

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره یازده، بهمن ماه ۱۴۰۳ (۱۷۵-۱۵۹)

## سنجش بار آلودگی و تحلیل زمین آماری فلزات سنگین (سرب، وانادیوم، روی و نیکل) در خاک‌های اطراف نیروگاه شهیدرجایی

علی گودرزوندچگینی<sup>۱\*</sup>

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

ناصر عبادتی<sup>۲</sup>

بهروش خوش منش زاده<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** آلودگی خاک با فلزات سنگین، معضلی رو به گسترش است که به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات سوء فیزیولوژیکی آنها بر موجودات زنده و انسان، حتی در غلظت‌های کم، حائز اهمیت است. این تحقیق با هدف بررسی و پایش آلودگی خاک‌های اطراف نیروگاه شهیدرجایی به فلزات سنگین سرب، وانادیوم، روی و نیکل انجام گرفته است.

**روش بررسی:** پس از شناسایی مشخصات اراضی و خاک‌های اطراف نیروگاه به شعاع ۵ کیلومتر، ۶۳ نمونه خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی متری زمین در طول دوره یک‌ساله (۱۴۰۲) برداشت و با استفاده از روش پلاسمای القایی- اسپکترومتری (ICP-OES) آنالیز شد. سپس، شاخص‌های بار آلودگی محاسبه و با استفاده از روش‌های زمین آماری، روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در خاک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که وانادیوم دارای بیشترین شاخص توزیع نسبی ( $V > Zn > Ni > Pb$ ) است. همچنین، براساس ضریب همبستگی و نمودار سری زمانی، روند تغییرات نیکل نسبت به وانادیوم، سرب و روی صعودی بود که نشان دهنده افزایش بار آلودگی و خطر اکولوژیک بیشتر این عنصر است. بررسی از نظر شاخص زمین انباشتگی به ترتیب میانگین نیکل (۰/۹۳)، روی (۰/۱۹-)، وانادیوم (۱/۰۱-)، سرب (۱/۰۳-) که بار آلودگی درجه متوسط را نشان می‌دهند.

**بحث و نتیجه‌گیری:** به طور کلی ضریب بار آلودگی (PLI) برای سرب، وانادیوم، روی و نیکل به ترتیب برابر ۱/۶۵، ۱/۶۳، ۱/۶۱ و ۱/۵۰ به دست آمد و نشان داد که خاک‌های منطقه مورد مطالعه از نظر این فلزات در رده آلودگی متوسط قرار دارند. با این حال، مقایسه این نتایج با ذرات خروجی از دودکش نیروگاه، نشان دهنده تمرکز و غنی سازی خاک به این فلزات ناشی از فعالیت نیروگاه است. بنابراین، ضرورت

۱- دانشجوی دکتری آلودگی‌های محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی تهران غرب، تهران، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۲- گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، تهران، ایران.

۳- گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، تهران، ایران.

به کارگیری تمهیدات و مدیریت محیط‌زیستی و کنترل نوع سوخت نیروگاه به منظور کاهش آلودگی خاک به فلزات سنگین، امری اجتناب ناپذیر است.

**واژه‌های کلیدی:** فلزات سنگین، نیروگاه شهیدرجایی، بار آلودگی، شاخص‌های زمین‌آماري

## **Assessment of Pollution Load and Statistical Analysis of Heavy Metals (Pb,V,Zn and Ni) in Soils Surrounding the Shahid Rajaei Power Plant**

**Ali Goudarzvand chegini<sup>1\*</sup>**

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

**Naser Ebadati<sup>2</sup>**

**Behnoush Khoshmanesh Zadeh<sup>3</sup>**

Date of Acceptance: January 29, 2025

Date of Submission: May 1, 2024

### **Abstract**

**Background and Objective:** soil contamination with heavy metals is a growing problem that is important due to their indestructibility and adverse physiological effects on living organisms and humans, even in low concentrations. This research was conducted with the aim of investigating and monitoring soil contamination around Shahid Rajaei power plant with lead, vanadium, zinc and nickel heavy metals.

**Material and Methodology:** After identifying the characteristics of the lands and soils around the power plant with a radius of 5 km, 63 soil samples were taken from the depth of 0 to 20 cm and analyzed using the inductively coupled plasma-spectrometry (ICP-OES) method. Then, pollution load indices were calculated and using geostatistical methods, the trend of changes in the concentration of heavy metals in the soil was analyzed.

**Findings:** The results showed that vanadium had the highest relative distribution index ( $V > Zn > Ni > Pb$ ). Also, based on the correlation coefficient and the time series graph, the change trend of nickel compared to vanadium, lead and zinc was upward, which indicates the increase in the pollution load and the greater ecological risk of this element. Examination in terms of the index of accumulation of nickel (0.93), zinc (-0.19), vanadium (-1.01), lead (-1.03), which show the average pollution load.

**Discussion and conclusion:** In general, the pollution load factor (PLI) for lead, vanadium, zinc, and nickel was obtained as 1.65, 1.63, 1.61, and 1.50, respectively, which showed that the soils of the studied area are high in these metals. They are in the medium pollution category. However, the comparison of these results with the particles coming out of the power plant chimney shows the concentration and enrichment of the soil with these metals due to the power plant activity. Therefore, the need to apply measures and environmental management and control the type of power plant fuel in order to reduce soil pollution with heavy metals is inevitable.

**Keywords:** heavy metals, Shahid Rajaei power plant, pollution load, geostatistical indicators

---

1- Department of Environmental Science and Engineering, West Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *\*(Corresponding Author)*

2- Department of Geology, Eslamshahr branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Department of Environmental Science and Engineering, West Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

## مقدمه

شناسایی الگوی پراکنش فلزات سنگین در خاک به وسیله فرآیندهای خاک‌زاد و عوامل انسان‌زاد در اولویت مطالعات زیست‌محیطی کشورهای پیشرفته و در حال توسعه قرار دارد (۱). در اثر سوزاندن مازوت در نیروگاه‌ها، مقادیر زیادی از فلزات سنگین وارد جو شده که می‌توانند بر روی گیاهان و خاک نشست و موجب اثرات سوء و آلودگی خاک به فلزاتی مانند جیوه (Hg)، آرسنیک (As)، کادمیم (Cd)، سرب (Pb)، روی (Zn)، نیکل (Ni) و غیره شوند. اثرات زیان‌بار تجمع عناصر سنگین در خاک بر روی موجودات زنده مشخص گردیده و بارها موجب حوادث زیست‌محیطی شده‌اند. برخی از این اثرات عبارتند از: اثرات سمی روی نباتات و سپس انسان و اختلال فعالیت‌های بیولوژیک خاک می‌باشد (۲). در تحقیقی که با ۹۹ نمونه بر روی خاک‌های پایین و بالا دست نیروگاه رامین اهواز انجام شد نشان می‌دهد غلظت کادمیم، سرب و نیکل در اسفناج و خاک پایین دست نیروگاه به ترتیب ۱۷/۷۶، ۲۰/۸۹، ۴۳/۶۸، ۰/۰۹ و ۱/۰ mg/kg و در اسفناج و خاک بالا دست نیروگاه به ترتیب ۶/۸۱، ۱۷/۹۴، ۲۸/۳۲، ۰/۰۸ و ۰/۸ mg/kg می‌باشد که با توجه به حد استاندارد، غلظت کادمیم، نیکل و سرب در اسفناج بالاتر و در خاک پایین‌تر از حد استاندارد بوده است. غلظت هر سه فلز در تمامی نمونه‌های سبزی بالاتر از حد استاندارد بود. الگوی کلی غلظت فلزات در سبزیجات و خاک منطقه به صورت  $Ni > Pb > Cd$  می‌باشد (۳). در پژوهشی که بر روی خاک‌های اطراف نیروگاه شازند اراک انجام شده نشان می‌دهد که از بین عناصر سرب (Pb)، روی (Zn)، کروم (Cr)، کادمیم (Cd)، کبالت (Co) و مس (Cu)، خاک‌های منطقه تنها از نظر کادمیم (Cd) آلوده می‌باشد (۴). افزایش غلظت فلزات سنگین به ویژه در شهرک‌های صنعتی به فراوانی مشاهده می‌شود. در کشور ترکیه ناحیه صنعتی گبزه افزایش غلظت فلزات سنگین هم به علت فعالیت‌های صنعتی و هم به دلیل حمل و نقل و فعالیت‌های نیروگاهی رخ داده است. بنابراین خاک‌های سطحی این منطقه با زیاد شدن غلظت فلزات سنگین مانند جیوه، سرب و مس تحت تاثیر مستقیم این نیروگاه قرار دارد (۵). در کشور اسپانیا نیز پژوهش مشابهی انجام

گرفته که نشان دهنده افزایش غلظت عناصر نیکل، کادمیم، بیسموت و سرب به فعالیت‌های نیروگاهی نسبت داده شده است (۶). تجمع آلودگی ناشی از فعالیت نیروگاه شهید سلیمی شهر نکا و مدل‌سازی ذرات معلق فلزات سنگین خروجی از دودکش نیروگاه با استفاده از مدل AERMOD مورد مطالعه قرار گرفته که نتایج آن نشان می‌دهد که بار آلودگی در اثر باد غالب در ارتفاعات جنوب شرقی، جنوب نیروگاه و در مجاورت شهرهای بهشهر و نکا بیشتر می‌باشد (۷). در پژوهشی که بر روی خاک‌های شهرستان نهاوند انجام شده، نتایج شاخص جامع فاکتور آلودگی نشان داد ۶۴ درصد از داده‌ها در کلاس آلودگی کم و ۳۶ درصد از داده‌ها در کلاس آلودگی متوسط قرار داشتند. تجزیه و تحلیل نقشه پهنه‌بندی شاخص جامع فاکتور آلودگی نشان داد که عناصر کروم، مس، نیکل و روی منشأ زمین شناسی و کشاورزی دارند. در واقع این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی منجر به تجمع هر چه بیشتر این فلزات در خاک شده است (۸).

