



**Determination of Geogenic and Anthropogenic Share of Heavy Metals in Soils of Pars Special Economic Energy Zone in Southern Iran**

**Document Type**  
Research Paper

**Azam Zarei<sup>1</sup>, Babak Souri<sup>2\*</sup>**

**Received**  
2022/05/28

1 MSc Graduate, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

**Accepted**  
2023/04/15

2 Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2023.169979

**Abstract**

Objective of this study is fractionation of geogenic and anthropogenic share and also determination of contamination level of trace heavy metals in surface soil of Pars Special Economic Energy Zone in southern Iran. Soil sampling in 14 points for two depths of 0-10 and 40-50 cm across a 395.4 km<sup>2</sup> located in Asalouyeh county Pars Special Economic Energy Zone along coastal strip of Bushehr Province in southern Iran was conducted in 2020. Geogenic and anthropogenic share of heavy metals of Cd, Se, As, Co, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn in surface soil were determined using concentration differences of them between the two depths of 0-10 and 40-50 cm compared to the three reference elements of Fe, Nb and U. The results showed that the highest anthropogenic content of the measured heavy metals was found in the middle of the study area just beside the refineries and petrochemical installations. Dominant wind blow direction of west to east resulted in a shift of accumulation of anthropogenic share of elements in surface soil with an eastward tendency but a decreasing of content with increasing distance from refinery and petrochemical installation was seen. As a whole anthropogenic share of the studied heavy metals in the surface soils of the region was less than their geogenic share. Contamination level of these elements based on Integrated Pollution Index was non to mild pollution in 11 points (less than 1), mild pollution in 2 points (1.06 and 1.22) and mild to strong pollution in 1 point (2.38).

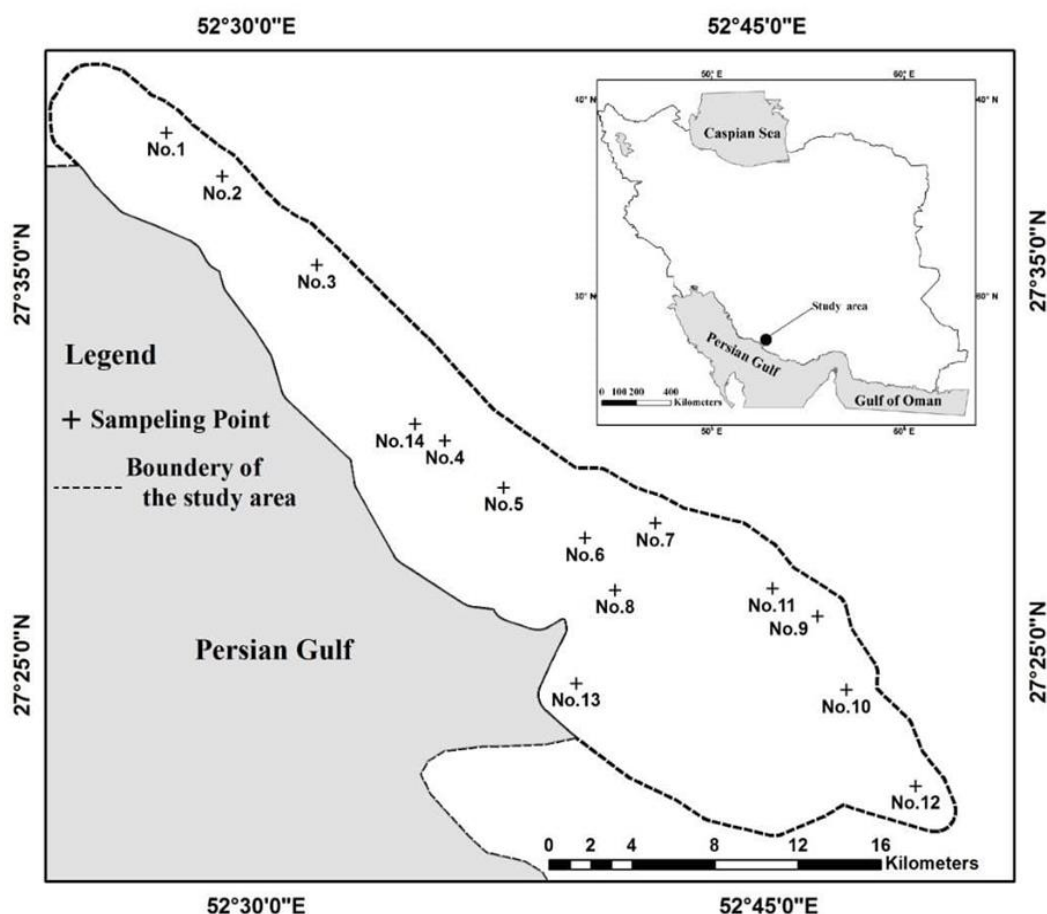
**Keywords:** Soil Pollution, Refinery, Petrochemical Complex, Reference Element, Asalouyeh.

## Introduction

Nowadays environmental pollution is a common problem that human being is facing mostly because of mankind recent forms of life which contain many environmentally degrading actions including industrial activities. Economic and industrial development projects within Pars Special Economic Energy Zone located in southern Iran are being conducted for exploiting the gas and oil reserves of South Pars Gas field. Consequently, these activities have resulted in the entry of some contaminations into the environment threatening ecosystems of the area (Raeiagh et al., 2020). An important part of the related contaminations are the heavy metals released by the refineries and petrochemical complexes into the surrounding environment. Accordingly, specification of the content as well as the contribution of each heavy metal to soil contamination of the area is very important. Therefore, this study is going to figure it out that how much of the heavy metals emitted into the area are from geogenic sources particularly inherited from soil parent materials and how much of them are resulted from anthropogenic activities especially refineries and petrochemical installations in the study area (Guedron et al., 2006; Souri & Watanabe, 2013).

## Material and Methods

The study area in the present research covers 395.4 square kilometers located inside Pars Special Economic Energy Zone on the northern edge of the Persian Gulf in the coastal strip of Bushehr province (Fig. 1).



**Figure 1. Geographical location of Pars Special Economic Energy Zone (right) and the study area in South Pars (left)**

In this area, according to the soil assessment guide (Soil Survey Staff, 1993) and by a random-systematic method corresponding to the land units, a total of 14 soil sections each at two depths of 0-10 cm and 40-50 cm were sampled within Pars Special Economic Energy Zone. Subsequently, the prepared samples were transferred to the laboratory and measured in terms of physicochemical characteristics including pH,

electrical conductivity (Page et al., 1982), soil texture (Day, 1965), organic matter (Hopkins, 2006), phosphate (Olsen et al., 1954), sulfate and nitrate (Page et al., 1982). Furthermore, the amounts of nine heavy metals amongst the trace elements including cadmium, selenium, arsenic, cobalt, lead, chromium, nickel, copper, and zinc, besides three reference elements of Fe, Nb, and U (Guedron et al., 2006) were measured in the samples after acid digestion through ICP-MS method (Falciani et al., 2000).

Geogenic and anthropogenic amounts of heavy metals were categorized using equations (1) and (2) (Guedron et al., 2006).

$$[M_{Geogenic}]_s = [M_{Total}]_p / [E]_p \times [E]_s \quad (1)$$

$$[M_{Anthropogenic}]_s = [M_{Total}]_s - [M_{Geogenic}]_s \quad (2)$$

Whereas  $M_{Geogenic}$ ,  $M_{Anthropogenic}$ ,  $M_{total}$  are geogenic, anthropogenic and total amounts of the related heavy metal, respectively.  $E_p$  and  $E_s$  are also contents of the reference elements in the parent material and the surface soil.

At the next stage, the levels/scope of the aforementioned metals' contamination in the studied soil samples were assessed by the Integration Pollution Index (Hakanson, 1980).

## Results and Discussion

Table (1) represents the physicochemical characteristics' values measured for surface soil in 14 sampled points.

**Table 1. Physico-chemical characteristics measured for the top soil at the 14 sampled points**

Sample NO.	PH	Electrical Conductivity	Organic Matter	Phosphate	Nitrate	Sulfate	Sand	Silt	Clay
		dS/m	%	mg/kg soil			%		
1	7.87	15.89	1.70	30.81	0.0011	532.88	65	11	23
2	7.11	2.85	2.79	5.05	0.0052	432.45	65	13	21
3	7.76	2.24	1.36	8.18	0.0078	452.88	67	15	17
4	7.85	13.22	0.51	8.69	0.0168	935.15	67	9	23
5	7.97	17.58	1.84	4.37	0.0822	833.2	65	15	19
6	7.69	42.20	1.53	3.66	0.0389	727.49	73	9	17
7	7.39	45.20	2.18	12.89	0.0097	549.33	63	9	27
8	7.21	22.8	3.06	18.86	0.0441	801.82	75	9	15
9	7.22	4.32	3.27	17.44	0.0815	503.38	71	13	15
10	7.11	16.93	1.09	9.20	0.0116	632.74	69	13	17
11	7.75	3.84	3.33	16.20	0.1913	1025.36	69	13	17
12	7.80	6.31	2.72	10.61	0.0486	969.76	63	17	19
13	7.85	5.89	1.02	12.03	0.1760	555.57	71	11	17
14	7.86	1.56	2.04	13.03	0.0161	88.11	65	9	25

