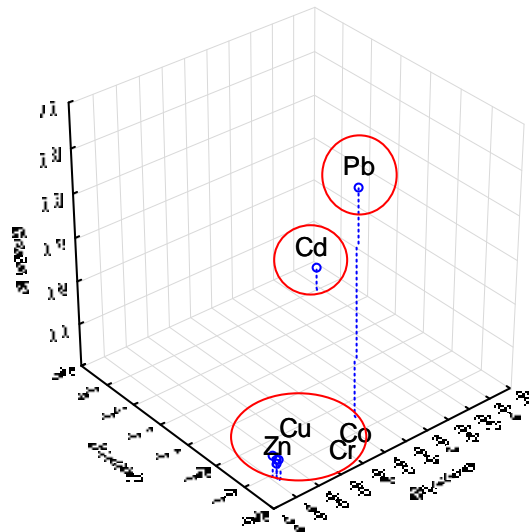
آنالیز عاملی با کاهش تعداد متغیرها، ساده سازی داده ها و در نتیجه تسهیل تجسم ارتباط معنی داری متغیرهای آلوده کننده را انجام می دهد (۱۳، ۱۴، ۱۵). با توجه به بردار ماتریس پنهان یک، در آنالیز عاملی، حداکثر سه عامل به دست آمد (جدول ۳). مقادیر بالاتر از ۰/۷ از هر متغیر تأثیر به سزایی در هر یک از

جدول ۳- عوامل منتج شده از مطالعات آنالیز عاملی داده های اولیه

Table 3: Factors in factor analysis of soil data.

متغیرها	عامل یک	عامل دو	عامل سه
Co	-۰/۹۹	-۰/۰۲	-۰/۰۹
Pb	-۰/۵۴	۰/۰۸	۰/۸۳
Log Cd	-۰/۱۲	۰/۹۸	-۰/۰۸
Log Cr	-۰/۹۸	-۰/۰۴	-۰/۱۱
Log Zn	-۰/۹۸	-۰/۰۵	-۰/۱۰
Log Cu	-۰/۹۸	-۰/۰۴	-۰/۱۳



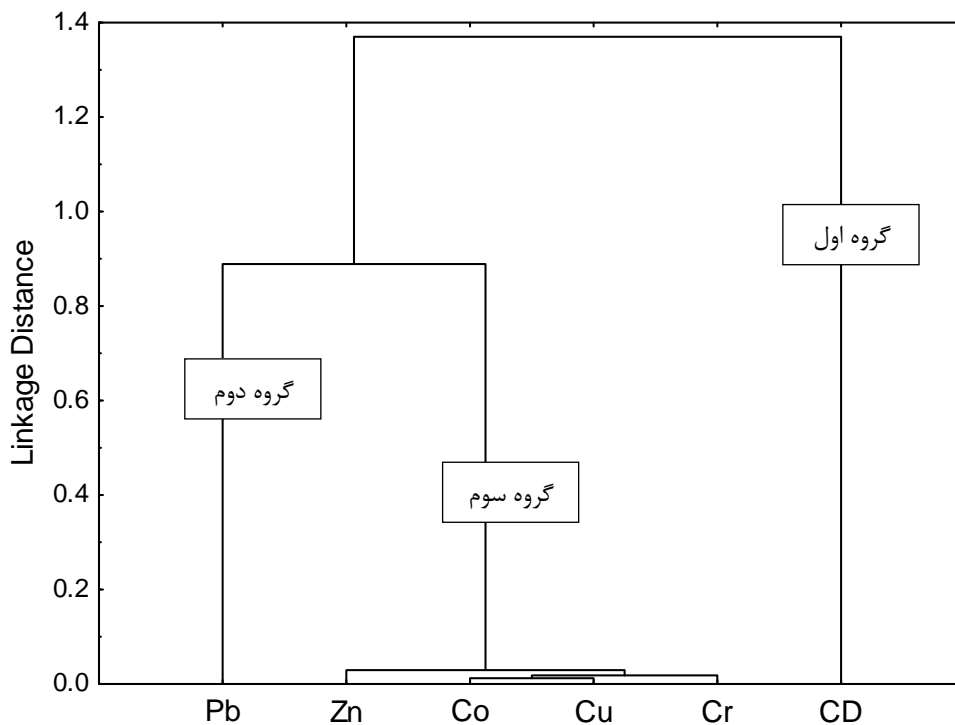


شکل ۵- آنالیز عاملی در فضای سه بعدی که سه منشأ از فلزات را نشان می دهد.  
Figure 5. Factor analysis in three dimension show three source of heavy metals.