بحث آلاینده‌های نیروگاه‌ها شامل گازهای نیتروژن اکسید (Nox) و گوگرد دی اکسید (SO<sub>2</sub>)، ذرات معلق و غیره می‌باشد که در این پژوهش به بررسی ذرات معلق ته‌نشین شده در خاک‌های اطراف این نیروگاه می‌پردازد، که بحث آلاینده‌های این نیروگاه به عنوان یکی از مسایل مهم زیست‌محیطی و اجتماعی در سطح استان قزوین مطرح می‌باشد. اما با توجه به قرارگیری این نیروگاه در نزدیکی شهرک صنعتی کاسپین یک و کارخانجات تولیدی صنعتی دیگر به صورت غیر متمرکز به تنهایی منشأ آلودگی این منطقه نمی‌باشد. البته از نظر اجتماعی یکی از مهم‌ترین منابع آلاینده محسوب می‌شود (۹).

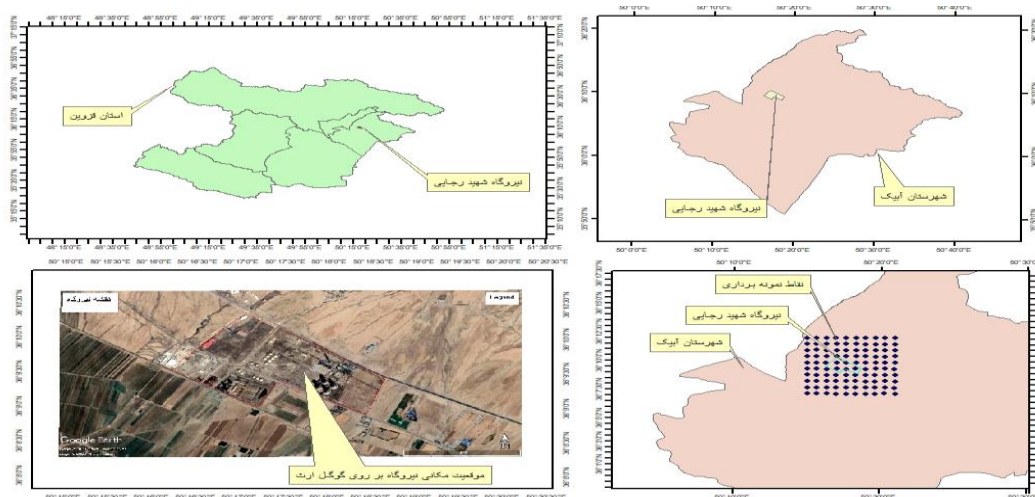
هدف اصلی از این پژوهش، ارزیابی میزان غلظت فلزات سنگین سرب، وانادیوم، روی و نیکل در خاک‌های اطراف نیروگاه شهیدرجایی توسط مطالعات آماری و شاخص‌های آلودگی می‌باشد. از سویی دیگر با توجه به قرارگیری این نیروگاه در نزدیکی شهرک صنعتی کاسپین یک و شهرهای مهرگان،

نیروگاه شهیدرجایی قزوین در ۲۵ کیلومتر جنوب-غرب قزوین-کرج قرار دارد. مساحت آن ۲۹۰ هکتار می‌باشد و فاصله آن تا شهر قزوین ۲۵ کیلومتر و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۸۱ متر است. در این نیروگاه هم نوع سیکل ترکیبی و هم نوع بخاری فعالیت می‌کند (۱۰).

محمدیه، آبیک و قزوین و نیز روستاهای پرجمعیت، به عنوان یکی از آلاینده‌های احتمالی مهم این منطقه مطرح می‌گردد.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان قزوین

Figure 1. Location of the studied area in Qazvin province

دمای آزمایشگاه نگهداری شده و بقایای ریشه و مواد آلی و کلوخه‌ها از آن جدا شدند. نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از مش پلی اتیلنی ۲ میلی‌متری عبور داده شده و به وزن ۲۰۰ گرم تهیه شدند (۱۱). سپس برای تعیین غلظت کل فلزات، توسط دستگاه طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی با استفاده از روش هضم چهار اسیدی مشتمل بر اسید هیدروفلوروئیک، اسید پرکلریک، اسید نیتریک و اسید هیدروکلریک، نمونه‌های خاک هضم شدند. برای آماده‌سازی محلول‌های مورد نیاز از آب مقطر استفاده شد. و تمامی نمونه‌ها در محفظه Hot Box در دمایی ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار ساعت قرار و عملیات هضم شدن کامل نمونه‌ها انجام گرفت. پس از آن نمونه‌ها در دمای محیط خنک شده و با آب مقطر به حجم می‌رسند. تا آماده قرائت دستگاهی به کمک دستگاه ICP-OES<sup>۲</sup> و ICP-MS<sup>۳</sup> به مدل Model ICP-

### طرح نمونه‌برداری

برای ارزیابی غلظت فلزات سنگین سرب، وانادیوم، روی و نیکل در خاک‌های اطراف نیروگاه شهیدرجایی و مشخص نمودن مختصات نقاط نمونه‌برداری تا شعاع ۵ کیلومتر توسط دستگاه GPS<sup>۱</sup> انجام شده است. به این منظور در تعداد ۶۳ ایستگاه نمونه‌برداری خاک از عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری از منطقه به مرکزیت دودکش نیروگاه به شعاع ۵ کیلومتر در طول دوره یک‌ساله (۱۴۰۲) انجام شد. شکل ۱ و ۲ موقعیت نقاط نمونه‌برداری، روش شبکه بندی و نمودار گلباد را در محدوده نیروگاه نشان می‌دهد.

### آماده‌سازی نمونه‌ها و روش آنالیز

در ابتدا، فرایند آماده‌سازی خاک جهت به حداقل رسانیدن سایز و همگن‌سازی نمونه‌ها با تابعیت از پروتکل‌های استاندارد نمونه‌برداری و رعایت اصل پرهیز از آلودگی انجام پذیرفت. نمونه پس از ورود به آزمایشگاه در مجاورت هوا خشک، در

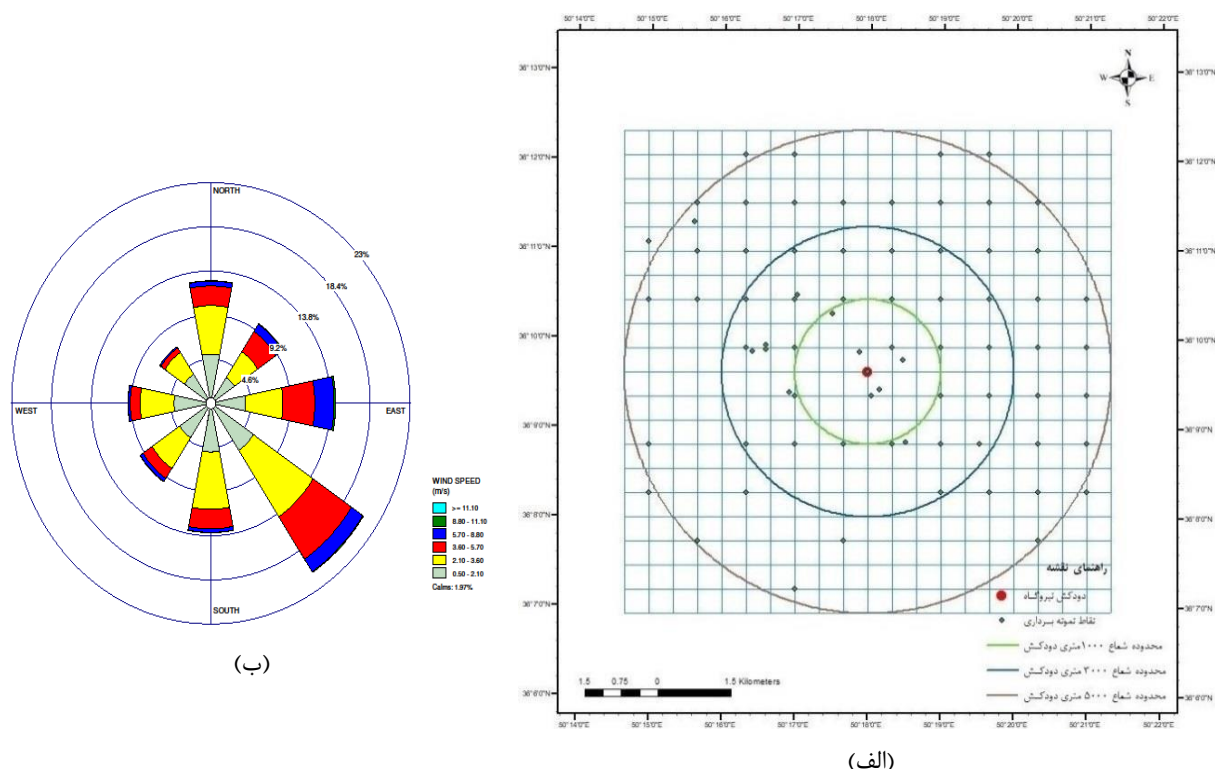
1- Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

2- Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

1- Global Positioning System

MS Agilent series 4500 شود، سپس اندازه‌گیری غلظت

فلزات سنگین به وسیله دستگاه‌ها، تبدیل و پردازش شده‌اند.