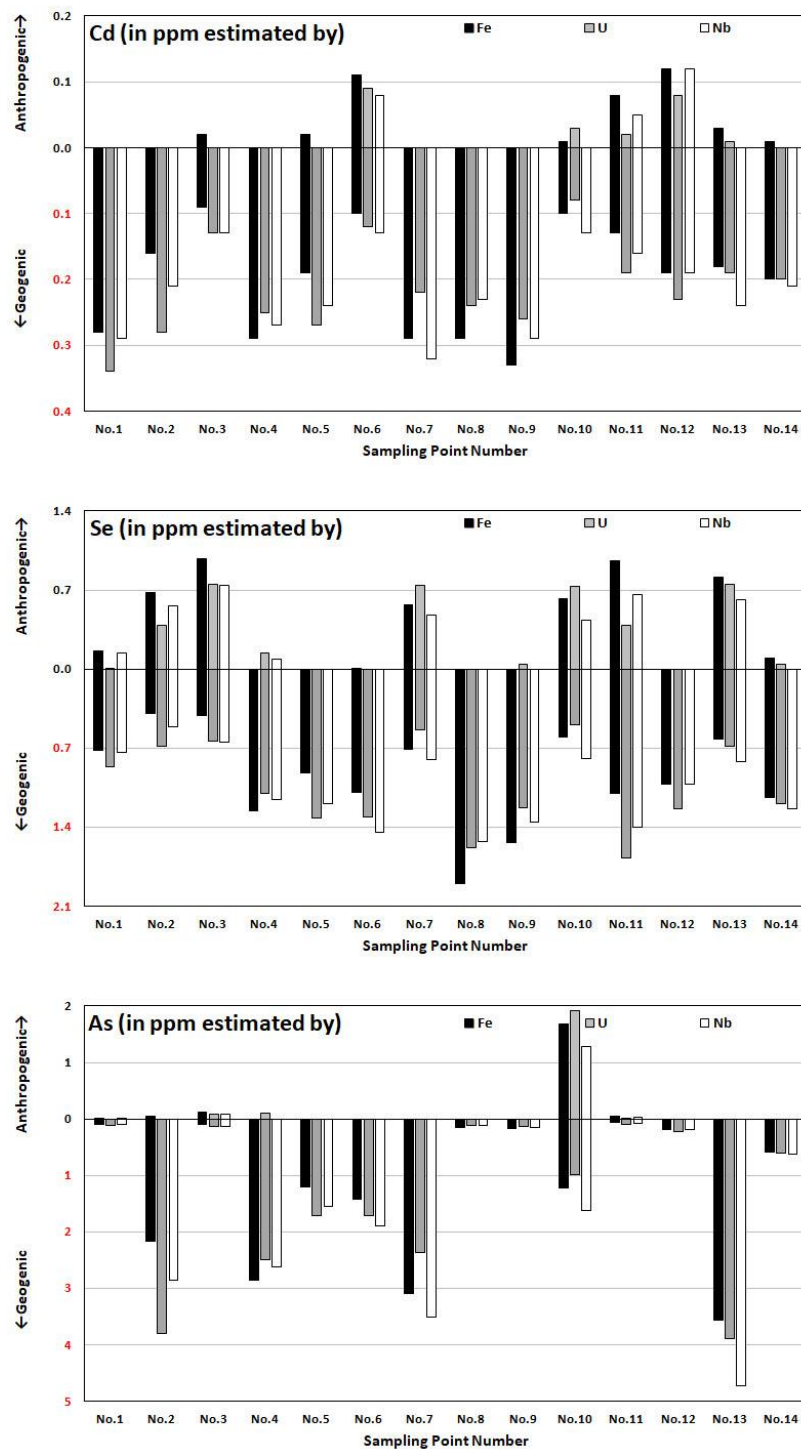
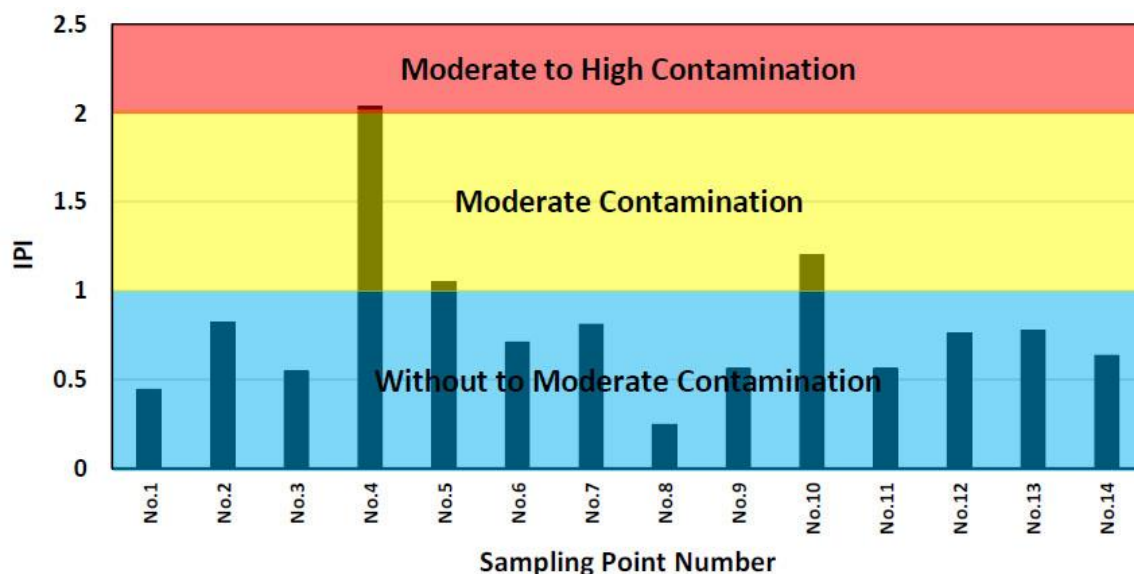


Figure 2. Estimated concentrations of geogenic and anthropogenic shares of Cd, Se and As for the 14 surface soils using three reference elements of Fe, Nb and U

Figure 3 illustrates Integrated Pollution Index results for the studied heavy metals at 14 sampling sites.



**Fig. 3. Estimated values of Integrated Pollution Index using the studied trace elements for surface soil at the 14 sampling points**

### Conclusion

The present study proved the effectiveness of the method presented in this study to categorize the geogenic and anthropogenic shares of the heavy metals in surface soil of the industrial regions. The results showed that in Pars Special Economic Energy Zone in southern Iran, content of geogenic and anthropogenic shares of the nine heavy metals studied were following refineries and petrochemical complexes distribution patterns and the dominant wind direction throughout the study area and the presence of high altitudes in the northern strip of South Pars Special Zone. Hence, taking the necessary measures are needed to prevent further emission of pollutant heavy metals in the surface soil.

### References

- Day, P.R. 1965. Particle fractions and particle-size analysis. In: Black CA (ed) *Methods of soil analysis: Part 1*. American Society of Agronomy, Madison, pp 545–567.
- Falciani, R.; Novaro, E.; Marchesini, M. & Gucciardi, M. 2000. Multi-element analysis of soil and sediment by ICP-MS after a microwave assisted digestion method. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 15, 561-565.
- Guedron, S.; Grimaldi, C.; Chauvel, C.; Spadini, L. & Grimaldi, M. 2006. Weathering versus atmospheric contributions to mercury concentrations in French Guiana soils. *Applied Geochemistry*. 21, 2010-2022.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8): 975-1001.
- Hopkins, DW. 2006. Carbon mineralization. In: Carter MR, Gregorich EG (eds) *Soil sampling and methods of analysis*. Taylor and Francis, London, pp 589–598.
- Olsen, S. R.; Cole, C. V.; Watanabe, F. S. & Dean, L. A. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. U. S. Department of Agriculture Circular No. 939. Banderis, A. D., D. H. Barter and K. Anderson. *Agricultural and Advisor*.
- Page A. L.; Miller R. H.; Keeney D. R.; Baker D. E.; Ellis, R. & Rhoades J. D. 1982. *Methods of soil analysis*. eds (No. 631.41 MET 9-2 1982. CIMMYT.).

---

Raeihagh, H.; Behbahaninia, A. & Macki Aleagha, M. 2020. Risk assessment of sour gas inter-phase onshore pipeline using ANN and fuzzy inference system – Case study: The south pars gas field. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 68, 104238.

Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture Handbook No 18.

Souri, B. & Watanabe, M. 2013. Mercury concentration in some calcareous soils of western Iran with a focus on pedological evolution and weathering process. *Environmental Earth Sciences*. 70, 1249-1262.

## تعیین سهم زمین‌زاد و انسان‌زاد فلزات سنگین در خاک‌های منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در جنوب ایران

اعظم زارعی<sup>۱</sup>، بابک سوری<sup>۲\*</sup>

۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲ دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷

### چکیده

هدف این مطالعه تفکیک سهم زمین‌زاد و انسان‌زاد و همچنین تعیین درجه آلودگی فلزات سنگین کمیاب در خاک سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در جنوب ایران است. خاک محدوده‌ای به وسعت ۳۹۵/۴ کیلومتر مربع در شهرستان عسلویه واقع در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس و در امتداد نوار ساحلی استان بوشهر در جنوب ایران در ۱۴ نقطه در دو عمق ۱۰-۰ و ۵۰-۴۰ سانتی‌متر در سال ۱۳۹۸ مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. سهم زمین‌زاد و انسان‌زاد فلزات سنگین Cd, Se, As, Co, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn در نمونه‌های خاک سطحی با استفاده از تفاوت غلظت آن‌ها بین لایه‌های ۱۰-۰ و ۵۰-۴۰ سانتی‌متری خاک در قیاس با تغییرات غلظت سه عنصر مرجع Fe, U و Nb تعیین شدند. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر انسان‌زاد فلزات سنگین سنجش شده در مناطق میانی محدوده مورد مطالعه و در جوار صنایع پالایشگاهی و مجتمع‌های پتروشیمی مشاهده شد. جهت باد غالب از غرب به شرق نیز تجمع سهم انسان‌زاد این عناصر در خاک سطحی را به سمت شرق متمایل کرده لیکن با افزایش فاصله از مکان صنایع پالایشگاهی و مجتمع‌های پتروشیمی تدریجاً کاهش می‌یافت. به طور کلی سهم انسان‌زاد فلزات سنگین مطالعه شده نسبت به سهم زمین‌زاد آن‌ها در خاک سطحی منطقه کمتر بود. درجه آلودگی این عناصر بر اساس شاخص جامع آلودگی در ۱۱ نقطه در دامنه بدون آلودگی تا با آلودگی متوسط (کمتر از ۱)، در ۲ نقطه دارای آلودگی متوسط (۱/۰۶ و ۱/۲۲) و در ۱ نقطه نیز واجد آلودگی متوسط تا قوی (۲/۳۸) تشخیص داده شد.