ارتباط عناصر Pb و Cd با سایر عناصر بسیار کم است، لذا در گروه های منشایی جداگانه قرار می گیرند (گروه دوم و گروه سوم) (۱۵). نتایج گروه بندی سه گانه آنالیز خوشه ای منطبق بر نتایج آنالیز عاملی بوده که حاکی از سه منشأ است.

#### آنالیز خوشه ای (Cluster analysis)

در تایید آنالیز عاملی جهت مشخص کردن آلودگی، آنالیز خوشه ای نیز انجام گردید (شکل ۶). در مورد داده های اولیه، ارتباط میان عناصر Cu و Co نزدیک تر بوده و سپس به ترتیب این عناصر با Cr و Zn در یک دسته قرار می گیرند (گروه سوم).

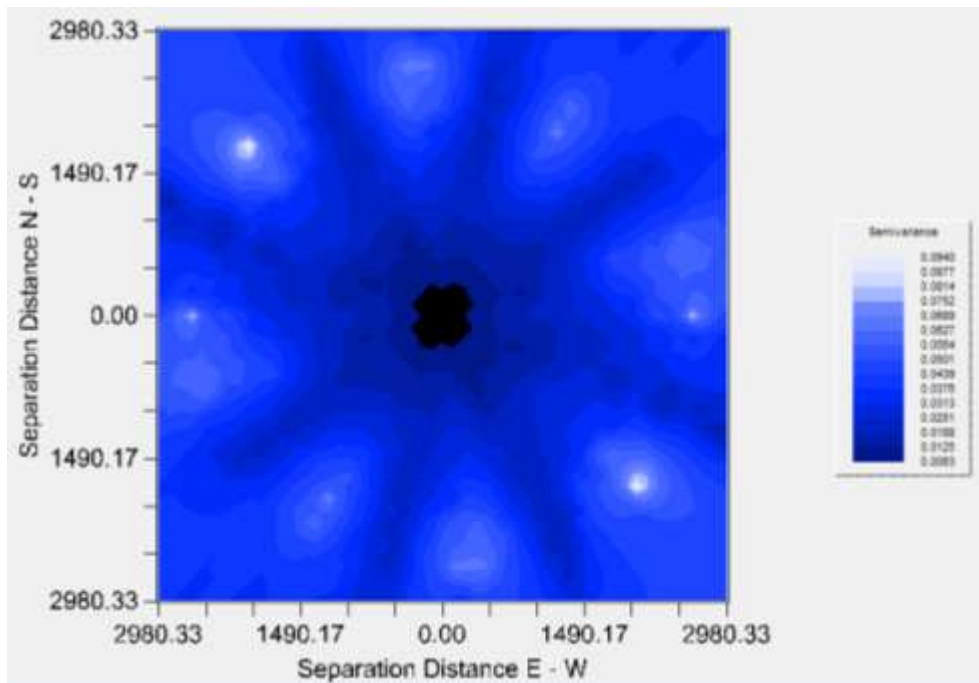


شکل ۶- نمودار خوشه ای برای ۶ متغیر  
Figure 6. Cluster diagram of six variables.