شکل ۲- روش شبکه‌بندی و مکان‌های نمونه‌برداری (الف) و نمودار گلباد منطقه (ب)

Figure 2. Networking method and sampling locations (a) and Golbad diagram of the region (b)

### تجزیه و تحلیل اطلاعات آماری

در این پژوهش جهت پردازش آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS به منظور تعیین و محاسبه پارامترهای آمار توصیفی شامل ماتریس همبستگی، ماتریس‌های کوواریانس و همبستگی ضد تصویر، نمودار سری زمانی و نمودار چولگی و هیستوگرام فراوانی فلزات سنگین مورد استفاده شده است.

### تعیین شاخص‌های آلودگی

#### فاکتور آلودگی<sup>۱</sup>

فاکتور آلودگی، بیانگر میزان رسوبات به عناصر سنگین است و از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه (sample) برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه (background) بدست می‌آید (۱۲). در رابطه ۱ فاکتور آلودگی نمونه (C sample) غلظت عنصر مورد بررسی و زمینه (C

background) غلظت عنصر زمینه‌ای از خاک‌های غیر آلوده جهانی مورد استفاده قرار گرفته و ضریب آلودگی بر اساس روش هاکنسون (۱۹۸۰) و بر پایه رابطه (۱) محاسبه می‌گردد.

$$CF = \frac{C_{\text{sample}}}{C_{\text{background}}} \quad (1)$$

این شاخص دارای ۴ گروه است که از پائین‌ترین آلودگی تا به بالاترین آلودگی طبق جدول ۱ طبقه‌بندی شده است.

#### ضریب زمین انباشتگی<sup>۲</sup>

ضریب زمین انباشتگی به عنوان یکی از مولفه‌های مورد استفاده در ارزیابی فلزات سنگین و پارامترهای آلودگی توسط مولر در سال ۱۹۷۱ میلادی ارائه شد است (۱۴). شاخص یاد شده به روش رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

احتمالی زمینه به علت تاثیرات زمین شناختی اعمال می شود (۱۵). این شاخص طبق جدول ۲ به ۷ گروه طبقه بندی شده است (۱۶).

$$I_{geo} = \log_2(C_n / 1.5 B_n) \quad (2)$$

در شاخص زمین انباشت ( $C_n$ ) غلظت عنصر در نمونه (sample)، ( $B_n$ ) غلظت همان عنصر در نمونه زمینه (background) است. در این شاخص ضریب ۱/۵ برای حذف

جدول ۱- رده بندی ضریب آلودگی بر اساس هاکنسون (۱۹۸۰) (۱۳)

Table 1. Classification of the pollution coefficient based on Hakanson (1980) (13)

| مقدار آلودگی خاک   | پائین     | متوسط      | قابل توجه  | بالا     |
|--------------------|-----------|------------|------------|----------|
| فاکتور آلودگی (CF) | کمتر از ۱ | بین ۱ تا ۳ | بین ۳ تا ۶ | بیش از ۶ |

جدول ۲- طبقه بندی شاخص زمین انباشتگی بر اساس مولر ۱۹۷۱ (۱۶)

Table 2. The class of the old class based on Mueller 1971 (16)

| درجه آلودگی        | بدون آلودگی | بدون آلودگی تا متوسط | متوسط | متوسط تا شدید | شدید  | شدید تا بسیار شدید | بسیار شدید |
|--------------------|-------------|----------------------|-------|---------------|-------|--------------------|------------|
| ضریب زمین انباشتگی | $\leq 0$    | ۰ - ۱                | ۱ - ۲ | ۲ - ۳         | ۳ - ۴ | ۴ - ۵              | $\geq 5$   |

میانگین استانداردهای جهانی بهره می گیرند (جدول ۳). در این راستا روش ها و عوامل مختلفی در ارزیابی آلودگی ها ارائه شده است. از آن جمله می توان به ضریب آلودگی، ضریب بار آلودگی و شاخص زمین انباشتگی اشاره نمود. در این پژوهش نشان می دهد غلظت عناصر وانادیوم، روی، نیکل دارای میانگین بالاتر از خاک جهانی و غلظت عنصر سرب کمتر از خاک های جهانی می باشند (جدول ۳). با توجه به تغییرات غلظت عناصر در خاک منطقه، همچنین ترکیبات موجود در سوخت های مصرفی نیروگاه ها، فلزات سرب، وانادیوم، روی و نیکل برای ارزیابی انتخاب شد. در جدول ۴ نتایج حاصل از آنالیز به روش دستگاهی ICP-OES برای ۶۳ نمونه خاک برداشت شده از محدوده نیروگاه ارائه شده که شامل فلزات سنگین سرب، وانادیوم، روی و نیکل می باشند. با مقایسه غلظت های به دست آمده از عناصر جدول ۳ و ۴ می توان مشاهده کرد که روند شاخص توزیع نسبی فلزات سنگین در خاک های اطراف نیروگاه متغیر بوده و عنصر وانادیوم بالاترین و عنصر سرب پائین ترین غلظت را در نمونه های خاک نشان می دهد.

### شاخص بار آلودگی<sup>۱</sup>

برای ارزیابی و برآورد درجه آلودگی خاک معمولاً از شاخص بار آلودگی استفاده می شود. این شاخص براساس ضریب غلظت هر عنصر در خاک محاسبه می شود و با تقسیم غلظت هر عنصر در خاک به غلظت آن در نمونه مرجع ضریب آلودگی به دست می آید (۱۷). شاخص بار آلودگی برای مجموعه ای از فلزات آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت همه فلزات مورد نظر محاسبه می شود. اگر غلظت شاخص بار آلودگی به عدد یک نزدیک باشد، نشان دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه است در حالی که شاخص بار آلودگی بالاتر از یک آلودگی خاک را نشان می دهد (۱۸ و ۱۹). شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در منطقه از رابطه ۳ بدست می آید (۲۰).

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 * CF_2 * ... * CF_n} \quad (3)$$

### بحث و نتایج

به منظور تعیین میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین، معمولاً از مقایسه غلظت فلزات سنگین خاک محدوده مورد مطالعه با

جدول ۳- مقایسه نتایج غلظت فلزات سنگین خاک محدوده مورد مطالعه با میانگین خاک جهانی (بر حسب میلی گرم در کیلوگرم)

Table 3. Comparison of heavy metal concentration results of the soil of the study area with the global soil average (mg/kg)

| فلزات سنگین مورد بررسی و میانگین جهانی     | نیکل | سرب | روی | وانادیوم |
|--------------------------------------------|------|-----|-----|----------|
| خاک جهانی (۲۱)                             | ۱۸   | ۲۵  | ۶۲  | ۶۰       |
| میانگین غلظت فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه | ۵۹   | ۱۲  | ۹۳  | ۱۰۵      |

جدول ۴- نتایج آنالیز ICP-OES نمونه خاک‌های اطراف نیروگاه (بر حسب میلی گرم در کیلوگرم)

Table 4. Results of ICP-OES analysis of soil samples around the power plant (mg/kg)