**کلید واژه‌ها:** آلودگی خاک، پالایشگاه، مجتمع پتروشیمی، عنصر مرجع، عسلویه

## سرآغاز

پهنه‌های آبی جهان است که از نظر ساختار بوم‌شناختی در منطقه‌ی فلات قاره واقع گردیده و در دهه‌های اخیر تحت‌تأثیر صدمات و بحران‌های محیط‌زیستی مختلف همچون آلودگی ناشی از استخراج و پالایش منابع عظیم فسیلی موجود در آن واقع شده است (Seifi et al., 2019). اجرای پروژه‌های توسعه اقتصادی و صنعتی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس که با هدف بهره‌برداری از ذخایر گاز و نفت میدان مشترک پارس جنوبی در حال انجام است منجر به ورود برخی آلاینده‌ها به محیط‌زیست منطقه شده و تهدیداتی را متوجه اکوسیستم آن نموده است (Raeihagh et al., 2020). به همین دلیل پایش و ارزیابی مستمر آلودگی‌های بالقوه ناشی از این فعالیت‌ها ضرورت می‌یابد که در این میان بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک مورد توجه خاص قرار دارد. گرچه به طور معمول محتوی فلزات سنگین در بسیاری از خاک‌ها عمدتاً تحت‌تأثیر مواد مادری خاک و در سطوح پایین‌تر از حد مجاز قرار دارد؛ لیکن فعالیت‌های انسانی از جمله بهره‌برداری و پالایش منابع زیرزمینی نفت و گاز می‌تواند منجر به افزایش میزان غلظت این فلزات در خاک شده و آن‌ها را به بیش از مقادیر و نسبت‌های مجاز افزایش دهد (Qaiser et al., 2019). در همین خصوص تعیین محتوی و همچنین سهم هر یک از فلزات سنگین در خاک مناطق تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی از حیث اینکه تا چه میزان ناشی از عوامل زمین‌زاد خاک هستند و به چه میزان به واسطه فعالیت‌های انسان‌زاد در خاک تجمع یافته‌اند اهمیت ویژه دارد (Guedron et al., 2006; Soury and Watanabe, 2013). علاوه بر این امروزه برآورد خطر مقادیر موجود این فلزات در خاک با استفاده از شاخص‌های ابداع شده برای این‌گونه عناصر خصوصاً در مناطقی که تحت‌تأثیر فعالیت‌های متراکم انسان قرار دارند امری ضروری است (Chen et al., 2015). اهمیت این امر خصوصاً برای فلزات سنگینی نظیر کادمیم، سلنیم، آرسنیک، کبالت، سرب، کروم، نیکل، مس و روی به دلیل مخاطرات اثبات شده آن‌ها برای سلامت انسان مضاعف است (Sobhanardakani, 2017; Sobhanardakani, 2019; Sabet Aghlidi et al. 2020). از این رو مشخصاً هدف این تحقیق معرفی روشی جدید برای تعیین سهم بخش‌های زمین‌زاد و انسان‌زاد فلزات سنگین در خاک است که در قالب مطالعه ۹ فلز سنگین که به دلیل غلظت کم در زمره عناصر کمیاب<sup>(۴)</sup> قرار دارند شامل: کادمیم، سلنیم، آرسنیک، کبالت، سرب، کروم،

در سنوات اخیر پایش آلودگی خاک به فلزات سنگین<sup>(۱)</sup> و تفکیک مقادیر زمین‌زاد<sup>(۲)</sup> (به ارث رسیده از مواد مادری خاک) و انسان‌زاد<sup>(۳)</sup> (ناشی از فعالیت‌های انسان) آن به ویژه در مناطقی که زمینه‌های انسانی و طبیعی بروز این معضل محیط‌زیستی به صورت توأمان وجود دارد اهمیت روزافزونی پیدا کرده است (Liu et al., 2011; Li et al., 2014; Yang et al., 2018). ویژگی‌هایی نظیر ماندگاری طولانی، قابلیت انباشته شدن، تجزیه‌ناپذیری، ایجاد سمیت در محیط و سرطان‌زایی منجر شده تا فلزات سنگین به عنوان یکی از مشکلات مهم محیط‌زیست به شمار آیند (Mico et al., 2006) به طوری که با ورود به چرخه غذایی سلامت انسان و سایر موجودات زنده را مورد تهدید قرار دهند (Dabiri et al., 2017). از این رو مطالعات مختلفی از سوی پژوهشگران به منظور سنجش و برآورد آلودگی فلزات سنگین در محیط بکار گرفته شده‌اند (Muller and Putz, 1969; Alloway, 1995; Grimaldi et al., 2008; Mireles et al., 2012; Hu and Cheng, 2013; Hu et al., 2013; Ravankhah et al., 2015; Wu et al., 2015; Barbieri, 2016; Fazelvalipour et al., 2016; Gurumoorthi and Venkatachalapathy, 2016; Ihedioha et al., 2017). در همین خصوص بایداراشویلی و همکاران به بررسی روشی بر پایه‌ی واکنش شیمیایی یون‌های فلزی جهت اندازه‌گیری میزان آلودگی در خاک پرداختند (Baydarashvili et al., 2017). جورفی و همکاران آلودگی فلزات سنگین آرسنیک، کادمیم و سرب در خاک‌های سطحی دشت میان‌آب به عنوان یکی از منابع عمده کشاورزی در استان خوزستان را مطالعه کردند (Jorfi et al., 2017). باکرادزه نیز در گیاهان زراعی و خاک اطراف آن‌ها در سطح کشور گرجستان مقادیر فلزات سنگین را بررسی و در مقایسه با استانداردهای کشورهای اروپایی و روسیه حدود مجازی برای آن‌ها پیشنهاد نمودند (Bakradze et al., 2018). همچنین محمدی و همکاران مطالعه‌ای به منظور منشاء‌یابی و ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی عناصر آهن، روی، سرب، کادمیم، کروم و نیکل در خاک سطحی اطراف مجتمع دفع و پردازش پسماند جامد شهری آرادکوه تهران انجام دادند و نتیجه گرفتند که عناصر روی، کادمیم، کروم و نیکل در نمونه‌های خاک احتمالاً از منابع انسان‌ساخت و سرب نیز از منبع طبیعی نشأت گرفته است (Mohammadi et al., 2021). خلیج فارس یکی از مهمترین



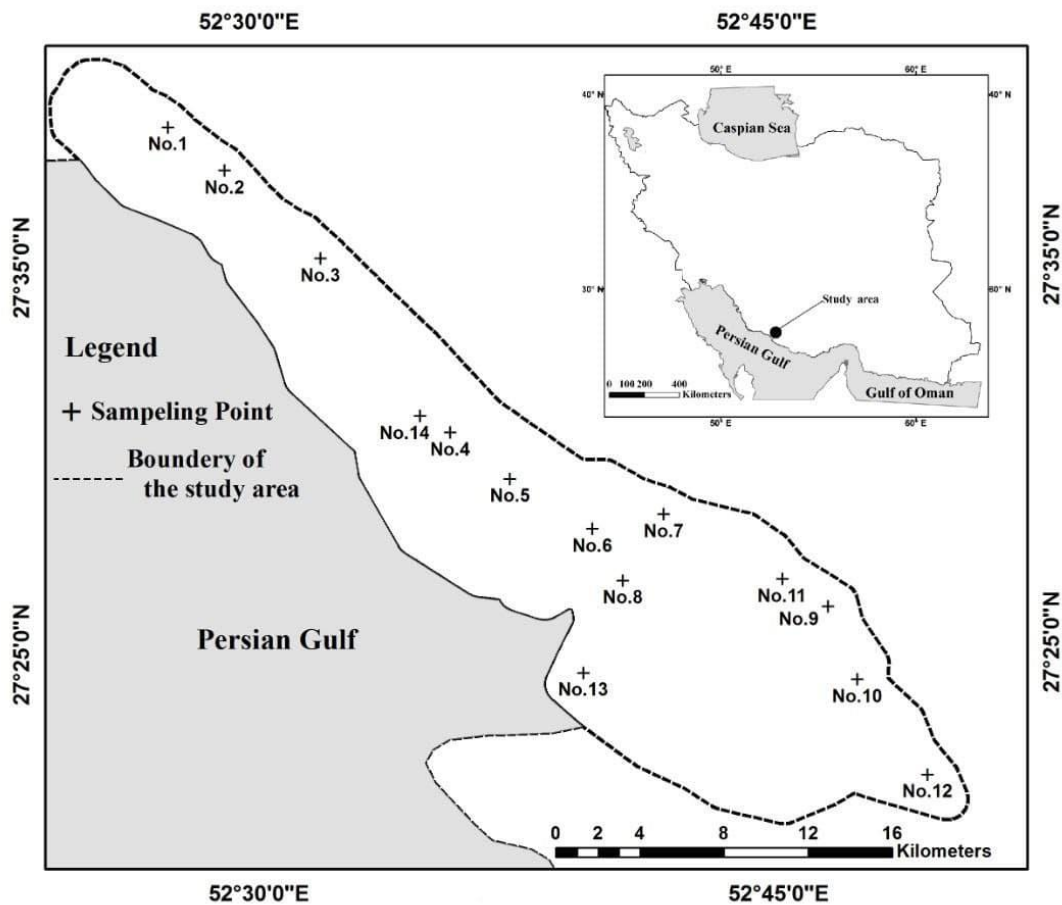
پارس که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته و تعداد زیادی پالایشگاه، مجتمع پتروشیمی، مجتمع‌های صنایع بالادستی و پایین‌دستی صنعت نفت و گاز و پتروشیمی و همچنین مجموعه‌های انجام عملیات پشتیبانی و خدماتی را در خود جای داده در شکل (۱) نشان داده شده است به طوری که بخش شرقی آن عمدتاً کوهپایه‌ای و بخش غربی غالباً در برگیرنده جلگه‌های کران‌های می‌باشد. منطقه مطالعاتی دارای اقلیم گرم و مرطوب که در تابستان دمای بالای ۵۰ درجه و در زمستان دمای حداقل تا ۵ درجه را تجربه می‌کند و به ترتیب دارای متوسط دما و بارندگی سالیانه معادل ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. توپوگرافی خاص منطقه نیز باعث شده تا جهت باد غالب در نیمه‌ی غربی محدوده مورد مطالعه، از شمال‌غربی به جنوب‌شرقی و در نیمه‌ی شرقی آن از غرب به شرق می‌باشد. (سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ۱۳۹۴).

نیکل، مس و روی در خاک‌های منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در جنوب ایران به اجرا درآمده است. در مرحله بعد نیز سطوح/دامنه آلودگی فلزات مذکور در نمونه‌های خاک مورد مطالعه با استفاده از شاخص جامع آلودگی (IPI)<sup>(۵)</sup> مورد ارزیابی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، مساحتی به وسعت ۳۹۵/۴ کیلومتر مربع واقع در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در حاشیه‌ی شمالی خلیج فارس در استان بوشهر را شامل می‌شود. شیب متوسط زمین در این منطقه از ۰/۱ درصد در سواحل تا ۸ درصد در دامنه‌ها و عمق آب‌های زیرزمینی نیز از ۱- تا ۱۰- متر متغیر است. موقعیت جغرافیایی منطقه ویژه اقتصادی انرژی



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در ایران (راست) و محدوده‌ی مورد مطالعه (چپ)

**نمونه‌برداری خاک**

در محدوده‌ای به وسعت ۳۹۵/۴ کیلومتر مربع در درون منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (شکل ۱) طبق راهنمای ارزیابی خاک (Soil Survey Staff, 1993) و به روش تصادفی-سیستماتیک<sup>(۶)</sup> متناسب با واحدهای اراضی مجموعاً ۱۴ مقطع خاک<sup>(۷)</sup> هر یک در دو عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر (خاک در تماس با آلودگی‌های هوای ناشی از فعالیت‌های انسانی) و همچنین ۵۰-۴۰ سانتی‌متر (خاک در امان از آلودگی‌های هوای ناشی از فعالیت‌های انسانی) مورد نمونه‌برداری قرار گرفتند. نمونه‌های تهیه شده به آزمایشگاه منتقل و از حیث ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شامل pH، هدایت الکتریکی (Page 1982)، بافت خاک (Day, 1965)، ماده آلی (Hopkins, 2006)، فسفات (Olsen et al., 1954)، سولفات و نترات (Page et al., 1982) سنجش شدند. همچنین مقادیر ۹ فلز سنگین که در زمره عناصر کمیاب هستند شامل کادمیم، سلنیم، آرسنیک، کبالت، سرب، کروم، نیکل، مس و روی و همچنین سه عنصر مرجع<sup>(۸)</sup> Fe، Nb و U (Guedron et al., 2006) در نمونه‌ها پس از هضم اسیدی به روش ICP-MS<sup>(۹)</sup> (Falciani et al., 2000) توسط شرکت مطالعات مواد معدنی زرآما، تهران-ایران سنجش شد که برای کنترل و تضمین کیفیت اندازه‌گیری‌ها نیز از مرجع استاندارد (GEOSTATS) GBM-918 ساخت شرکت ORE Research & Exploration استرالیا استفاده شد.