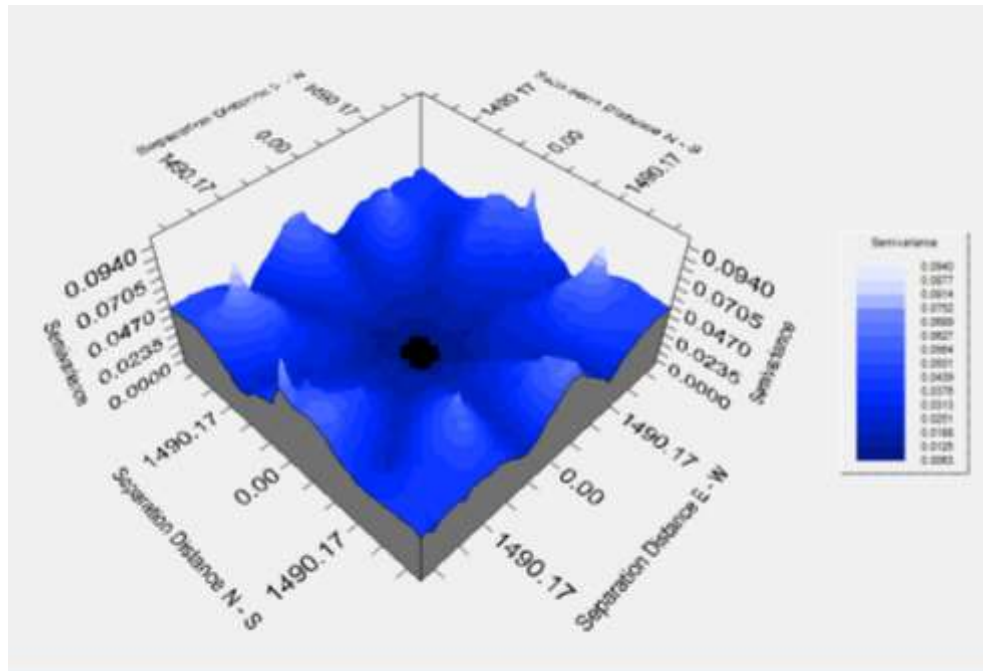
## زمین آمار

برای تعیین غلظت عناصر مورد مطالعه در تمام منطقه و نیز پهنه بندی پراکندگی عناصر در خاک از زمین آمار استفاده شد. روش زمین آماری مورد استفاده در این مطالعه، روش کریجینگ معمولی می باشد. برای استفاده از این روش، محاسبه و ترسیم نمودارهای سمی واریوگرام الزامی است (۱۵). برای مطالعات زمین آماری در این مطالعه از بسته نرم افزاری  $GS^+$  استفاده شده است. مدل سمی واریوگرام مناسب برای برازش داده های مورد مطالعه مدل کروی می باشد. با توجه به این که

بر اساس استاندارد پوسته زمین در جدول (۱) و همچنین عامل غنی شدگی و سایر شاخص ها مشخص گردید که تنها عنصر آلوده در خاک اطراف نیروگاه شازند اراک Cd می باشد، لذا تنها نمودار سطحی سمی واریوگرام داده های اولیه این عنصر به صورت دو بعدی و سه بعدی در این مقاله مورد تحلیل قرار گرفت (اشکال ۷ و ۸). فلز Cd در مرکز، واریانس شدیدی از خود نشان داده و در حواشی افزایش نامحسوسی دارد، ضمناً این افزایش تا حاشیه به طور یکنواخت ادامه می یابد.



شکل ۷- نمودار سمی واریوگرام دو بعدی لگاریتم Cd  
Figure 7. Semi-variogram of LogCd in two dimensions.