| ایستگاه | X      | Y       | سرب | روی | وانادیوم | استاندارد | X      | Y       | نیکل | کروم | روی | وانادیوم |
|---------|--------|---------|-----|-----|----------|-----------|--------|---------|------|------|-----|----------|
| ۱       | ۴۳۵۴۹۸ | ۳۹۹۷۴۶۹ | ۵۶  | ۸۹  | ۸۸       | ۳۳        | ۴۳۳۴۹۸ | ۴۰۰۳۴۶۹ | ۵۲   | ۸    | ۹۸  | ۹۳       |
| ۲       | ۴۳۳۴۹۸ | ۳۹۹۸۴۶۹ | ۵۲  | ۹۸  | ۸۷       | ۳۴        | ۴۳۴۴۹۸ | ۴۰۰۳۴۶۹ | ۴۸   | ۸    | ۱۱۳ | ۷۳       |
| ۳       | ۴۳۶۴۹۸ | ۳۹۹۸۴۶۹ | ۵۶  | ۸۱  | ۹۴       | ۳۵        | ۴۳۵۴۹۸ | ۴۰۰۳۴۶۹ | ۷۲   | ۸    | ۱۰۲ | ۸۴       |
| ۴       | ۴۴۰۴۹۸ | ۳۹۹۸۴۶۹ | ۵۱  | ۷۲  | ۱۲۱      | ۳۶        | ۴۳۶۴۹۸ | ۴۰۰۳۴۶۹ | ۶۷   | ۹    | ۷۷  | ۹۳       |
| ۵       | ۴۳۲۴۹۸ | ۳۹۹۹۴۶۹ | ۵۳  | ۹   | ۷۳       | ۳۷        | ۴۳۷۴۹۸ | ۴۰۰۳۴۶۹ | ۶۰   | ۸    | ۸۲  | ۸۹       |
| ۶       | ۴۳۴۴۹۸ | ۳۹۹۹۴۶۹ | ۵۳  | ۱۷  | ۲۱۰      | ۳۸        | ۴۳۸۴۹۸ | ۴۰۰۳۴۶۹ | ۵۰   | ۷    | ۱۰۴ | ۸۰       |
| ۷       | ۴۲۸۴۹۸ | ۳۹۹۹۴۶۹ | ۵۱  | ۷   | ۸۸       | ۳۹        | ۴۳۹۴۹۸ | ۴۰۰۳۴۶۹ | ۵۹   | ۸    | ۱۴۲ | ۹۲       |
| ۸       | ۴۳۹۴۹۸ | ۳۹۹۹۴۶۹ | ۵۳  | ۸   | ۸۱       | ۴۰        | ۴۴۰۴۹۸ | ۴۰۰۳۴۶۹ | ۵۰   | ۸    | ۲۳۷ | ۱۲۹      |
| ۹       | ۴۴۰۴۹۸ | ۳۹۹۹۴۶۹ | ۵۲  | ۸   | ۹۱       | ۴۱        | ۴۴۱۴۹۸ | ۴۰۰۳۴۶۹ | ۶۹   | ۱۹   | ۱۰۰ | ۹۵       |
| ۱۰      | ۴۴۱۴۹۸ | ۳۹۹۹۴۶۹ | ۵۸  | ۱۹  | ۱۰۲      | ۴۲        | ۴۳۲۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۵۱   | ۷    | ۱۰۱ | ۶۷       |
| ۱۱      | ۴۳۲۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۵۵  | ۳۳  | ۹۷       | ۴۳        | ۴۳۴۳۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۵۷   | ۸    | ۱۰۸ | ۸۱       |
| ۱۲      | ۴۳۴۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۵۳  | ۸   | ۹۱       | ۴۴        | ۴۳۴۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۴۷   | ۷    | ۱۱۰ | ۶۸       |
| ۱۳      | ۴۳۵۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۵۸  | ۹   | ۸۸       | ۴۵        | ۴۳۵۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۷۷   | ۱۸   | ۶۶  | ۱۰۴      |
| ۱۴      | ۴۳۶۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۶۰  | ۸   | ۸۶       | ۴۶        | ۴۳۶۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۷۴   | ۹    | ۵۹  | ۱۱۲      |
| ۱۵      | ۴۳۷۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۵۴  | ۸   | ۹۰       | ۴۷        | ۴۳۷۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۴۷   | ۷    | ۱۲۷ | ۷۸       |
| ۱۶      | ۴۳۸۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۵۵  | ۷   | ۱۱۲      | ۴۸        | ۴۳۸۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۵۴   | ۷    | ۱۴۴ | ۹۲       |
| ۱۷      | ۴۳۹۲۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۵۹  | ۸   | ۱۷۱      | ۴۹        | ۴۳۹۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۴۱   | ۷    | ۱۲۸ | ۷۲       |
| ۱۸      | ۴۴۰۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۷۴  | ۲۶  | ۹۵       | ۵۰        | ۴۴۰۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۵۸   | ۸    | ۷۹  | ۸۰       |
| ۱۹      | ۴۴۱۴۹۸ | ۴۰۰۴۴۶۹ | ۷۵  | ۱۸  | ۷۹       | ۵۱        | ۴۳۳۴۹۸ | ۴۰۰۵۴۶۹ | ۵۹   | ۹    | ۱۱۵ | ۸۳       |
| ۲۰      | ۴۳۵۴۹۸ | ۴۰۰۱۴۶۹ | ۵۹  | ۸   | ۷۰       | ۵۲        | ۴۳۴۴۹۸ | ۴۰۰۵۴۶۹ | ۶۳   | ۲۸   | ۱۳۴ | ۱۱۴      |
| ۲۱      | ۴۳۸۴۹۸ | ۴۰۰۱۴۶۹ | ۵۴  | ۸   | ۱۱۴      | ۵۳        | ۴۳۵۴۹۸ | ۴۰۰۵۴۶۹ | ۷۸   | ۲۰   | ۹۰  | ۱۱۶      |
| ۲۲      | ۴۳۹۴۹۸ | ۴۰۰۱۴۶۹ | ۵۹  | ۸   | ۱۳۴      | ۵۴        | ۴۳۶۴۹۸ | ۴۰۰۵۴۶۹ | ۳۶   | ۸    | ۶۸  | ۷۳       |
| ۲۳      | ۴۴۰۴۹۸ | ۴۰۰۱۴۶۹ | ۵۳  | ۷   | ۷۵       | ۵۵        | ۴۳۷۴۹۸ | ۴۰۰۵۴۶۹ | ۶۱   | ۱۷   | ۸۲  | ۷۶       |

|     |     |    |    |         |        |         |     |     |    |    |         |        |    |
|-----|-----|----|----|---------|--------|---------|-----|-----|----|----|---------|--------|----|
| ۱۰۷ | ۸۲  | ۱۷ | ۸۸ | ۴۰۰۵۴۶۹ | ۴۳۸۴۹۸ | ۵۶      | ۸۲  | ۱۰۰ | ۱۸ | ۸۱ | ۴۰۰۱۴۶۹ | ۴۴۱۴۹۸ | ۲۴ |
| ۷۶  | ۷۰  | ۹  | ۵۹ | ۴۰۰۵۴۶۹ | ۴۳۹۴۹۸ | ۵۷      | ۷۶  | ۷۵  | ۹  | ۶۱ | ۴۰۰۲۴۶۹ | ۴۳۴۴۹۸ | ۲۵ |
| ۸۸  | ۱۱۰ | ۱۷ | ۴۷ | ۴۰۰۵۴۶۹ | ۴۴۰۴۹۸ | ۵۸      | ۱۱۷ | ۷۹  | ۸  | ۴۶ | ۴۰۰۲۴۶۹ | ۴۳۵۴۹۸ | ۲۶ |
| ۷۲  | ۱۰۹ | ۸  | ۵۹ | ۴۰۰۶۴۶۹ | ۴۳۴۴۹۸ | ۵۹      | ۱۲۷ | ۹۴  | ۴۲ | ۵۳ | ۴۰۰۲۴۶۹ | ۴۳۷۴۹۸ | ۲۷ |
| ۱۰۱ | ۸۰  | ۲۰ | ۷۷ | ۴۰۰۶۴۶۹ | ۴۳۵۴۹۸ | ۶۰      | ۱۵۰ | ۸۹  | ۸  | ۶۴ | ۴۰۰۲۴۶۹ | ۴۳۸۴۹۸ | ۲۸ |
| ۸۰  | ۷۸  | ۸  | ۵۳ | ۴۰۰۶۴۶۹ | ۴۳۸۴۹۸ | ۶۱      | ۲۰۴ | ۱۲۴ | ۸  | ۶۱ | ۴۰۰۲۴۶۹ | ۴۳۹۴۹۸ | ۲۹ |
| ۸۰  | ۱۲۰ | ۸  | ۵۹ | ۴۰۰۶۴۶۹ | ۴۳۹۴۹۸ | ۶۲      | ۱۲۵ | ۹۸  | ۸  | ۶۶ | ۴۰۰۲۴۶۹ | ۴۴۰۴۹۸ | ۳۰ |
| ۷۸  | ۱۰۰ | ۷  | ۵۳ | ۴۰۰۳۱۷۸ | ۴۳۶۲۶۸ | ۶۳      | ۹۳  | ۹۶  | ۲۱ | ۵۴ | ۴۰۰۲۴۶۹ | ۴۴۱۴۹۸ | ۳۱ |
| ۱۰۵ | ۹۳  | ۱۲ | ۵۹ | -       | -      | میانگین | ۸۳  | ۹۶  | ۲۱ | ۷۴ | ۴۰۰۳۴۶۹ | ۴۳۲۴۹۸ | ۳۲ |

## جدول ۵- نتایج به دست آمده برای ضریب آلودگی و ضریب زمین انباشتی

Table 5. Results obtained for the pollution coefficient and the land accumulation coefficient

| واپادیوم | روی   | سرب   | نیکل | مقادیر پارامترهای آماری | شاخص                        |
|----------|-------|-------|------|-------------------------|-----------------------------|
| ۱/۳۸     | ۱/۲۳  | ۱/۲۵  | ۱/۰۵ | میانگین                 | ضریب آلودگی (CF)            |
| ۰/۷۷     | ۰/۸۹  | ۰/۷۷  | ۰/۶۵ | حداقل                   |                             |
| ۳/۱۱     | ۲/۸۰  | ۴/۶۶  | ۱/۶۰ | حداکثر                  |                             |
| ۱/۲۸     | ۱/۱۸  | ۰/۸۸  | ۱/۰۳ | میان                    |                             |
| ۰/۴۲     | ۰/۲۸  | ۰/۷۸  | ۰/۱۸ | انحراف معیار            |                             |
| ۱/۷۱     | ۲/۹۶  | ۲/۳۵  | ۰/۷۵ | چولگی                   |                             |
| ۴/۰۴     | ۱۴/۲۴ | ۵/۹۷  | ۰/۷۵ | کشیدگی                  |                             |
| -۱/۰۱    | -۰/۱۹ | -۱/۰۳ | ۰/۹۳ | میانگین                 | ضریب زمین<br>انباشتی (Igeo) |
| -۱/۷۸    | -۰/۶۶ | -۱/۵۹ | ۰/۲۶ | حداقل                   |                             |
| ۰/۲۲     | ۱/۰۰  | ۱/۰۰  | ۱/۵۵ | حداکثر                  |                             |
| -۱/۰۵    | -۰/۲۲ | -۱/۳۹ | ۰/۹۲ | میان                    |                             |
| ۰/۴۰     | ۰/۲۸  | ۰/۶۶  | ۰/۲۴ | انحراف معیار            |                             |
| ۰/۷۴     | ۱/۳۱  | ۱/۳۲  | ۰/۲۴ | چولگی                   |                             |
| ۰/۷۸     | ۳/۸۸  | ۰/۵۷  | ۰/۶۰ | کشیدگی                  |                             |