**بخش‌های زمین‌زاد و انسان‌زاد فلزات سنگین**

با استفاده از نتایج به دست آمده از سنجش فلزات سنگین و با به‌کارگیری معادلات (۱) و (۲) (Guedron et al., 2006) تفکیک مقادیر زمین‌زاد و انسان‌زاد فلزات سنگین انجام شد:

$$[M_{Geogenic}]_s = [M_{Total}]_p / [E]_p \times [E]_s \quad (1)$$

$$[M_{Anthropogenic}]_s = [M_{Total}]_s - [M_{Geogenic}]_s \quad (2)$$

که پارامترهای معادلات (۱) و (۲) (Souri and Watanabe, 2013) عبارتند از:

$[E]_s$ : مقدار عنصر مرجع در نمونه سطحی (خاک در تماس با آلودگی‌های هوای ناشی از فعالیت‌های انسانی: در اینجا خاک عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر)

$[E]_p$ : مقدار عنصر مرجع در نمونه به دور از فعالیت‌های انسانی (خاک در امان از آلودگی‌های هوای ناشی از فعالیت‌های انسانی: در اینجا خاک عمق ۴۰-۵۰ سانتی‌متر)

$[M_{Total}]_p$ : مقدار کل فلز سنگین ذریبند در نمونه به دور از فعالیت‌های انسانی (خاک در امان از آلودگی‌های هوای ناشی از فعالیت‌های انسانی: در اینجا خاک عمق ۴۰-۵۰ سانتی‌متر)

$[M_{Geogenic}]_s$ : سهم زمین‌زاد فلز سنگین ذریبند در نمونه‌ی سطحی (خاک در تماس با آلودگی‌های هوای ناشی از فعالیت‌های انسانی: در اینجا خاک عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر)

$[M_{Total}]_s$ : مقدار کل فلز سنگین ذریبند در نمونه سطحی (خاک در تماس با آلودگی‌های هوای ناشی از فعالیت‌های انسانی: در اینجا خاک عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر)

$[M_{Anthropogenic}]_s$ : سهم انسان‌زاد فلز سنگین ذریبند در نمونه‌ی سطحی (خاک در تماس با آلودگی‌های هوای ناشی از فعالیت‌های انسانی: در اینجا خاک عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر)

**شاخص جامع آلودگی (IPI)**

این شاخص برای برآورد آلودگی خاک به فلزهای سنگین مورد استفاده قرار گرفته است (Hakanson, 1980). بر پایه این شاخص می‌توان غلظت فلزات سنگین را در برابر غلظت زمینه<sup>(۱۰)</sup> آن‌ها سنجید و سطح/دامنه آلودگی خاک را مشخص نمود (معادله ۳):

$$PI_i = \frac{C_i}{B_i} \quad (3)$$

$$IPI = \left( \prod_{i=1}^n PI_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

که در معادله (۳) به ترتیب  $PI_i$  شاخص آلودگی،  $C_i$  غلظت فلز سنگین نام در نمونه‌ی مورد بررسی و  $B_i$  غلظت زمینه‌ای فلز سنگین نام در پوسته زمین و  $i$  تعداد فلزات سنگین کمیاب اندازه‌گیری شده در نمونه است. نهایتاً با استفاده از معادله (۴) کمیت شاخص IPI به صورت میانگین مقادیر PI برای تمامی فلزات اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود که در آن IPI میانگین هندسی شاخص PI و  $n$  معرف تعداد آلاینده‌ها است.

**پردازش آماری داده‌ها**

از نسخه ۲۶ نرم‌افزار آماری SPSS در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. به دین صورت که از آزمون شاپیرو-ویلک<sup>(۱۲)</sup> برای بررسی نرمال بودن داده‌های خاک سطحی استفاده شد.

**نتایج و بحث**

مقادیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سنجش شده برای خاک سطحی در ۱۴ نقطه نمونه‌برداری شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

براساس نتایج موجود در جدول (۲)، پارامتر pH در نقاط نمونه‌برداری در یک دامنه ۱۲٪ نوسان دارد به طوری که بیشترین مقدار آن در نقطه شماره ۵ (۷/۹۷) و کمترین مقدار

ضمناً طبقه‌بندی مقادیر (سطح/دامنه) شاخص جامع آلودگی حاصله در چهار گروه چنان که در جدول (۱) آمده است صورت گرفت.

**جدول (۱): طبقه‌بندی مقادیر (سطح/دامنه) شاخص جامع آلودگی (Hakanson, 1980)**

مقدار فاکتور	درجه‌ی آلودگی
۰	بدون آلودگی
۱	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
۲	آلودگی متوسط
۳	آلودگی متوسط تا قوی
۴	آلودگی قوی
۵	آلودگی قوی تا خیلی قوی
۶	آلودگی خیلی قوی

**جدول (۲): ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سنجش شده برای خاک سطحی (عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر) در ۱۴ نقطه نمونه‌برداری شده**

نمونه	pH	هدایت الکتریکی	ماده آلی	فسفات	نیترات	سولفات	بافت		
							شن	سیلت	رس
		dS/m	%	mg/kg soil			%		
۱	۷/۸۷	۱۵/۸۹	۱/۷۰	۳۰/۸۱	۰/۰۰۱۱	۵۳۲/۸۸	۶۵	۱۱	۲۳
۲	۷/۱۱	۲/۸۵	۲/۷۹	۵/۰۵	۰/۰۰۵۲	۴۳۲/۴۵	۶۵	۱۳	۲۱
۳	۷/۷۶	۲/۲۴	۱/۳۶	۸/۱۸	۰/۰۰۷۸	۴۵۲/۸۸	۶۷	۱۵	۱۷
۴	۷/۸۵	۱۳/۲۲	۰/۵۱	۸/۶۹	۰/۰۱۶۸	۹۳۵/۱۵	۶۷	۹	۲۳
۵	۷/۹۷	۱۷/۵۸	۱/۸۴	۴/۳۷	۰/۰۸۲۲	۸۳۳/۰۲	۶۵	۱۵	۱۹
۶	۷/۶۹	۴۲/۲۰	۱/۵۳	۳/۶۶	۰/۰۳۸۹	۷۲۷/۴۹	۷۳	۹	۱۷
۷	۷/۳۹	۴۵/۲۰	۲/۱۸	۱۲/۸۹	۰/۰۰۹۷	۵۴۹/۳۳	۶۳	۹	۲۷
۸	۷/۲۱	۲۲/۸	۳/۰۶	۱۸/۸۶	۰/۰۴۴۱	۸۰۱/۸۲	۷۵	۹	۱۵
۹	۷/۲۲	۴/۳۲	۳/۲۷	۱۷/۴۴	۰/۰۸۱۵	۵۰۳/۳۸	۷۱	۱۳	۱۵
۱۰	۷/۱۱	۱۶/۹۳	۱/۰۹	۹/۲۰	۰/۰۱۱۶	۶۳۲/۷۴	۶۹	۱۳	۱۷
۱۱	۷/۷۵	۳/۸۴	۳/۳۳	۱۶/۲۰	۰/۱۹۱۳	۱۰۲۵/۳۶	۶۹	۱۳	۱۷
۱۲	۷/۸۰	۶/۳۱	۲/۷۲	۱۰/۶۱	۰/۰۴۸۶	۹۶۹/۷۶	۶۳	۱۷	۱۹
۱۳	۷/۸۵	۵/۸۹	۱/۰۲	۱۲/۰۳	۰/۱۷۶۰	۵۵۵/۵۷	۷۱	۱۱	۱۷
۱۴	۷/۸۶	۱۰/۵۶	۲/۰۴	۱۳/۰۳	۰/۰۱۶۱	۸۸۰/۱۱	۶۵	۹	۲۵
حداقل	۷/۱۱	۲/۲۴	۰/۵۱	۳/۶۶	۰/۰۰۱۱	۴۳۲/۴۵	۶۳	۹	۱۵
حداکثر	۷/۹۷	۴۵/۲۰	۳/۳۳	۳۰/۸۱	۰/۱۹۰۰	۱۰۲۵/۳۶	۷۵	۱۷	۲۷
میانگین	۷/۶۴	۱۴/۹۹	۲/۰۳	۱۲/۲۲	۰/۰۵۰۰	۷۰۲/۲۸	۶۷/۷۱	۱۱/۸۶	۱۹/۴۳
انحراف معیار	۰/۳۱	۱۳/۲۴	۰/۸۶	۶/۸۷	۰/۰۶۰۰	۱۹۶/۸۴	۳/۵۹	۲/۵۹	۳/۶۴

هدایت الکتریکی خاک نیز در دامنه‌ای بین ۴۵/۲ (در نقطه نمونه‌برداری شماره ۷) تا ۲/۲۴ dS/m (در نقطه نمونه‌برداری شماره ۳) متغیر بود. میزان ماده آلی نیز بین حداقل ۰/۵۱ (نقطه

pH در نقاط شماره ۲ و ۱۰ (۷/۱۱) مشاهده شد. بر این اساس خاک منطقه‌ی مطالعاتی دارای pH بالاتر از ۷ بوده و اندکی قلیایی است.