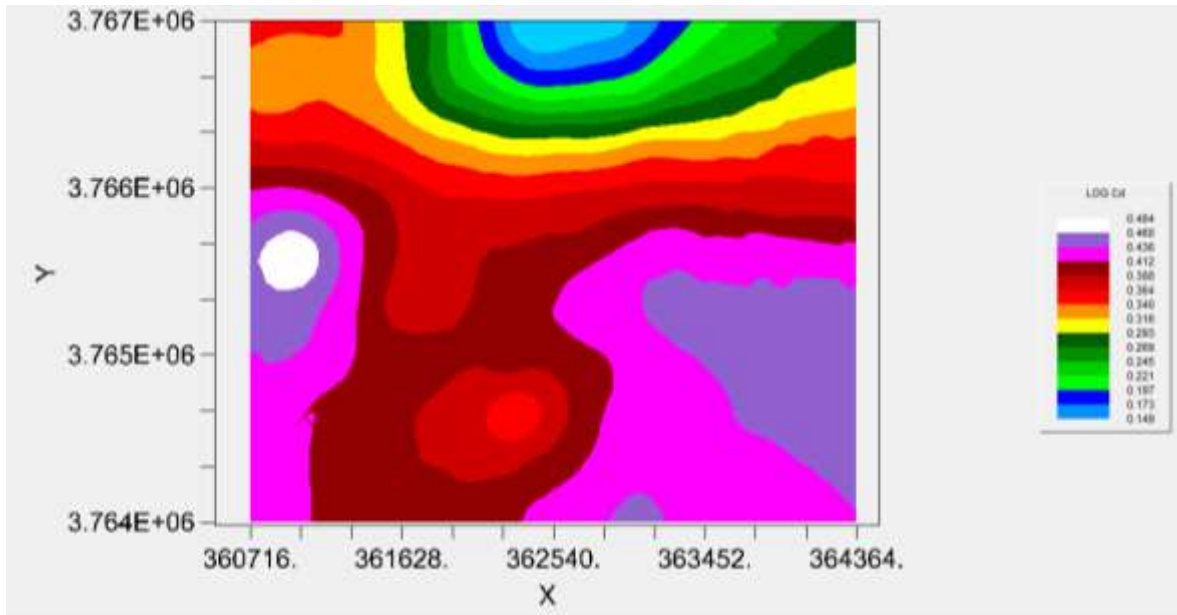


شکل ۸- نمودار سمی واریوگرام سه بعدی لگاریتم Cd

Figure 8. Semi-variogram of LogCd in three dimensions.

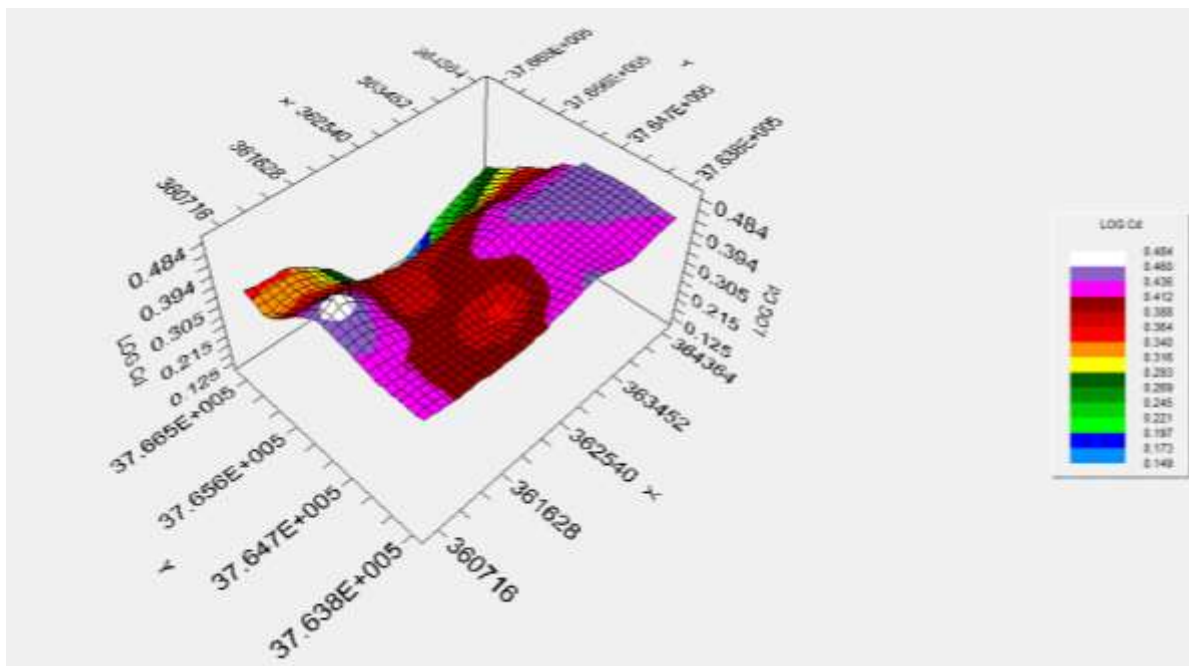
منطقه یکی دیگر از علل افزایش بیش از حد غلظت این عنصر در خاک منطقه مورد مطالعه می باشد. قرارگیری کارخانه تولید آسفالت، کارخانجات تولید رنگ و مواد شیمیایی و نیز Cd موجود در باتری های زباله های شهری و صنعتی همگی موجب ایجاد آلودگی خاک منطقه شده است. عامل غنی شدگی این فلز نیز حاکی از غنی شدگی Cd در خاک است. سایر عناصر با توجه به پایین بودن آنها نسبت به مقدار استاندارد پوسته و نیز با توجه به عامل غنی شدگی پایین جزء عناصر آلوده کننده محسوب نمی شوند.