وانادیوم و سرب در منطقه آلودگی در رده قابل توجه و برای نیکل و روی در رده آلودگی متوسط را نشان داده است. همان گونه که ملاحظه می شود، میانگین ضریب آلودگی غلظت عناصر نیکل، وانادیوم، روی و سرب در منطقه بر اساس جدول ۵ و مقایسه با جدول ۱ آلودگی آنها در رده متوسط منطقه را نشان داد.

حداکثر غلظت ضریب زمین انباشتی عناصر نیکل، سرب و روی در منطقه بر اساس نتایج جدول ۲ و ۵ آلودگی آنها در رده متوسط و برای عنصر وانادیوم بدون آلودگی را نشان می دهند. میانگین ضریب زمین انباشتی عناصر نیکل، سرب، وانادیوم و روی در منطقه در رده بدون آلودگی قرار می گیرد. همچنین ضریب آلودگی محاسبه شده برای حداکثر ضریب آلودگی فلزات

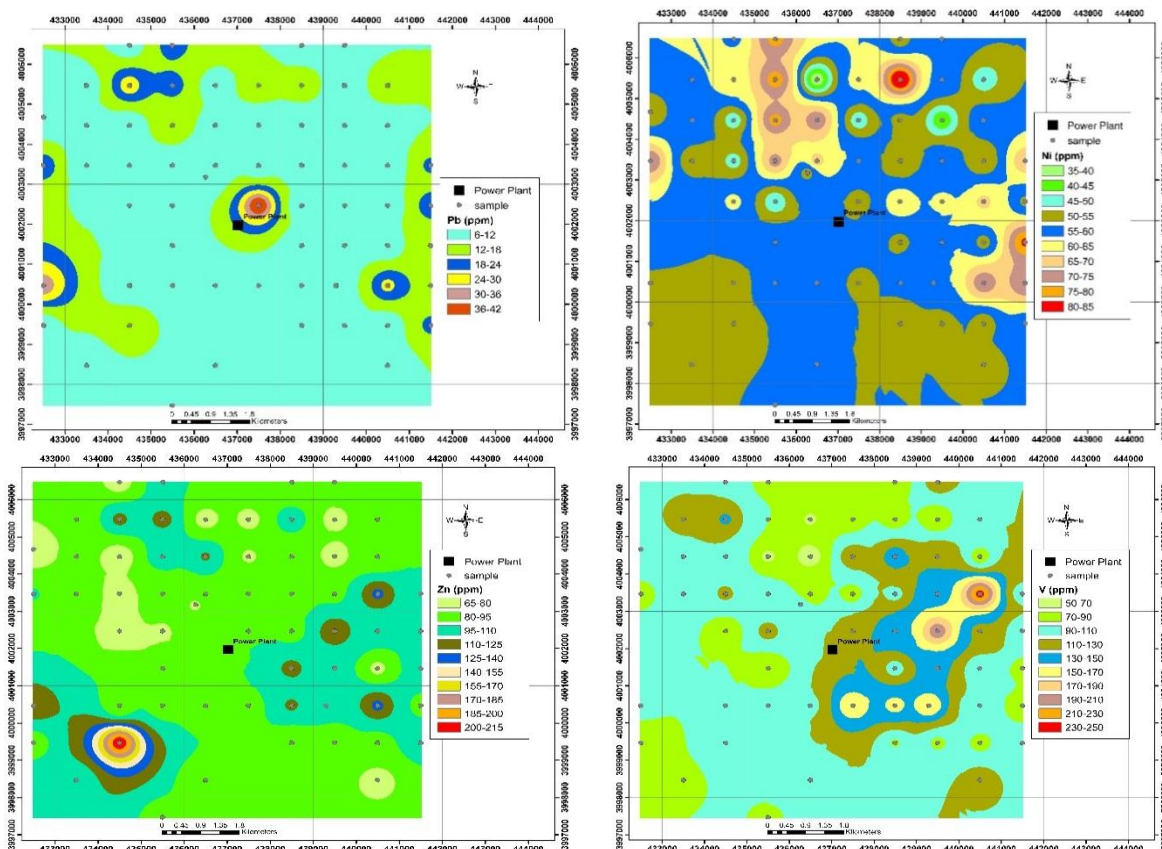
## جدول ۶- نتایج به دست آمده برای شاخص بار آلودگی (PLI)

Table 6 . Results obtained for the Pollution Load Index (PLI)

| عنصر            | نیکل | روی  | وانادیوم | سرب  |
|-----------------|------|------|----------|------|
| ضریب بار آلودگی | ۱/۵۰ | ۱/۶۱ | ۱/۶۳     | ۱/۶۵ |

از غلظت زمینه ( $PLI > 1$ ) بوده و نشان دهنده آلوده بودن خاک در منطقه است.

با توجه به رابطه ۳ شاخص بار آلودگی و طبق جدول ۶ میزان شاخص بار آلودگی در عناصر سرب، وانادیوم، روی و نیکل بالاتر



شکل ۵- نقشه پراکنش فلزات سنگین نیکل، روی، وانادیوم و سرب

Figure 5. Distribution map of heavy metals Ni, Zn, V, Pb

گرفته است. پراکندگی وانادیوم، روی، نیکل و سرب نشان داد که عمده توزیع این عنصر مربوط به خاک‌های شهرک صنعتی کاسپین یک و واحدهای صنعتی غیر متمرکز از جمله نیروگاه شهیدرجایی است. اما از آنجا که این فلزات در مازوت تولیدات پالایشگاه‌های نفت ایران به طور طبیعی بالا می‌باشند، هم‌چنین قسمتی از این آلودگی نیز توسط بادهای غالب منطقه باعث تجمع فلزات سنگین در خاک‌های اطراف نیروگاه می‌گردند.

در این مطالعه از روش‌های زمین آماری برای تجزیه و تحلیل استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با بررسی پارامترهای چولگی و

همان‌طوری که در نقشه شکل ۵ پراکندگی فلزات سنگین را در مقایسه با جدول ۳ نشان داده شده، غلظت فلزات سنگین وانادیوم، روی، نیکل دارای میانگین بالاتر از خاک جهانی و غلظت عنصر سرب کمتر از خاک‌های جهانی می‌باشند، با توجه به این که صنایع بزرگی چون نیروگاه شهیدرجایی، شهرک صنعتی کاسپین یک و نیز صنایع بزرگی دیگری در منطقه وجود دارند، نقش به سزایی در افزایش عناصر وانادیوم، روی، نیکل و سرب در خاک‌های منطقه دارند. به همین منظور نقشه پراکندگی عناصر وانادیوم، روی، نیکل و سرب مورد توجه قرار

تحلیل آماری توصیفی برای عناصر با تغییرات گسترده برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک انجام و طبق جدول ۷، نیکل و روی کمترین انحراف معیار را نشان می‌دهند. در حالی که سرب و وانادیوم به ترتیب بیشترین انحراف معیار را دارند.

کشیدگی برای هر عنصر ارزیابی شد. این مطالعه بر تجزیه و تحلیل آماری اکسیدهای فلزات سنگین سرب، وانادیوم، روی و نیکل علاوه بر سایر داده‌ها، پس از استخراج و آماده‌سازی آنها متمرکز بود. مقادیر به دست آمده با متوسط خاک‌ها برای فلزات مورد مطالعه مقایسه و در جدول ۳ ارائه شده است. تجزیه و

جدول ۷- پارامترهای آمار توصیفی به دست آمده بر اساس فلزات سنگین نیکل، روی، وانادیوم و سرب

Table 7. Descriptive statistics parameters obtained based on heavy metals Ni, Zn, V, Pb

| تعداد نمونه آنالیز شده | انحراف معیار | میانگین | عناصر    |
|------------------------|--------------|---------|----------|
| ۶۳                     | ۰/۱۸         | ۱/۰۵    | نیکل     |
| ۶۳                     | ۰/۲۸         | ۱/۲۳    | روی      |
| ۶۳                     | ۰/۴۲         | ۱/۳۸    | وانادیوم |
| ۶۳                     | ۰/۷۸         | ۱/۲۵    | سرب      |

بین روی و وانادیوم مشاهده می‌شود و بین روی و سرب همبستگی معنی‌داری وجود ندارد. یک همبستگی منفی ممکن است با منابع خارجی مرتبط باشد، و توزیع منطقه‌ای آلاینده‌ها ممکن است بر اساس متغیرهای مختلف آب و هوایی متفاوت باشد. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل آماری یک همبستگی مثبت را در پهنه مرکزی نزدیک نیروگاه نشان داد. و این موضوع رابطه بین فلزات خروجی از دودکش نیروگاه و بار آلودگی خاک را تقویت می‌کند (جدول ۸ تا ۱۱).