۱۱ (شماره ۱۱) تا حداکثر ۳/۳۳ درصد (نقطه شماره ۴) نوسان داشت به طوری که مقادیر بیش از ۲ درصد ماده آلی در خاک برخی باغات و اراضی زارعی موجود در منطقه مشاهده شد. نتایج سنجش فسفات در نمونه‌های برداشت شده بیانگر دامنه‌ای از تغییرات حدود ۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود به طوری که حداکثر فسفات در نقطه شماره ۱ (۳۰/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و حداقل آن در نقطه شماره ۶ (۳/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) مشاهده شد. مقادیر نیترات نیز، بین بیشینه ۰/۱۹۱۳ (شماره ۱۱) و کمینه ۰/۰۰۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (شماره ۱) اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار سولفات نیز در نقطه شماره

۱۱ (شماره ۱۱) تا حداکثر ۳/۳۳ درصد (نقطه شماره ۴) نوسان داشت به طوری که مقادیر بیش از ۲ درصد ماده آلی در خاک برخی باغات و اراضی زارعی موجود در منطقه مشاهده شد. نتایج سنجش فسفات در نمونه‌های برداشت شده بیانگر دامنه‌ای از تغییرات حدود ۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود به طوری که حداکثر فسفات در نقطه شماره ۱ (۳۰/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و حداقل آن در نقطه شماره ۶ (۳/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) مشاهده شد. مقادیر نیترات نیز، بین بیشینه ۰/۱۹۱۳ (شماره ۱۱) و کمینه ۰/۰۰۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (شماره ۱) اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار سولفات نیز در نقطه شماره

### جدول (۳): مقادیر سنجش شده به همراه میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در

خاک سطحی (عمق ۱۰-۱ سانتی‌متر) در ۱۴ نقطه نمونه‌برداری شده

Zn	Se	Pb	Ni	Cu	Cr	Co	Cd	As	نمونه
mg/kg soil									
۱۲	۰/۸۷	۳	۱۱	۱۱	۱۳	۱/۸	۰/۲	۰/۱	۱
۲۸	۱/۰۶	۴	۲۵	۱۲	۲۸	۴/۵	۰/۱	۲/۲	۲
۱۷	۱/۳۸	۲	۱۹	۱۴	۲۷	۲/۱	۰/۱	۰/۲	۳
۶۷۳	۱/۲۴	۳۰	۲۳	۳۰۹	۴۱	۶/۶	۰/۲	۲/۶	۴
۱۵۶	۰/۷۷	۲۰	۲۲	۲۲	۲۹	۳/۲	۰/۲	۰/۸	۵
۸	۱/۰۹	۳	۲۱	۱۴	۴۸	۳/۳	۰/۲	۱/۱	۶
۲۱	۱/۲۷	۵	۲۷	۱۵	۳۷	۴/۴	۰/۲	۰/۴	۷
۱	۰/۹۱	۱	۶	۷	۹	۱	۰/۱	۰/۱	۸
۹	۱/۲۶	۵	۲۱	۱۳	۳۰	۲/۹	۰/۲	۰/۱	۹
۲۰	۱/۲۱	۶	۵۸	۲۰	۱۳۵	۹	۰/۱	۲/۹	۱۰
۱۵	۲/۰۵	۳	۱۸	۱۲	۲۶	۲/۵	۰/۲	۰/۱	۱۱
۱۸	۰/۹۸	۶	۳۱	۱۶	۴۴	۴/۵	۰/۳	۰/۱	۱۲
۱۷	۱/۴۲	۶	۲۰	۱۶	۳۰	۳/۴	۰/۲	۰/۷	۱۳
۱۳	۱/۲۳	۳	۲۰	۱۲	۲۵	۲/۶	۰/۲	۰/۵	۱۴
۷۲/۰۰	۱/۲۰	۶/۹۳	۲۳/۰۰	۳۵/۲۱	۳۷/۲۹	۳/۷۰	۰/۱۸	۰/۸۵	میانگین
۱۷۰/۶۹	۰/۳۰	۷/۷۶	۱۱/۳۷	۷۶/۰۲	۲۸/۹۸	۱/۹۹	۰/۰۶	۰/۹۵	انحراف معیار
۲۳۷	۲۵	۱۱۲	۴۹	۲۱۶	۷۸	۵۴	۳۴	۱۱۲	ضریب تغییرات (%)

۰/۹۰۴،  $t$  دارای همبستگی معنی‌دار مثبت بودند. در شکل (۲) برآورد سهم مقادیر انسان‌زاد و زمین‌زاد برای سه عنصر کادمیم ( $Density = 8.650 \text{ kg/m}^3$ )، سلیسیم ( $Density = 4.819 \text{ kg/m}^3$ ) و همچنین آرسنیک ( $Density = 5.727 \text{ kg/m}^3$ ) (Ptable, 2021) با استفاده از عناصر مرجع Nb، Fe و U در خاک سطحی نقاط نمونه‌برداری شده نشان داده شده است.

مطابق نتایج آزمون شاپیرو-ویلک اکثر متغیرها توزیع غیرنرمال نشان دادند و فقط سلیسیم و کبالت و تا حدی نیکل نرمال بودند ( $P > 0.05$ ). از این رو توزیع داده‌ها نرمال شد و به دین ترتیب متغیرهای آرسنیک، کبالت، سلیسیم و نیکل توزیعی نرمال پیدا کردند. سپس متغیرهای دارای توزیع نرمال به کمک آزمون ضریب همبستگی پیرسون<sup>(۱۳)</sup> بررسی شدند که در نتیجه آرسنیک با کبالت ( $t = 0.791$ ،  $P = 0.001$ )، آرسنیک با نیکل ( $t = 0.602$ ،  $P = 0.023$ ) و همچنین کبالت با نیکل ( $t = 0.602$ ،  $P = 0.023$ )

شکل (۳) برآورد سهم مقادیر انسان‌زاد و زمین‌زاد برای سه عنصر کبالت ( $Density = 8.900 \text{ kg/m}^3$ )، سرب ( $Density = 11.340 \text{ kg/m}^3$ ) و همچنین کروم ( $Density = 7.190 \text{ kg/m}^3$ ) با استفاده از عناصر مرجع Fe، Nb و U در خاک سطحی نقاط نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد.

بیشترین و کمترین غلظت سهم زمین‌زاد عنصر کبالت به ترتیب در نقاط شماره ۸ و ۱۰ منطقه مطالعاتی دیده می‌شود که با توجه به فاصله نسبتاً اندک این دو نقطه از یکدیگر موید تفاوت زیاد و همچنین نامنظم محتوای این عنصر در منطقه ناشی از تنوع در میزان عناصر تشکیل دهنده مواد مادری خاک می‌باشد. سهم انسان‌زاد عنصر کبالت نیز حاکی از میزان اندک آن در خاک سطحی منطقه است به طوری که میزان حداکثر آن با غلظت کمتر از ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نقطه شماره ۹ واقع در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود که می‌تواند منتج از فعالیت‌های پالایشگاهی در میانه محدوده که به وسیله باد غالب به بخش شرقی حمل شده باشد.

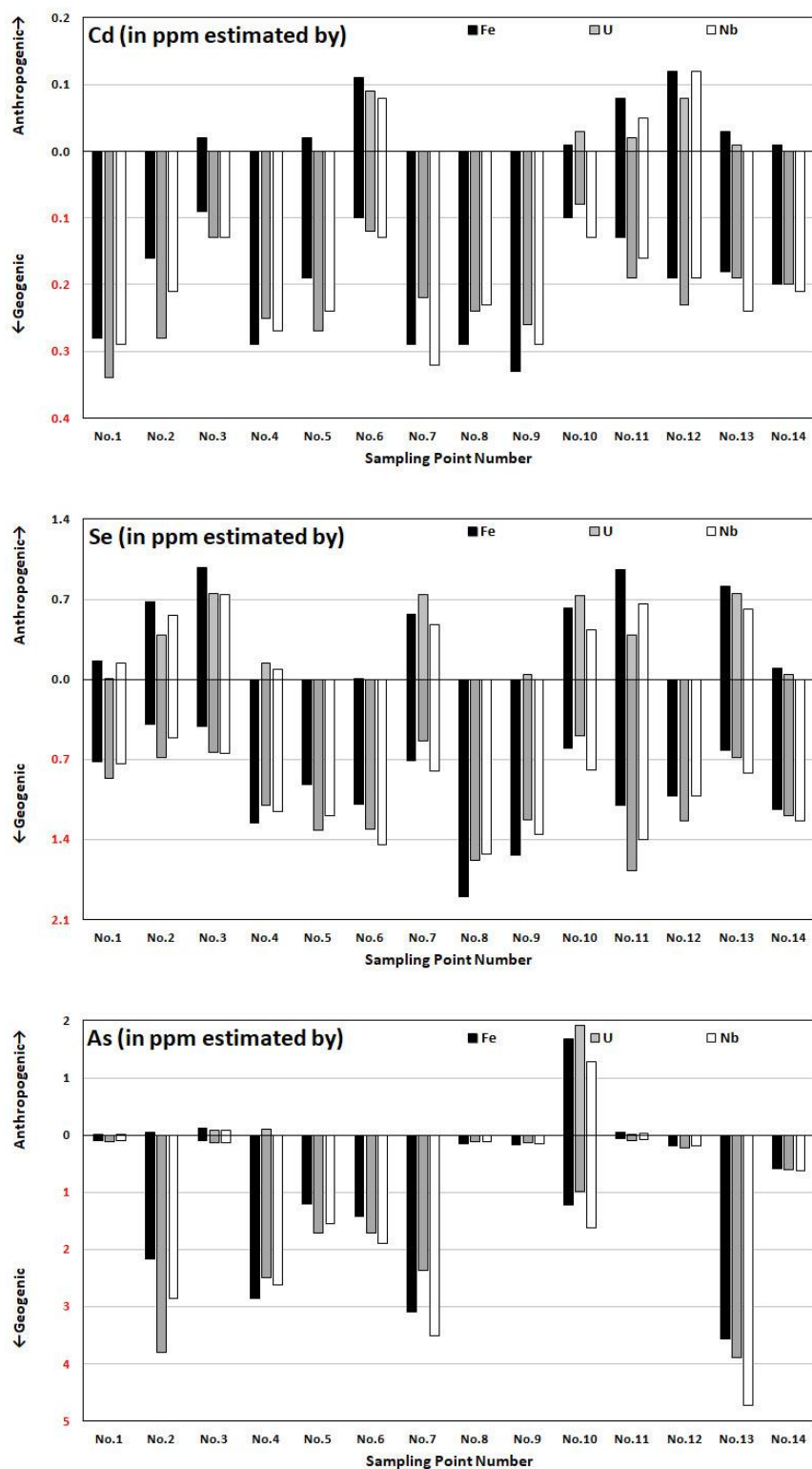
برای عنصر سرب، بیشترین سهم انسان‌زاد در نقاط شماره ۴ و ۵ که در مجاورت مجتمع‌های پالایشگاهی قرار دارند مشاهده شد. این امر می‌تواند با توجه به چگالی بالای عنصر سرب نشست یا سقوط سریع سرب بلافاصله پس از متصاعد شدن آن از پالایشگاه‌ها را توجیه نماید. ضمناً نتایج به دست آمده حاکی از میزان بسیار کم‌تر سهم انسان‌زاد این عنصر در مقایسه با سهم زمین‌زاد آن در خاک سطحی منطقه مورد مطالعه است.