بعد از محاسبه سمی واریوگرام، با استفاده از تخمین گر کریگینگ، نقشه پراکندگی غلظت Cd به صورت دوبعدی و سه بعدی در بسته نرم افزاری GS<sup>+</sup> ترسیم گردید. به همین منظور در روش بلوکی، بلوک های ۲×۲ متر مکعبی انتخاب گردید. در شکل های مورد نظر، Cd به سمت نیروگاه که در حاشیه جنوب غربی نقشه قرار دارد، حاکی از غلظت بالای این عنصر است (شکل ۹ و ۱۰). غلظت Cd در خاک به علل مختلفی افزایش می یابد. وجود غلظت های بالای طبیعی این فلز در خاک، به دلیل استفاده از کودهای فسفات در کشاورزی است که مقادیر Cd در آن بالاست. همچنین وجود Cd در نفت خام و استفاده آن توسط صنایع نفتی، نیروگاهی، پتروشیمی در



شکل ۹- نقشه دو بعدی کریگینگ پراکندگی Cd در منطقه مورد مطالعه

Figure 9. Kriging map of Cd distribution in two dimensions.



شکل ۱۰- نقشه سه بعدی کریگینگ پراکندگی Cd در منطقه مورد مطالعه

Figure 10. Kriging map of Cd distribution in three dimensions.

و Cu در محیط ایجاد آلودگی با نسبت های ملایم تا شدید قرار می گیرد که این نتیجه با نتایج عامل غنی شدگی و هم چنین مقایسه آن با استاندارد پوسته زمین در تناقض بوده و در نتیجه گیری نهایی دخالت داده نشد. درجه آلودگی منطقه مورد بررسی تحت تأثیر مقدار عنصر Cd بوده و تغییرات شاخص آلودگی سایر عناصر بسیار ناچیز می باشد. بررسی های آماری از

#### بحث و نتیجه گیری

عناصر Co, Pb, Cr, Zn و Cu با عامل غنی شدگی کمتر از ۲، تهی شدگی و عنصر کادمیوم با عامل غنی شدگی ۵-۲ دارای غنی شدگی ملایم و در برخی نقاط با عامل غنی شدگی در بازه ۲۰-۵ غنی شدگی بالا را نشان می دهد. اما در مورد شاخص انباشتگی زمین شناسی مشاهده می شود که Zn, Cr

بسیار کمتر از زمینه ژئوشیمیایی بوده و در خاک منطقه آلودگی ایجاد نکرده است و توزیع و منشأ آن‌ها عوامل طبیعی (عامل لیتوژنیک یا ژئوژنیک) از جمله سنگ منشأ با ترکیب اسلیت های آهکی و سنگ آهک متبلور دانه ریز و فرایند های موثر بر آن‌هاست.