تجزیه و تحلیل ماتریس همبستگی پیرسون، بر اساس پارامترهای آماری عناصر، ضرایب چولگی و کشیدگی بالایی را برای برخی عناصر مانند روی و وانادیوم نشان داد که از طریق تبدیل لگاریتمی برای تحلیل‌های آماری بعدی نرمال شدند. تجزیه و تحلیل ماتریس همبستگی برای فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های خاک برای شناسایی منابع مهم آلودگی بسیار مهم است. یک همبستگی معنی‌دار و قوی بین عناصر نیکل، سرب و وانادیوم مشاهده شد که نشان‌دهنده آلودگی از یک منبع مشترک است. بنابراین بیشترین ضریب همبستگی

جدول ۸- ماتریس همبستگی فلزات سنگین

Table 8- Correlation matrix of heavy metals

| عناصر    | نیکل                | روی    | وانادیوم | سرب    |
|----------|---------------------|--------|----------|--------|
| نیکل     | Pearson Correlation | ۱      | ۰/۲۷*    | ۰/۳۲** |
|          | Sig. (2-tailed)     | -      | ۰/۰۲     | ۰/۰۰   |
| روی      | Pearson Correlation | ۰/۲۷*  | ۱        | ۰/۳۹** |
|          | Sig. (2-tailed)     | ۰/۰۲   | -        | ۰/۰۰   |
| وانادیوم | Pearson Correlation | -۰/۲۳  | ۰/۲۱     | ۱      |
|          | Sig. (2-tailed)     | ۰/۰۶   | ۰/۰۹     | -      |
| سرب      | Pearson Correlation | ۰/۳۲** | ۰/۳۹**   | ۱      |
|          | Sig. (2-tailed)     | ۰/۰۰   | ۰/۰۰     | -      |

\*همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

\*\*همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

## جدول ۹- ماتریس های کواریانس و همبستگی ضد تصویر

Table 9. Covariance and anti-correlation matrices of the image

| Anti-image Covariance  | عناصر    | نیکل              | روی               | وانادیوم          | سرب               |
|------------------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                        | نیکل     | ۰/۸۰              | -۰/۱۸             | ۰/۲۲              | -۰/۱۴             |
|                        | روی      | -۰/۱۸             | ۰/۷۲              | -۰/۲۶             | -۰/۲۷             |
|                        | وانادیوم | ۰/۲۲              | -۰/۲۶             | ۰/۸۳              | ۰/۱۲              |
|                        | سرب      | -۰/۱۴             | -۰/۲۷             | ۰/۱۲              | ۰/۷۷              |
| Anti-image Correlation | نیکل     | ۰/۵۸ <sup>a</sup> | -۰/۲۴             | ۰/۲۷              | -۰/۱۹             |
|                        | روی      | -۰/۲۴             | ۰/۷۸ <sup>a</sup> | -۰/۳۳             | -۰/۳۶             |
|                        | وانادیوم | ۰/۲۷              | -۰/۳۳             | ۰/۳۵ <sup>a</sup> | ۰/۱۵              |
|                        | سرب      | -۰/۱۹             | -۰/۳۶             | ۰/۱۵              | ۰/۵۸ <sup>a</sup> |

a. اندازه گیری مناسب نمونه گیری

## جدول ۱۰- تحلیل آماری مولفه های اصلی استخراج شده و جوامع عناصر

Table 10. Statistical analysis of extracted main components and communities of elements

| Communalities |         |            | <sup>a</sup> Component Matrix |       |       |
|---------------|---------|------------|-------------------------------|-------|-------|
| عناصر         | Initial | Extraction | عناصر                         | ۱     | ۲     |
| نیکل          | ۱/۰۰    | ۰/۶۳       | نیکل                          | ۰/۷۰  | -۰/۳۲ |
| روی           | ۱/۰۰    | ۰/۷۷       | روی                           | ۰/۷۴  | ۰/۵۲  |
| وانادیوم      | ۱/۰۰    | ۰/۸۵       | وانادیوم                      | -۰/۱۶ | ۰/۹۰  |
| سرب           | ۱/۰۰    | ۰/۶۲       | سرب                           | ۰/۷۹  | ۰/۰۰  |

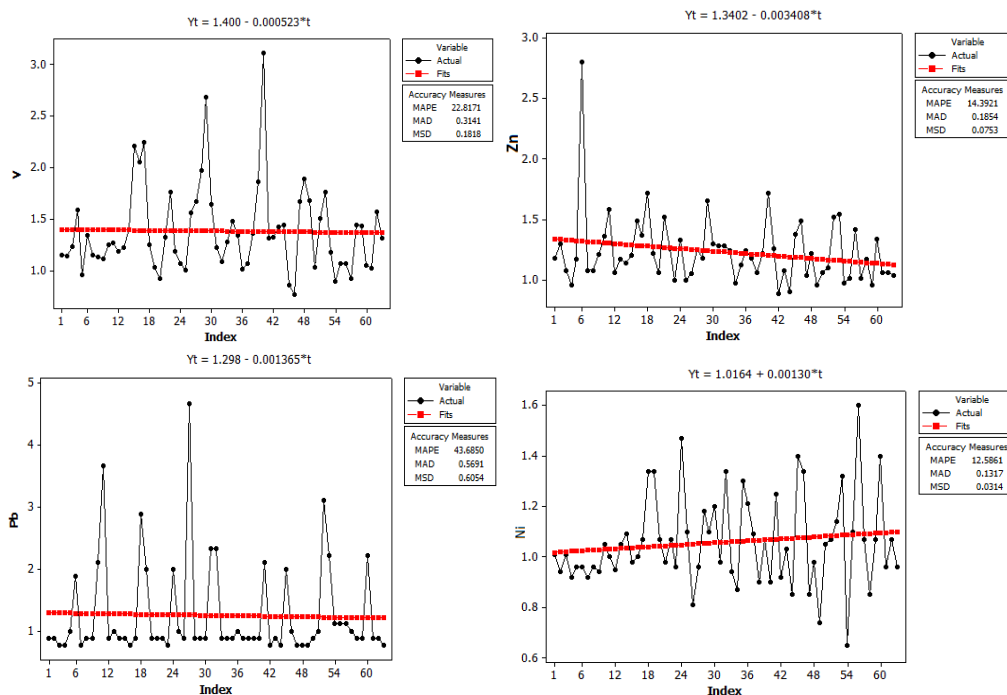
روش استخراج: تجزیه و تحلیل اجزای اصلی  
a<sup>2</sup>. اجزای استخراج شده

## جدول ۱۱- همبستگی های باز تولید شده و باقی مانده به روش استخراج

Table 11. Reproduced and residual correlations by extraction method

| عناصر                  |          | نیکل              | روی               | وانادیوم          | سرب               |
|------------------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Reproduced Correlation | نیکل     | <sup>a</sup> ۰/۶۳ | ۰/۳۴              | -۰/۴۱             | ۰/۰۵              |
|                        | روی      | ۰/۳۴              | <sup>a</sup> ۰/۷۷ | ۰/۳۶              | ۰/۵۶              |
|                        | وانادیوم | -۰/۴۱             | ۰/۳۶              | <sup>a</sup> ۰/۸۵ | -۰/۱۲             |
|                        | سرب      | ۰/۵۷              | ۰/۵۶              | -۰/۱۰             | <sup>a</sup> ۰/۶۲ |
| Residual <sup>b</sup>  | نیکل     | -                 | -۰/۰۶             | ۰/۱۷              | -۰/۲۴             |
|                        | روی      | -۰/۰۶             | -                 | -۰/۱۵             | -۰/۱۶             |
|                        | وانادیوم | ۰/۱۷              | -۰/۱۵             | -                 | ۰/۰۰              |
|                        | سرب      | -۰/۲۴             | -۰/۱۶             | ۰/۰۰              | -                 |

روش استخراج: تجزیه و تحلیل اجزای اصلی (الف) جوامع باز تولید شده (ب) باقی مانده ها بین همبستگی های مشاهده شده و باز تولید شده محاسبه می شوند. ۰/۸۳٪ باقیمانده غیر زائد با مقادیر مطلق بزرگتر از ۰/۰۵ وجود دارد.