در خصوص عنصر کروم با توجه به مشاهده همزمان بیشترین سهم‌های انسان‌زاد و زمین‌زاد در نقطه شماره ۱۰ به نظر می‌رسد که به واسطه توزیع اتفاقی (تصادفی) مواد مادری خاک، بخش زمین‌زاد این عنصر نیز در همین نقطه که حداکثر سهم انسان‌زاد این عنصر حادث شده وجود داشته است و یا اینکه برآورد سهم‌های انسان‌زاد و زمین‌زاد عنصر کروم به وسیله عناصر مرجع مورد استفاده در این مطالعه (Fe، Nb و U) کارایی مناسبی از خود نشان نداده است. در مورد اخیر لازم به ذکر است که فرض عناصر مرجع اینجا (Fe، Nb و U) در قیاس با عنصر هدف (در اینجا کروم) مقاومت بیشتر آن‌ها نسبت به هواپدگی است که تحت شرایط خاص از جمله نوع کانی‌های محتوی عناصر هدف و یا مرجع می‌تواند عملاً محقق نشده باشد (Guedron et al., 2006; Souri and Watanabe, 2013).

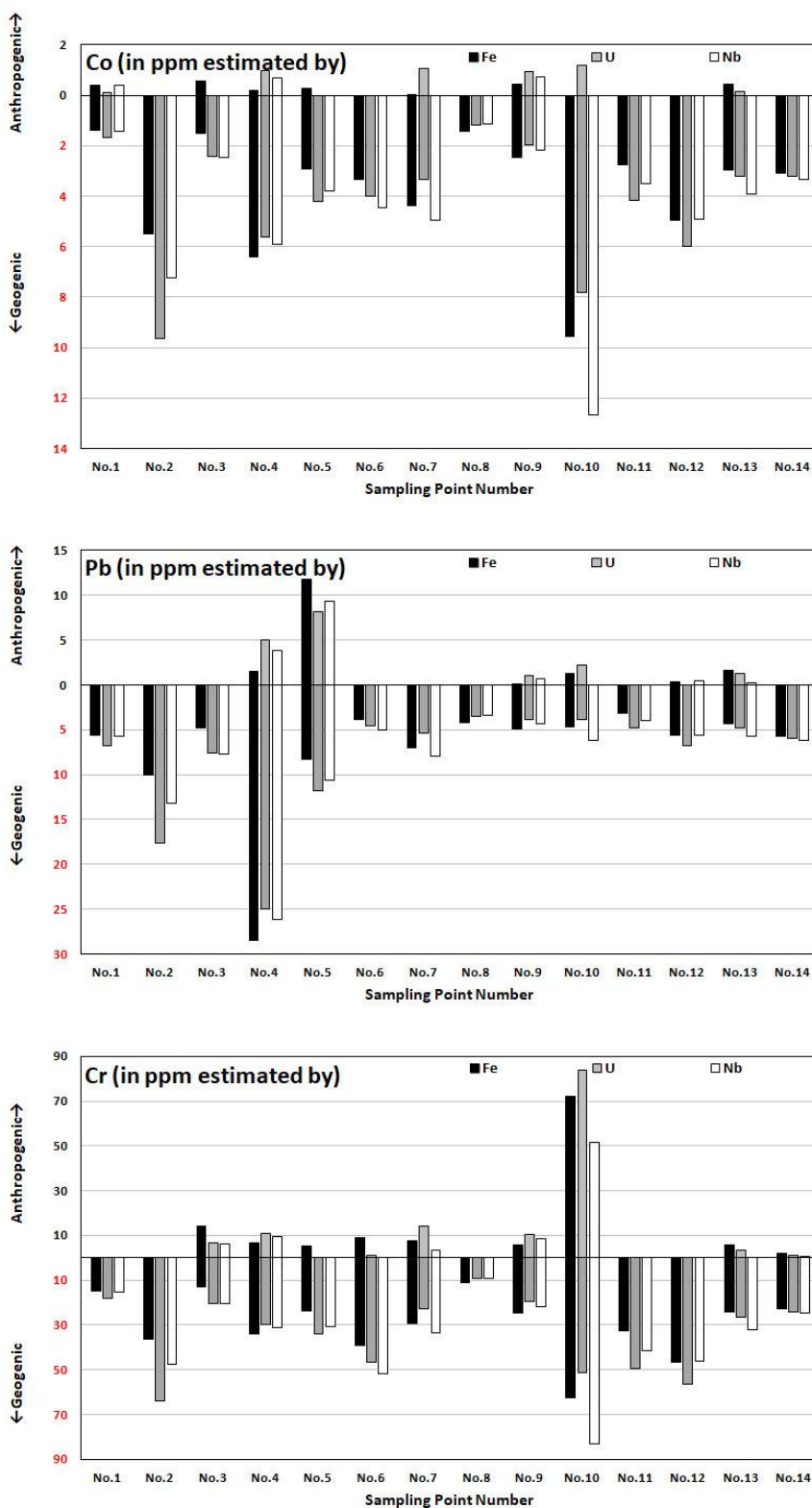
نگاهی به توزیع مقادیر انسان‌زاد عنصر کادمیم نشان می‌دهد که خاک سطحی در دو بخش میانی (نقطه شماره ۶) و شرقی (نقاط شماره ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳) منطقه مطالعاتی دارای محتوی بیشتری از کادمیم با منشا انسان‌زاد هستند به طوری که بخش میانی محل استقرار و تجمع صنایع پالایشگاهی بوده و بخش شرقی در جهت وزش باد غالب منطقه قرار دارد. این در حالیست که توزیع سهم زمین‌زاد کادمیم حاکی از مقادیر بیشتر آن در بخش‌های غربی و میانی محدوده مطالعه شده دارد که البته با محتوی این عنصر در مواد مادری خاک مرتبط است. به نظر می‌رسد مجتمع‌های پالایشگاهی تمرکز یافته در میانه محدوده مطالعاتی عامل اصلی افزایش سهم انسان‌زاد کادمیم در بخش میانی منطقه بوده ضمن آن که جهت وزش باد غالب (از غرب به شرق) موجب شده تا کادمیم ناشی از فعالیت صنایع پالایشگاهی مستقر در بخش میانی پس از ورود به هوا به سمت شرق حرکت نموده و تمرکز بیشتری را در خاک سطحی این مناطق نشان دهد.

گرچه توزیع سهم زمین‌زاد عنصر سلنیم تغییرات نامنظمی را که طبیعتاً مرتبط با محتوی این عنصر در موارد مادری خاک است نشان می‌دهد لیکن تغییرات سهم انسان‌زاد سلنیم مقادیر بیشتر آن را در نقاط شماره ۱۰، ۱۱ و ۱۳ (واقع در بخش شرقی)، نقاط ۱، ۲ و ۳ (واقع در بخش غربی) و نقطه شماره ۷ (واقع در بخش میانی) منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که در مورد اخیر منطبق بر مکان تمرکز مجتمع‌های پالایشگاهی بوده ضمن آن که افزایش غلظت انسان‌زاد در نقاط شماره ۱۰، ۱۱ و ۱۳ از مسیر وزش باد غالب تبعیت می‌نماید. به نظر می‌رسد افزایش غلظتی که در نقاط ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شود احتمالاً در ارتباط با آلودگی‌های ناشی از دی‌پوی برخی محصولات حاصل از فرآیند پالایش گاز خصوصاً گوگرد پودری (Goar, 1986) در بخش غربی محدوده مطالعاتی باشد.

بررسی غلظت عنصر آرسنیک نیز حاکی از الگوی نامنظم توزیع آرسنیک زمین‌زاد (ناشی از مواد مادری خاک) در منطقه می‌باشد در حالی که آرسنیک انسان‌زاد به صورت مشخص افزایش قابل توجهی در منتهی‌الیه شرق منطقه مورد مطالعه (نقطه شماره ۱۰) نشان می‌دهد که می‌تواند مرتبط با انتقال آلودگی‌های متصاعد شده از صنایع موجود در بخش مرکزی به وسیله باد غالب و سپس فرود آن‌ها در خاک سطح‌الارض بخش شرقی محدوده مطالعاتی باشد.