نیروگاه شازند محل تبدیل انرژی سوخت (شیمیایی) به انرژی الکتریکی است. اساس کار نیروگاه های حرارتی بر تبدیل انرژی حرارتی حاصل از سوخت ذغال سنگ، نفت، مازوت، گازوییل، گاز یا انرژی حرارتی ناشی از فعل و انفعالات هسته‌ای به انرژی الکتریکی قرار دارد. با توجه به افزایش میزان سرانه تولید انرژی برق و افزایش جمعیت، نیاز به انرژی الکتریکی افزایش یافته که ۹۰ درصد آن با سوزاندن سوخت‌های فسیلی از جمله مازوت به دست خواهد آمد. در اثر سوزاندن مازوت در نیروگاه‌ها از جمله نیروگاه شازند، علاوه بر گازهای مختلف، عناصر سنگینی ایجاد می شود که با تجمع در خاک منجر به آلودگی آن می شوند(۸). این بررسی نشان داد در نیروگاه شازند نظیر نیروگاه-های دیگر چون سوخت فسیلی آن مازوت است، بدیهی است در اثر سوخت مازوت عناصر سنگین ایجاد شده که در جهت باد در خاک های منطقه توزیع شده است. اما به دلیل جوان بودن فعالیت‌های نیروگاه شازند، غنی سازی عناصر مورد نظر طبق بررسی به عمل آمده غیر از عنصر Cd کم می‌باشد. این بررسی نشان داد سه منشأ برای عناصر موجود در خاک منطقه قابل پیش بینی است. کادمیم به دلیل غنی شدگی در اکثر نمونه های منطقه دارای منشأ آنتروپوژنیک (فعالیت‌های انسان ساخت از جمله نیروگاه حرارتی با سوخت فسیلی) بوده و به نظر می‌رسد با توجه به پراکندگی آن در اطراف نیروگاه شازند، ناشی از فعالیت‌های نیروگاه باشد. سرب که در یک گروه و عناصر Zn, Co, Cu و Cr در گروه دیگری قرار می گیرند، عمدتاً دارای غنی سازی ضعیفی بوده و در شرایط حاضر آلودگی نشان نمی‌دهند. به عبارتی دو گروه اخیر دارای منشأ طبیعی هستند و غلظت آن‌ها کمتر از مقدار استاندارد پیش بینی شده پوسته زمین است. لازم به توضیح است چون مازوت دارای عناصر مختلف می باشد لذا این انتظار می رود در آینده با ادامه

جمله ماتریس همبستگی نشان داد که ضریب همبستگی عناصری چون Zn, Cr, Co و Cu نسبت به هم بالا بوده، اما همبستگی عناصر اخیر با Pb متوسط و با Cd بسیار ضعیف است. لذا می توان سه منشأ برای عناصر مورد مطالعه در نظر گرفت. عناصری چون Zn, Cr, Co و Cu دارای منشأ واحد و عناصر Pb و Cd نیز هر کدام منشأ جداگانه ای دارند. در بحث آنالیز عاملی، عامل اول فلزات Zn, Cr, Co و Cu، عامل دوم عنصر Cd و عامل سوم فلز Pb را نشان داد که حاکی از سه منشأ برای عناصر در منطقه است. نتایج آنالیز خوشه ای نیز مؤید نتایج آنالیز عاملی و ماتریس همبستگی است. با توجه به این که در تعیین منشأ عناصر، سه روش ماتریس همبستگی، آنالیز عاملی و آنالیز خوشه ای یک‌دیگر را تایید می کنند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که کلیه عناصر مورد مطالعه نمی‌توانند یک منشأ واحد یا طبیعی داشته باشند. طبعاً فرآیندهای دیگری نیز در خاک منطقه رخ داده است که سبب شده Pb و Cd خود را از زمینه عناصر Zn, Cr, Co و Cu تفکیک نمایند(۹). عامل اخیر می‌تواند ناشی از فرآیندهای غیر طبیعی و به عبارتی فعالیت های انسانی باشد. با توجه به اینکه صنایع بزرگی چون نیروگاه حرارتی شازند، پالایش‌گاه و پتروشیمی شازند و نیز صنایع خرد دیگری در منطقه وجود دارند، باید در افزایش عناصر Pb و خصوصاً Cd در خاک های منطقه نقش داشته باشند. به همین منظور نقشه پراکندگی عنصر سرب مورد توجه قرار گرفت. پراکندگی Cd نشان داد که عمده توزیع این عنصر مربوط به خاک های حواشی صنایع بزرگ از جمله نیروگاه حرارتی شازند است. از دیگر علل افزایش این فلز در خاک می توان به استفاده از کودهای فسفات در کشاورزی اشاره کرد که مقادیر Cd در آن بالا می باشد، (۳). با توجه به نقشه کریگینگ، آلودگی فلز Cd عمدتاً در بخش جنوب غربی و نزدیک به نیروگاه و صنایع مجاور تمایل دارد. از آن‌جا که Cd در مازوت ایران به طور طبیعی بالاست، بخشی از این آلودگی به دود انتقال یافته و توسط باد، باعث تجمع آن در خاک منطقه شده است؛ ضمن این که جهت باد نیز هم جهت با توزیع آلودگی است. غلظت سایر عناصر در خاک منطقه مورد مطالعه