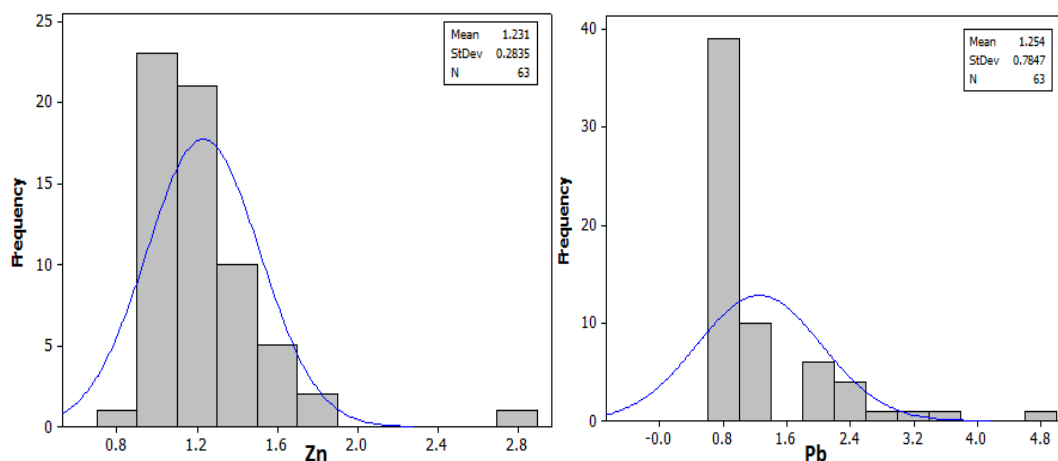


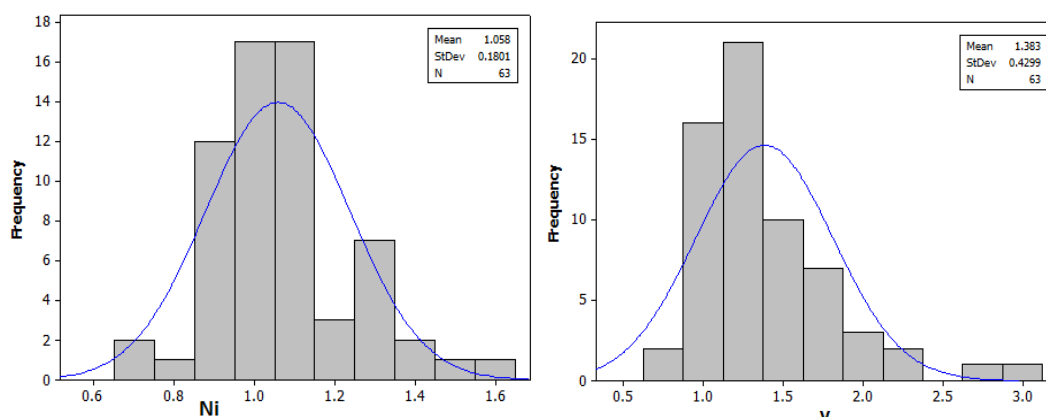
شکل ۳- نمودار سری زمانی فلزات سنگین نیکل، روی، وانادیوم و سرب

Figure 3. Time series diagram of heavy metals Pb, V, Zn, Ni

سرب تغییرات معنی‌داری نشان نمی‌دهد و روند تغییرات آن تقریباً ثابت است و مطابق جداول ماتریس همبستگی که ذکر شده اند مقادیر همبستگی سرب با سه فلز دیگر مقادیر منفی را نشان می‌دهد و همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است و شاخص توزیع نسبی سرب نسبت به آنها در پایین ترین مقدار قرارداد و به عبارتی دیگر همبستگی بین فلزات نیکل، روی و وانادیوم می‌تواند با منشأ آلودگی مشابه و انسان زاد در نظر گرفت.

همان‌طور که در شکل ۳ نمودار سری زمانی اندازه‌گیری و پیش‌بینی فلزات سنگین نیکل، روی، وانادیوم و سرب را نشان داده است، تغییرات سطوح نیکل نسبت به وانادیوم، سرب و روی روند صعودی را نشان داده است. این به عنوان شاخصی از روند افزایشی بار آلودگی، به ویژه برای سطوح نیکل عمل می‌کند. و مطابق آنچه برای فلز سرب در تحلیل‌های آماری ضریب همبستگی مشخص گردید برای سرب همبستگی و ارتباط معنی‌داری با سایر فلزات مورد مطالعه نشان نمی‌دهد و روند افزایشی را مشخص نمی‌کند. نمودار سری زمانی برای فلز





شکل ۴- نمودار چولگی و هیستوگرام فراوانی فلزات سنگین نیکل، روی، وانادیوم و سرب

Figure 4. Skewness diagram and histogram of abundance of heavy metals (Pb, V, Zn, Ni)

سرب توزیع پلاتینیکورتیک را با قله صافتر و دمه‌های سبک‌تر مشخص می‌نماید.

با توجه به این‌که اساس کار نیروگاه‌های تولید برق حاصل از سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی می‌باشند. با افزایش جمعیت، نیاز به انرژی الکتریکی افزایش یافته که در نتیجه ۹۰ درصد آن با استفاده از سوخت‌های فسیلی از جمله مازوت بدست خواهد آمد (۲۲). در اثر مصرف مازوت در فصول پائیز و زمستان باعث انتشار گازهای آلاینده و تجمع ذرات معلق در خاک‌های اطراف این نیروگاه‌ها می‌باشد که منجر به آلودگی‌های خاک می‌گردد. بررسی‌های میدانی و آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش نشان داد در نیروگاه شهیدرجایی نظیر نیروگاه‌های دیگر در بازه‌های زمانی فوق سوخت فسیلی آن مازوت است، بنابراین در اثر استفاده از سوخت مازوت فلزات سنگین ایجاد شده در خاک‌های منطقه پراکنده شده است و بادهای غالب منطقه نیز در این پراکنش نقش مهمی دارند. این بررسی نشان داد در اکثر نمونه‌های منطقه دارای منشأ آنتروپوژنیک<sup>۱</sup> (فعالیت‌های انسان ساخت) بوده و به نظر می‌رسد با توجه به پراکنش ذرات معلق در اطراف نیروگاه شهیدرجایی، ناشی از فعالیت‌های نیروگاه باشد. عناصر سرب، نیکل، وانادیوم و روی عمدتاً دارای ضریب بار آلودگی ضعیف تا متوسط بوده و بخشی از بار آلودگی دارای منشأ طبیعی هستند و برای برخی عناصر دیگر غلظت آنها کمتر از مقدار استاندارد پیش بینی شده

در شکل ۴ نمودار چولگی و هیستوگرام فراوانی چهار فلز مورد مطالعه نشان داده شده است. و قابل ذکر است چولگی و کشیدگی در نمودارهای آماری به ترتیب تقارن و اوج توزیع را اندازه‌گیری می‌کنند. یک توزیع متقارن، مانند یک توزیع نرمال، دارای چولگی صفر است، همان‌طور که در منحنی نمودار و وضعیت تقارن نشان می‌دهد برای چهار فلز مورد بررسی، چولگی تقریباً نزدیک به صفر است، که نشان دهنده توزیع تقریباً متقارن است و دمه‌های اریب نشان نمی‌دهند. کشیدگی<sup>۱</sup> نشان دهنده ارتفاع یک توزیع است. به عبارت دیگر کشیدگی معیاری از بلندی منحنی در نقطه ماکزیمم است و مقدار کشیدگی برای توزیع نرمال برابر ۳ می‌باشد. کشیدگی مثبت یعنی قله توزیع مورد نظر از توزیع نرمال بالاتر و کشیدگی منفی نشانه پایین‌تر بودن قله از توزیع نرمال است. درک پیچیدگی یک توزیع می‌تواند در شناسایی و تفسیر الگوها در مجموعه داده‌ها مفید باشد و می‌تواند به تحلیل‌های آماری و روش مدل‌سازی کمک کند با توجه به نمودار و منحنی توزیع سرب که پراکندگی داده‌ها بیشتر از توزیع نرمال است، ارتفاع منحنی کوتاه‌تر از منحنی نرمال است و تفاوت معناداری با سه فلز سنگین دیگر مورد مطالعه دارد و می‌توان گفت نیکل، وانادیوم و روی توزیع لهتوکورتیک را مشخص می‌کند که نشان دهنده قله‌های بالاتر و دمه‌های سنگین‌تر است، در حالی که

دارای تمرکز بوده و در مناطقی در اطراف نیروگاه که واحدهای صنعتی آلاینده استقرار یافته‌اند با فراوانی آلودگی همراه بوده و زمینه فراهم شدن برای آلودگی فلزات سنگین بیشتر شده است.

### نتیجه گیری

در این پژوهش، با توجه به بررسی جامع انجام شده نتایج حاصل از تحقیقات نشان می‌دهند که نیروگاه شهیدرجایی به عنوان یکی از منابع اصلی آلاینده خاک به فلزات سنگین نیکل، سرب، وانادیم و روی می‌تواند به شمار آید و بین نوع سوخت نیروگاه و افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف آن ارتباط مستقیمی وجود دارد و براساس روش تحقیق و مباحث صورت گرفته موارد زیر به دست آمده است:

۱. بیا مقایسه غلظت‌های به دست آمده از چهار فلز

سنگین مورد بررسی در این تحقیق روند تغییرات میانگین فلزات سنگین در خاک‌های اطراف نیروگاه نشان داد وانادیوم بالاترین و سرب پائین‌ترین غلظت را در نمونه‌های خاک مورد آنالیز دارا می‌باشد و روند تغییرات میانگین فلزات سنگین و شاخص توزیع نسبت در خاک‌های اطراف نیروگاه به صورت  $V > Zn > Ni > Pb$  به دست آمد.