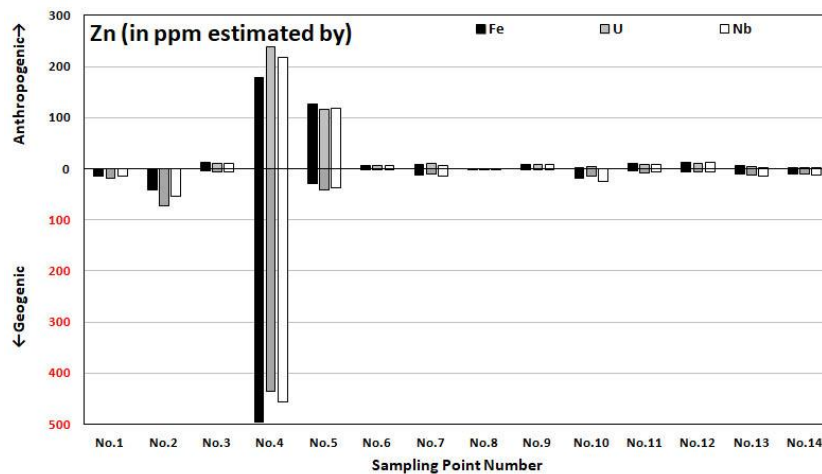
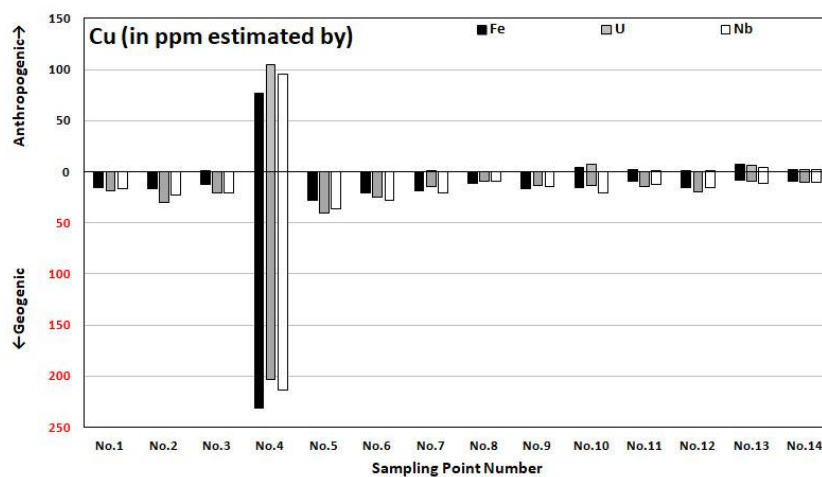
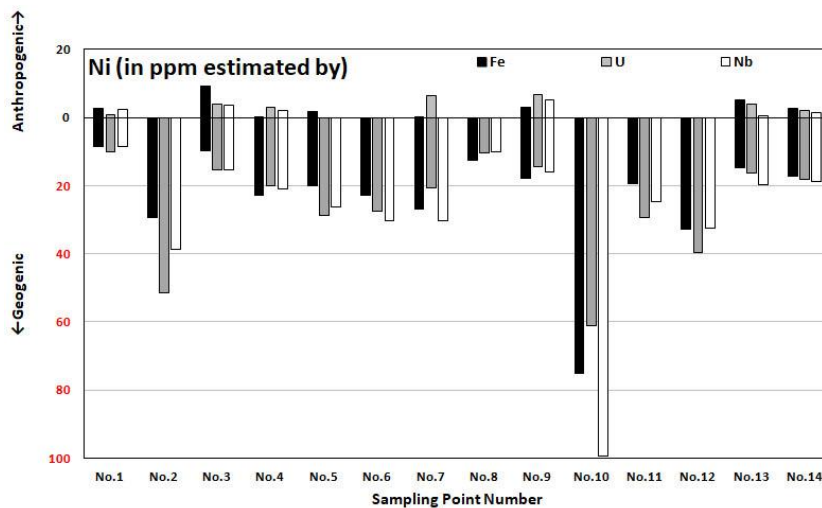
شکل (۲): مقادیر برآورد شده برای سهم بخش‌های زمین‌زاد و انسان‌زاد عناصر کادمیم، سلنیم و آرسنیک در خاک سطحی ۱۴ نقطه نمونه‌برداری شده با استفاده از سه عنصر مرجع آهن، اورانیم و نیوبیوم



شکل (۳): مقادیر برآورد شده برای سهم بخش‌های زمین‌زاد و انسان‌زاد عناصر کبالت، سرب و کروم در خاک سطحی ۱۴ نقطه نمونه برداری شده با استفاده از سه عنصر مرجع آهن، اورانیوم و نیوبیوم

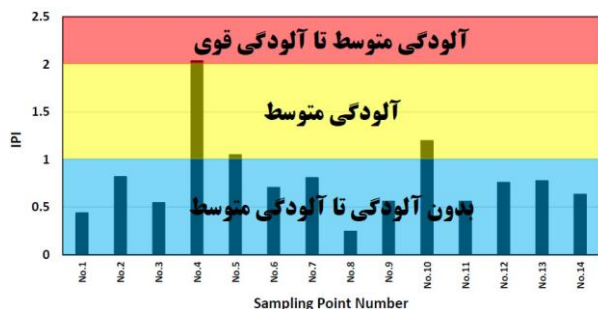
استفاده از عناصر مرجع Fe، Nb و U در خاک سطحی نقاط نمونه‌برداری شده ارائه شده است.

در شکل (۴) برآورد سهم مقادیر انسان‌زاد و زمین‌زاد برای سه عنصر نیکل ( $Density = 8.908 \text{ kg/m}^3$ )، مس ( $Density = 7.140 \text{ kg/m}^3$ ) و روی ( $Density = 8.960 \text{ kg/m}^3$ ) با



شکل (۴): مقادیر برآورد شده برای سهم بخش‌های زمین‌زاد و انسان‌زاد عناصر نیکل، مس و روی در خاک سطحی ۱۴ نقطه نمونه‌برداری شده با استفاده از سه عنصر مرجع آهن، اورانیوم و نیوبیوم





شکل (۵): مقادیر (سطح/دامنه) برآورد شده برای شاخص جامع آلودگی با استفاده از فلزات کمیاب مورد مطالعه در خاک سطحی ۱۴ نقطه نمونه برداری شده

### نتیجه‌گیری

این مطالعه کارایی روش ارائه شده در این پژوهش برای تفکیک سهم زمین‌زاد و انسان‌زاد فلزات سنگین در خاک سطحی را به اثبات رساند به طوری که در محدوده پارس جنوبی مقایسه نتایج حاصله با توزیع فعالیت‌های انسانی شامل صنایع پالایشگاهی، مجتمع‌های پتروشیمی و مشعل‌های موجود مطابقت داشت. علاوه بر این با وجود وفور صنایع پالایشگاهی و مجتمع‌های پتروشیمی خاک سطحی در پهنه منطقه پارس جنوبی از نظر میزان آلودگی به ۹ عنصر مورد مطالعه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط ارزیابی شد. به طوری که تنها در یک نقطه مجاور صنایع و مجتمع‌های مذکور واقع در میانه پارس جنوبی آلودگی متوسط تا قوی و همچنین در دو نقطه واقع در بخش شرقی آلودگی متوسط مشاهده شد. لازم به ذکر است که جهت وزش باد غالب از غرب به شرق و همچنین وجود ارتفاعات نوار شمالی محدوده پارس جنوبی نقش موثری در الگوی انتشار آلاینده‌های متصاعد شده از صنایع و مجتمع‌های موجود و ورود این آلاینده‌ها به خاک سطحی در این منطقه دارد. از این رو اتخاذ تدابیر لازم به منظور ممانعت از انتشار بیشتر آلاینده‌های ناشی از فعالیت صنایع و مجتمع‌های موجود در این منطقه برای جلوگیری از افزایش آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی ضروری به نظر می‌رسد. ضمناً فهم دقیق‌تر الگوی پراکنش سهم‌های زمین‌زاد و انسان‌زاد فلزات سنگین در این منطقه نیازمند مطالعات تکمیلی و انجام نمونه‌برداری‌های گسترده‌تر است که به دلیل محدودیت‌های بودجه‌ای در مطالعه حاضر میسر نشد.

پراکنش سهم زمین‌زاد عنصر نیکل در منطقه بیشترین مقادیر را به ترتیب در نقاط شماره ۱۰ و ۲ واقع در دو سوی نشان می‌دهد که به تنوع محتوی این عنصر در مواد مادری خاک مربوط می‌شود. این درحالیست که توزیع سهم انسان‌زاد عنصر نیکل مقادیری بسیار کمتر و پراکنشی نامنظم در خاک سطحی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که نقاط ۷، ۹، ۱۳ و ۱۴ عمدتاً در اطراف مجتمع‌های پالایشگاهی و خصوصاً مشعل‌های<sup>(۱۴)</sup> موجود در منطقه واقع شده‌اند.

عناصر مس و روی به واسطه همبودی در بسیاری از کانسارها همواره مقادیر و رفتارهای مشابهی را در فرآیندهای هوازدگی مواد مادری و ژنز خاک از خود بروز می‌دهند. از این رو در محدوده مطالعه شده وضعیت مشابه سهم انسان‌زاد این دو عنصر مبنی بر افزایش شدید و مشهود در خاک سطحی نقطه شماره ۴ از این منظر قابل توضیح می‌باشد. در خصوص سهم انسان‌زاد این دو عنصر نیز وضعیتی مشابه دیده می‌شود به گونه‌ای که بیشترین مقادیر در خاک سطحی نقطه شماره ۴ که در مجاورت مجتمع‌های پالایشگاهی قرار دارد سنجش شده است. البته در خصوص عنصر روی افزایش محسوسی نیز در خاک سطحی نقطه شماره ۵ در مقایسه با عنصر مس یافت شد که می‌تواند با چگالی کمتر عنصر روی نسبت به عنصر مس و حمل آسان‌تر آن در جهت وزش باد غالب در منطقه از نقطه شماره ۴ به نقطه شماره ۵ مرتبط باشد.

چنان‌که در شکل (۵) آمده مقادیر برآورد شده شاخص آلودگی و درجات آن برای مقادیر کل (مجموع سهم زمین‌زاد و سهم انسان‌زاد) ۹ عنصر کمیاب مورد مطالعه نمایش داده شده است. بر همین اساس در خاک سطحی نقطه شماره ۴ که در میان محل استقرار تأسیسات پالایشگاهی قرار دارد درجه (سطح/دامنه) آلودگی خاک سطحی برای ۹ عنصر کمیاب مورد بررسی با عبارت «آلودگی متوسط تا قوی»، برای نقاط شماره ۵ و ۱۰ که به ترتیب در مجاورت مکان استقرار تأسیسات پالایشگاهی و همچنین منتهی‌الیه شرقی محدوده مطالعاتی و هم جهت با مسیر وزش باد غالب قرار دارند با عبارت «آلودگی متوسط» و برای سایر نقاط با عبارت «بدون آلودگی تا آلودگی متوسط» توصیف شده است.

3. Anthropogenic
4. Trace Elements
5. Integrated Pollution Index
6. Systematic Random Sampling
7. Pedon
8. Reference Element
9. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
10. Background Concentration
11. Pollution Index
12. Shapiro–Wilk Test
13. Pearson Correlation Coefficient
14. Flare

### تشکر و قدردانی

نویسندگان بدینوسیله کمال تشکر و قدردانی خود بابت تمامی پشتیبانی‌های صورت گرفته و همچنین حمایت مالی انجام شده (تفاهم‌نامه شماره ۹۸/۱۹۸۹ مورخ ۱۳۹۸/۱/۱۹ و نامه شماره ۷۱۲۲ مورخ ۱۳۹۹/۲/۱۰) توسط «سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس» از این تحقیق را اعلام می‌دارند.