6. Christoforidis, A., Stamatis, N., 2009. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece-Geoderma, Vol.151, pp. 257–263
7. Yaylali-Abanuz, G., 2011. Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey, Microchemical Journal, pp. 82-92
8. Soriano, A., Pallarés, S., Pardo, F., Vicente, A.B., Sanfeliu, T., Bech, J., 2012. Deposition of heavy metals from particulate settleable matter in soils of an industrialised area, Journal of Geochemical Exploration, Vol.113, pp. 36–44
9. Guill'en, M. T., Delgado, J., Albanese, S., Nieto, J. M., Lima, A., De Vivo, B., 2012. Heavy metals fractionation and multivariate statistical techniques to evaluate the environmental risk in soils of Huelva Township (SW Iberian Peninsula), Journal of Geochemical Exploration, Vol.119-120, pages.32-43
10. Testiati, E., Parinet, J., Massiani, C., Laffont-Schwob, I. Rabier, J., Pfeifer, H. R., Lenobled, V., Masotti, V., Prudent, P., 2013. Trace metal and metalloid contamination levels in soils and in two native plant species of a former industrial site: Evaluation of the phytostabilization potential, Journal of Hazardous Materials, Vol.248–249, pp. 131–141
11. Zandieh, F., Shayesteh Far, M.R., Rahimi Pour, G.R., 2012. Principle component analysis of closed geochemical data (case study of mineral area of Aijo, 31<sup>st</sup> Earth science conference. (In Persian)

فعالیت و مصرف سوخت مازوت، شاهد آلودگی خاک باشیم. بنابراین، نیروگاه سازند می‌تواند با تخلیه آلاینده‌های گازی، ذرات و پساب‌ها، باعث آلودگی در محل خود شود، لذا باید پیش بینی‌های لازم جهت جلوگیری و یا کاهش اثرات آلودگی صورت گیرد. لازم به توضیح است، آلودگی به عناصر سنگین در خاک نیروگاه‌هایی در ترکیه و اسپانیا که عمر طولانی از آنها می‌گذرد بالا بوده (۸۰۹) و این می‌تواند الگویی برای ما باشد که با تغییر نوع سوخت در نیروگاه سازند بتوانیم از آلودگی خاک در آینده ممانعت به عمل آوریم.

### Reference

1. Faizi, A.A., Mansori, M., 2006. Quality and quantity determination of environmental pollution in Shazand power plant, Power Technology Development Center, 20<sup>th</sup> *International Electricity Conference*. (In Persian)
2. Moradi Araghi, H., 2012. Using of statistical and GIS in determination of aried soil pollution, MSc thesis, Arak Islamic Azad University, Faculty of Natural Resources. In Persian
3. Khosravi Dehkordi, A., 1999. Spatial distribution of heavy metal in industrial, urban and agricultural soils of Esfahan, MSc thesis in environment, Industrial University of Esfahan. (In Persian)
4. Klein, D. H., Russell, P., 1973. Heavy Metals: Fallout Around a Power Plant, Environmental Science and Technology, Vol. 7, pp.357-358
5. Sollitto, D., Romic, M., Castrignanò, A., Romic, D., Bakic, H., 2010. Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics-Catena, Vol. 80, pp. 182–194

14. Kim, E., Hopke, P.K., Edgerton, E.S., 2004. Improving source identification of Atlanta aerosol using temperature resolved carbon fractions in positive matrix factorization, *Atmosphere Environment*, pp. 3349–3362
15. Mohamadi Vali Kandi, E., 2011. Evaluation of heavy metal environmental geochemistry in soils of Shazand thermal power plant, MSc thesis, Arak university of Technology, Faculty of Mining Department. (In Persian)
12. Pekey, H., Dogan, G., 2004. Application of positive matrix factorisation for the source apportionment of heavy metals in sediments: A comparison with a previous factor analysis study, *Microchemical Journal*, pp. 233-237
13. Romero, A., González, I., Fernández, I.M., Galán, E., 2013. Evaluation of trace element contamination changes in soils using a new normalization factor Application to the Guadiamar soils (SW Spain) affected by a mine spill in 1998, *Journal of Geochemical Exploration*, Vol.124, pp. 29–39