۲. نقشه پراکنش فلزات سنگین نشان دهنده افزایش بار

آلودگی در مناطق شمال و شمال شرق محدوده مورد مطالعه می‌باشد که این موضوع به جهت باد غالب منطقه نیز مربوط بوده و شرایط ریخت شناسی زمین و محدود شدن به ارتفاعات و کوهپایه نیز در ترسیب و تمرکز عناصر می‌تواند موثر باشند. و در بخش‌های دیگر منطقه تفاوت در میزان غلظت فلزات سنگین و همچنین شاخص‌های آلودگی این احتمال را تقویت می‌کند که منشأ ورود آلودگی و انباشت سایر فلزات سمی در خاک یکسان نبوده و عوامل متفاوتی در آلودگی خاک منطقه بصورت نقطه ای وجود دارد.

پوسته زمین است. در این مطالعه خاک‌های اطراف نیروگاه تا شعاع ۵۰۰ متر از دودکش مورد بررسی قرار گرفتند. هر چقدر از دودکش نیروگاه فاصله می‌گیریم طبق جدولهای ۱ تا ۷ میزان بار آلودگی تغییر می‌یابد و بعضی از نمونه‌ها نرخ بیشتری را نشان می‌دهند، هرچند عوامل دیگر مانند واحدهای صنعتی که در این فاصله فعالیت می‌کنند، می‌توانند باعث افزایش شوند، ولی لازم به توضیح است چون مازوت با ترکیب عمومی دارای عناصر مختلف مانند  $Zn=1/9$ ,  $V=82$ ,  $Pb=0/5$ ,  $ppm=2/22$  Ni می‌باشد (۲۳). بنابراین انتظار می‌رود درآینده با ادامه فعالیت و مصرف سوخت مازوت و تخلیه ذرات معلق فلزات سنگین باعث آلودگی بیشتر خاک‌های اطراف نیروگاه شود. با این تفاسیر نیاز به پیش بینی‌های لازم جهت جلوگیری و یا کاهش اثرات آلودگی می‌باشد. در تحقیقات نیروگاه‌هایی در ترکیه و اسپانیا که عمر طولانی از آنها می‌گذرد میزان بار آلودگی به عناصر فلزات سنگین در خاک نیروگاه‌های مشابه در سایر کشورها بیشتری را نشان و این موضوع را تایید می‌کند (۲۱). از سوی دیگر یافته‌ها موید این مطلب است که پیچیدگی و نوع ترکیبات و برهم کنش‌های فلزات سنگین در حوزه‌های مختلف تمرکز و غنی شدگی آنها را تشدید نموده و نیاز به درک جامع روابط بین فلزات سنگین مختلف را تأکید می‌کند. و در دوره‌های زمانی مختلف و بر اساس نوع سوخت مورد استفاده بار آلودگی برای فلزات مختلف می‌تواند تغییر پیدا کند و روند افزایشی هر کدام متفاوت باشد حال با توجه به این‌که بهره‌برداری نیروگاه شهیدرجایی از سال ۱۳۷۱ آغاز شده است با تغییر نوع سوخت در این نیروگاه و استفاده از سوخت پاک و یا استفاده از سیستم‌های اسکرابرتر<sup>۱</sup> می‌توان مدیریت و کنترل آلودگی‌های خاک، آب و هوا را در اطراف نیروگاه کاهش داد. در شکل ۵ نقشه پراکنش هر یک از فلزات سنگین در اطراف نیروگاه نشان داده شده است. و همان‌طور که در مقایسه پراکنش عناصر مشخص شده است غلظت نیکل دارای فراوانی بیشتری بوده و تمرکز آن در بخش شمالی و شمال غرب منطقه بار آلودگی بیشتری دارد و غلظت وانادیوم در بخش شمال شرق

- Shazand Power Plants Using Statistical and Geo Statistical Analysis. J. Env. Sci. Tech., Vol. 21, No.5, pp.139-153. (In Persian)
5. Yaylali-Abanuz, G., 2011, Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey, Microchemical Journal, pp. 82-92.
  6. 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, pp. 32-43.
  7. Talebi, A.M., Ghorbani, H., 2023, Dispersion modeling of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> pollutions using AERMOD model (Case study of Shahid Salimi power plant, Neka), Journal of Environmental sciences studies Vol. 8, Issue 2 ,pp. 6647-6661. (In Persian)
  8. Shahbazi, A., 2013, Investigation of soil heavy metal contamination using pollution factor indices, land accumulation and comprehensive pollution factor index (case study: Nahavand city), Environment and Development, Vol. 3, No. 5, pp.31-38. (In Persian)
  9. Saeedi, M., 2014, Simulation of sulfur dioxide gas emissions from Shahid Rajaei thermal power plant chimney in Qazvin in winter, Department of Water and Environment, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Iran Energy Journal, No. 23, pp.34-43. (In Persian)
  10. JICA., 2018, Preparatory Survey on the Shahid Rajaei Power Plant Construction Project, Final report, Japan International Cooperation Agency (JICA) Tokyo Electric Power Services Co., Ltd. Thermal Power Plants Holding Company of Iran, pp.390.
۳. میزان شاخص بار آلودگی (PLI) نشان دهند آلودگی و ضریب آلودگی (CF) نشان دهنده آلودگی متوسط به فلزات سنگین مورد مطالعه در خاک منطقه می‌باشند.
۴. سری زمانی و روند تغییرات نیکل نسبت به وانادیوم، سرب و روی روند صعودی را نشان داده که مشخص کننده افزایش بار آلودگی بیشتر نسبت به این عنصر است و دارای بالاترین میزان شاخص زمین انباشتگی بوده و خطر آکولوژیک بیشتری را نشان می‌دهد.
- ### سیاس‌گذاری
- نویسندگان از مسئولین محترم نیروگاه حرارتی شهیدرجایی برای امکان نمونه‌برداری از ذرات معلق و خروجی از دودکش نیروگاه و اراضی اطراف و همچنین ارایه اطلاعات تشکر و قدردانی می‌نمایند.
- ### References
1. Shayestehfar, M.R., Rezaei, A., 2010, Methodology presentation in decreasing the environmental of Sarcheshmeh copper mine with the help of geochemical data. 27th Symposium on Geosciences, Tehran, Iran, 254, pp.24-23,9. (In Persian)
  2. Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F., & Dong, C.D., 2007, Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan, Chemosphere Vol. 66, No. 8, pp. 1431-1440.
  3. Karimi Shoostari, A., Mohammadi Rouzbahani Heavy, M., 2022. metals concentrations (Ni, Pb, Cd) in Spinach (*Spinacia oleracea*) with Effect of Atmospheric Desiccation (Case Study: Upper Hand and Downstream of Ramin Ahvaz Power Plant), . Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 1, April, pp.39-52. (In Persian)
  4. Ghadimi, F. Ghomi, m. mohammadi Vali Kandi, E., 2019, Evaluation of Soil Contamination to Heavy Metals around the

- SW Iran, Environmental Monitoring Assessment 149, pp.254-262.
19. Adomako, D., Nyarko, B.J.B, Dampare, S.B., Serfor- Armah, Y., Osae, S., Fianko, J.R., Akaho, E, H., 2008, "Determination of toxic elements in (waters and sediments from River Subin in the) Ashanti Region of Ghana", *Environmental Monitoring Assessment* 141, P. 165-175.
  20. Mapanda, F, Mangwayana, E.N, Nyamangara, J, Giller, K.E., 2007, Uptake of heavy metals by vegetables irrigated using wastewater And the subsequent risks in Harare, Zimb-abwe, *Physics and Chemistry of the Earth* 32, pp.1399-1405.
  21. Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A. B., 2007, Trace Elements from Soil to Human. Springer Science & Business Media, pp.550.
  22. 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.
  23. Alimohammadi, S. Membini, H. Vahdati, B., 2016, Investigating the fuel and combustion consequences of not using high pressure heaters in Ramin power plant units, *Proceedings of the 7th Iran Fuel and Combustion Conference*, Tehran, Sharif University of Technology, pp.8-14.
  11. Sheikhi Alman Abad Z., Pirkharrati H, Mojarrad M., 2021. Health Risk Assessment of Heavy Metals in the Soil of Angouran Mineral Processing Complex in Iran. *Pollution*. 2021 Jan 1;7(1):241-56. (In Persian)
  12. Abraham, G. M. S., Parker, R. J., 2008, Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree contamination in marine sediments from Tamaki. *Estuary, Auckland, New Zealand, Environmental Monitoring and Assessment* 136, pp. 227-238
  13. Hakanson L., 1980, An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach, *Water Research*, 14: pp.975-1001
  14. Muller, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des RheinsVeranderungenseit 1971, *Umschau* Vol. 79, No.24, pp.778-783
  15. Gonzales, A., Rodriguez, M., Sanchez, J.C., Espinosa, A.J. and La Rosa, F.J., 2000, Assessment of metals in sediments in a tributary of Guadalquivir River (Spain). Heavy metal partitioning and relation between the water and sediment system water, *Air and soil pollution* 121, pp. 11-29.
  16. Luoping Zhang, X, Y., HuanFeng, Y, J., Tong Ouyang, X, Y., Rongyuan Liang, C, G., Weiqi,C., 2007, Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China, *Mar Pollut Bull* 54, pp. 974-982.
  17. Angulo, E., 1996, The Tomlinson Pollution Load Index applied to heavy metal, Mussel-Watch'data: a useful index to assess coastal pollution, *Science of the Total Environment*, 187, pp.19-56.
  18. Qishlag, A., Moore, F., Forghani, G., 2007, Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area,