### یادداشت‌ها

1. Heavy Metals
2. Geogenic

### فهرست منابع

- Alloway, B.J. 1995. Heavy metals in soils. 2nd edition. Blackie Academic and Professional, London, UK.
- Azimzadeh, B., Khademi, H., 1392. Estimation of Background Concentration of Selected Heavy Metals for Pollution Assessment of Surface Soils of Mazandaran Province, Iran. Iranian Journal of Water and Soil. 27(3), 548-559. (In Persian)
- Bakradze, E.; Vodyanitskii, Y.; Urushadze, T. & Chankseliani, Z. 2018. About rationing of the heavy metals in soils of Georgia, Annals of Agrarian Science. 16, 1-6.
- Barbieri, M. 2015. The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination. Journal of Geology and Geophysics. 5, 1.
- Baydarashvili, M.; Shrednik, N. & Spasovskaia, A. 2017. Detection method of pollution with heavy metals ions of the soil. Procedia Engineering. 189, 630-636.
- Bhuiyan, M. A.; Parvez, L.; Islam, M. A.; Dampare, S. B. & Suzuki, S. 2010. Heavy Metal Pollution of Coal Mine-Affected Agricultural Soils in the Northern Part of Bangladesh. Journal of Hazardous Materials. 173, 384-392.
- Chen, H.; Teng, Y.; Lu, S.; Wang, Y. & Wang, J. 2015. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. Science of the Total Environment. 512, 143-153.
- Dabiri, R.; Bakhshi Mazdeh, M. & Mollai, H. 2017. Heavy metal pollution and identification of their sources in soil over Sangan iron-mining region, NE Iran. Journal of Mining and Environment. 8(2), 277-289.
- Day, PR. 1965. Particle fractions and particle-size analysis. In: Black CA (ed) Methods of soil analysis: Part 1. American Society of Agronomy, Madison, pp 545–567.
- Deligani, F.; Kazemi, Gh.; Parvin Nia, M. & Khakshoor, M. 1388. Enrichment and Distribution of Heavy Metals in among soils of Pars Special Economic Energy Zone. Eight international Congress Civil Engineering. University of Shiraz. (In Persian)
- Fazelvalipour, B.; Fazelvalipour, M. E. & Dabiri, R. 2016. Geochemical distribution assessment of the heavy metals consequent mafic and ultra-mafic stones in robot sefid region soil (south of Mashhad). 20<sup>th</sup> conference of Geological Association of Iran. University of Tehran. (In Persian)
- Falciani, R.; Novaro, E.; Marchesini, M. & Gucciardi, M. 2000. Multi-element analysis of soil and sediment by ICP-MS after a microwave assisted digestion method. Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 15, 561-565.
- Goar, B. 1986. Sulfur Recovery Technology: American Institute of Chemical Engineers, New York, NY.
- Grimaldi, C.; Grimaldi, M. & Guedron, S. 2008. Mercury distribution in tropical soil profiles related to origin of mercury and soil processes. Science of the total Environment. 401, 121-129.

- Gurumoorthi, K. & Venkatachalapathy, R. 2016. Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanyakumari coastal sediments, southern India. *Pollution*. 2(3), 269-287.
- Guedron, S.; Grimaldi, C.; Chauvel, C.; Spadini, L. & Grimaldi, M. 2006. Weathering versus atmospheric contributions to mercury concentrations in French Guiana soils. *Applied Geochemistry*. 21, 2010-2022.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8): 975-1001.
- Hopkins, DW. 2006. Carbon mineralization. In: Carter MR, Gregorich EG (eds) *Soil sampling and methods of analysis*. Taylor and Francis, London, pp 589–598.
- Hu, Y. & Cheng, H. 2013. Application of stochastic models in identification and apportionment of heavy metal pollution sources in the surface soils of a large-scale region. *Environmental Science and Technology*. 47(8), 3752-3760.
- Hu, Y.; Liu, X.; Bai, J.; Shih, K.; Zeng, E.Y. & Cheng, H. 2013. Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*. 20, 6150-6159.
- Ihedioha, J.N.; Ukoha, P.O. & Ekere, N.R. 2017. Ecological and human health risk assessment of heavy metal contamination in soil of a municipal solid waste dump in Uyo, Nigeria. *Environmental Geochemistry and Health*. 39, 497-515.
- Jorfi, S.; Maleki, R. & Jaafarzadeh, N. 2017. Pollution Load Index for heavy metals in Mian-Ab plain soil, Khuzestan, Iran. *Data in Brief*. 15, 584-590.
- Li, Z.; Ma, Z.; Kuijp, T.J.; Yuan, Z. & Huang L. 2014. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Science of the Total Environment*. 468, 843-853.
- Likuku, A. S.; Mmolawa, K. B. & Gaboutloeloe, G. K. 2013. Assessment of Heavy Metal Enrichment and Degree of Contamination around the Copper-Nickel Mine in the Selebi Phikwe Region, Eastern Botswana. *Environment and Ecology Research* (1.2), 32-40.
- Liu, P.; Zhao, H.; Wang, L.; Liu, Z.; Wei, J.; Wang, Y.; Jiang, L.; Dong, L. & Zhang, Y. 2011. Analysis of heavy metal sources for vegetable soils from Shandong province, China. *Agricultural Sciences in China*. 10(1), 109-119.
- Mico, C.; Recatala, L.; Peris, M. & Sanchez, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*. 65(5), 863-872.
- Mireles, F.; Davila, J.I.; Pinedo, J.L.; Reyes, E.; Speakman, R.J. & Glascock, M.D. 2012. Assessing urban soil pollution in the cities of Zacatecas and Guadalupe, Mexico by instrumental neutron activation analysis. *Microchemical Journal*. 103, 158-164.
- Mohammadi, S.M.; Lorestani, B.; Sobhanardakani, S.; Cheraghi, M. & Tayebi, L. 2021. Source identification and ecological risk assessment of some heavy metals in surface soils collected from the vicinity of Arad-Kouh processing and disposal complex, Tehran, Iran. *Environmental Sciences*. 19(3), 1-22. (In Persian)
- Muller, G. & Putz, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*. 2, 108-118.
- Obiora, S. C.; Chukwu, A.; Toteu, S. F. & Davies, T. C. 2016. Assessment of Heavy Metal Contamination in Soils Around Lead (Pb)-Zinc (Zn) Mining Areas in Enyigba, Southeastern Nigeria. *Journal of the Geological Society of India*. 87(4), 453-462.
- Olatunji O. S.; Opeolu B. O.; Fatoki O. S. & Ximba B. J. 2013. Heavy metals concentration levels in selected arable agricultural soils in South Western Nigeria. *International Journal of Physical Sciences*, 8(11): 421-427.

- Olsen, S. R.; Cole, C. V.; Watanabe, F. S. & Dean, L. A. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. U. S. Department of Agriculture Circular No. 939. Banderis, A. D., D. H. Barter and K. Anderson. Agricultural and Advisor.
- Page A. L.; Miller R. H.; Keeney D. R.; Baker D. E.; Ellis R. & Rhoades J. D. 1982. Methods of soil analysis. eds (No. 631.41 MET 9-2 1982. CIMMYT.).
- Pars Special Economic Energy Zone Organization, Capital Attraction Management. 1394. Comprehensive Book of Investment in Pars Special Economic Energy Zone, Pars Special Economic Energy Zone Organization Public Relations Publishing. 343 Pages. (In Persian)
- Parvin Nia, M. & Ahmadi, Kh. 1395. Accumulation and Numerical Modeling of Heavy Metals in Surface Soil of Pars Special Economic Energy Zone. Iranian journal of Water and Soil Conservation. 5(23), 67-86. (In Persian)
- Pournia, M.; Moosavi, M.H. & Jassemi, Z. 1394. Survey of Heavy Metals Pollution in Surface Soils Around The industrial Town Of Ahvaz 2. Iranian journal of Environmental Science and Technology. 4(17), 23-32. (In Persian)
- Ptable. 2021. <https://ptable.com/#Properties/Density/STP> (Available on 15 February, 2021).
- Qaiser, M.S.H.; Ahmad, I.; Ahmad, S.R.; Afzal, M. & Qayyum, A. 2019. Assessing Heavy Metal Contamination in Oil and Gas Well Drilling Waste and Soil in Pakistan. Polish Journal of Environmental Studies. 28(2), 785-793.
- Ravankhah, N.; Mirzaei, R. & Masoum, S. 2015. Evaluation of geo accumulation index, contamination factor and principal component analysis for estimating soil contamination. Iranian journal of health and environment. 3(8), 345-356. (In Persian)
- Raeihagh, H.; Behbahaninia, A. & Macki Aleagha, M. 2020. Risk assessment of sour gas inter-phase onshore pipeline using ANN and fuzzy inference system – Case study: The south pars gas field. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 68, 104238.
- Rahimi, R. S.; Alizadeh, B.; Rastmanesh, F. & Saraf, D. H. 1395. Study Pollution from Heavy Metals and Determine their Source in Marun Oil Field Using Environmental Pollution Indicators. The Sixth National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources. (In Persian)
- Sabet Aghlidi, P.; Cheraghi, M.; Lorestani, B.; Sobhanardakani, S. & Merrikhpour, H. 2020. Analysis, spatial distribution and ecological risk assessment of arsenic and some heavy metals of agricultural soils, case study: South of Iran. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 18, 665-676.
- Seifi, M.; Mahvi, A.H.; Hashemi, S.Y.; Arfaeinia, H.; Pasalari, H.; Zarei, A. & Changani, F. 2019. Spatial distribution, enrichment and geo-accumulation of heavy metals in surface sediments near urban and industrial areas in the Persian Gulf. Desalination and Water Treatment. 158, 130-139.
- Sobhanardakani, S. 2017. Tuna fish and common Kilka: health risk assessment of metal pollution through consumption of canned fish in Iran. Journal of Consumer Protection and Food Safety. 12(2), 157-163.
- Sobhanardakani, S. 2019. Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Content of Atmospheric Dry Deposition, a Case Study: Kermanshah, Iran. Biological Trace Element Research. 187, 602-610.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture Handbook No 18.
- Souri, B. & Watanabe, M. 2013. Mercury concentration in some calcareous soils of western Iran with a focus on pedological evolution and weathering process. Environmental Earth Sciences. 70, 1249-1262.
- Souri, B. & Watanabe, M. 2017. Comparative evaluation of age and weathering condition of the Sirvan river terraces in western Iran. Geosciences Journal. 21, 33-46.

Souri, B.; Watanabe, M. & Sakagami, K. 2006. Contribution of Parker and Product indexes to evaluate weathering condition of Yellow Brown Forest soils in Japan. *Geoderma*. 130, 346-355.

Sterckeman, T.; Douay, F.; Proix, N.; Fourrier, H. & Perdrix, E. 2002. Assessment of the contamination of cultivated soils by eighteen trace elements around smelters in the North of France. *Water Air Soil Pollution*. (1-4), 173-94.

Wu, Q.; Leung, J.Y.S.; Geng, X.; Chen, S.; Huang, X.; Li, H.; Huang, Z.; Zhu, L.; Chen, J. & Lu, Y. 2015. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals. *Science of the Total Environment*. 506, 217-225.

Yang, Q.; Li, Zh.; Lu, X.; Duan, Q.; Huang, L. & Bi, J. 2018. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment. *Science of the Total Environment*. 642, 690-700.