



## بررسی تأثیر مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه نفت آبادان بر تمرکز فلزات سنگین و گوگرد در خاک

فاطمه راست‌منش<sup>۱\*</sup>، علیرضا زراسوندی<sup>۲</sup>، آزرم باقری بیرگانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۲</sup> استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۱۳

### Investigation of the Impact of Abadan Petrochemical Complex and Petroleum Refinery on Soil Heavy Metal and Sulfur Concentrations

Fatemeh Rastmanesh<sup>1\*</sup>, Alireza Zarasvandi<sup>2</sup>, Azarm Bagheri Birgani<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant Prof., Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

<sup>2</sup> Prof., Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

<sup>3</sup> MSc. Student of Environmental Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

#### Abstract

In this study, the distribution of heavy metals (As, Cr, Ni, V, Mn, Fe, Zn, Pb) and sulfur in soil samples collected around the petrochemical complex and petroleum refinery at Abadan has been investigated. For this purpose, 22 surface soil samples were taking into consideration the prevailing wind direction (NW-SE). Sample number 22 is a control sample and was collected from a rural area. After preparation in the laboratory, the samples were analyzed using the ICP-OES method to assess concentrations of different elements. Also, the pH and organic matter content of samples were measured using standard methods. Pollution levels in the soil samples were investigated using different indices, including enrichment factor, contamination factor, contamination degree, saturation degree of metals and Potential acute toxicity. The mean concentrations of elements in the samples were compared to the mean concentration of these metals in the upper crust, soil worldwide, and EPA standards. The results of calculating the geochemical indices indicated that soil samples are more contaminated with S, Pb and Zn. The statistical analysis showed that nickel, vanadium, iron, manganese may be mainly derived from geogenic sources. Lead and zinc may originate from traffic and vehicle emissions as well as the petrochemical complex and petroleum refinery activities. As and Cr have both a geogenic and an anthropogenic origin. High concentrations of sulfur in the study area originated from the petrochemical complex and petroleum refinery activities.

**Keywords:** Soil pollution, Enrichment factor, Geogenic, Petrochemical industry.

#### چکیده

در این پژوهش توزیع فلزات سنگین (As, Cr, Ni, V, Mn, Fe, Zn, Pb) و گوگرد (S) در نمونه‌های خاک اطراف مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه نفت آبادان، بررسی شده است. به این منظور ۲۲ نمونه خاک سطحی با در نظر گرفتن جهت وزش باد غالب منطقه در جهت شمال‌غرب-جنوب‌شرق برداشت شد. نمونه شماره ۲۲ نمونه شاهد است که از منطقه روستایی برداشت شد. پس از آماده‌سازی در آزمایشگاه، نمونه‌ها به روش ICP-OES برای تعیین غلظت عناصر بررسی شدند، همچنین pH و مقدار ماده آلی نمونه‌ها نیز با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. میزان آلودگی خاک با استفاده از شاخص‌های مختلف از جمله ضریب غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی، درجه آلودگی، درجه اشباع فلزات و پتانسیل سمناکی حاد بررسی شد. میانگین غلظت عناصر با میانگین پوسته بالایی، میانگین جهانی و استاندارد EPA مقایسه شد. نتایج محاسبه شاخص‌های زمین‌شیمیایی نشان داد که بیشترین آلودگی مربوط به گوگرد، سرب و روی است. تحلیل‌های آماری نشان داد که در خاک اطراف صنایع پتروشیمی و پالایشگاه آبادان، نیکل، وانادیوم، آهن و منگنز عمدتاً منشأ زمین‌زاد دارند، سرب و روی ناشی از ترافیک و وسایل نقلیه و فعالیت مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه نفت است. آرسنیک و کروم دارای هر دو منشأ زمین‌زاد و انسان‌زاد هستند. غلظت‌های بالای گوگرد در نمونه‌های منطقه مورد بررسی ناشی از فعالیت مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه نفت است.

**کلمات کلیدی:** آلودگی خاک، فاکتور غنی‌شدگی، زمین‌زاد، صنایع پتروشیمی

\* Corresponding Author. E-mail Address: f.rastmanesh@scu.ac.ir

بررسی‌های متعددی در ایران و جهان برای تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین و گوگرد انجام شده است. برای مثال، بوسکو و همکاران [۱۰] آلاینده‌های غیرآلی (فلزات سنگین و گوگرد) مرتبط با نواحی نزدیک صنایع پتروشیمی منطقه گیلا در شهر سیسیلی ایتالیا را بررسی کردند. در این پژوهش بیشترین غلظت فلزات سنگین در نواحی نزدیک به صنایع پتروشیمی مشاهده شد. آنالیز مؤلفه اصلی، ۳ منشا ترافیک و نشر وسایل نقلیه موتوری (برای عناصر Zn, Pb, Cu)، گسیل از صنایع پتروشیمی (عناصر S, Ni, V, As) و مواد مادری خاک را نشان داد. در ایران نیز اشراق‌نای جهرمی و همکاران [۱۱] منابع انتشار فلزات سنگین (Ni, Cr, Cd, As) و عنصر گوگرد در خاک‌های اطراف مجتمع پتروشیمی شیراز را بررسی کردند، در نتایج به‌دست آمده مشخص شد که میزان آلودگی عناصر S و As در خاک منطقه بالا بوده و ناشی از فعالیت کارخانه پتروشیمی شیراز است و منشا سه فلز سنگین Ni, Cr, Cd زمین‌زاد است. عباسی انارکلی و همکاران [۱۲] تجمع فلزات سنگین (Ni, Cd, Pb) در خاک و گیاهان محدوده صنعتی پتروشیمی شازند را بررسی کردند، نتایج این بررسی نشان داد که با افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک نواحی نزدیک به محدوده پتروشیمی، میزان جذب فلزات در گیاهان آن منطقه نیز افزایش می‌یابد. همچنین آلودگی خاک به فلزات سنگین در این منطقه ناشی از فعالیت صنایع پتروشیمی است.

در منطقه مورد بررسی تاکنون پژوهش مشابهی درباره آلودگی خاک به فلزات سنگین صورت نگرفته است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه آبادان بر آلودگی خاک به فلزات سنگین و گوگرد در نواحی اطراف این صنایع است.

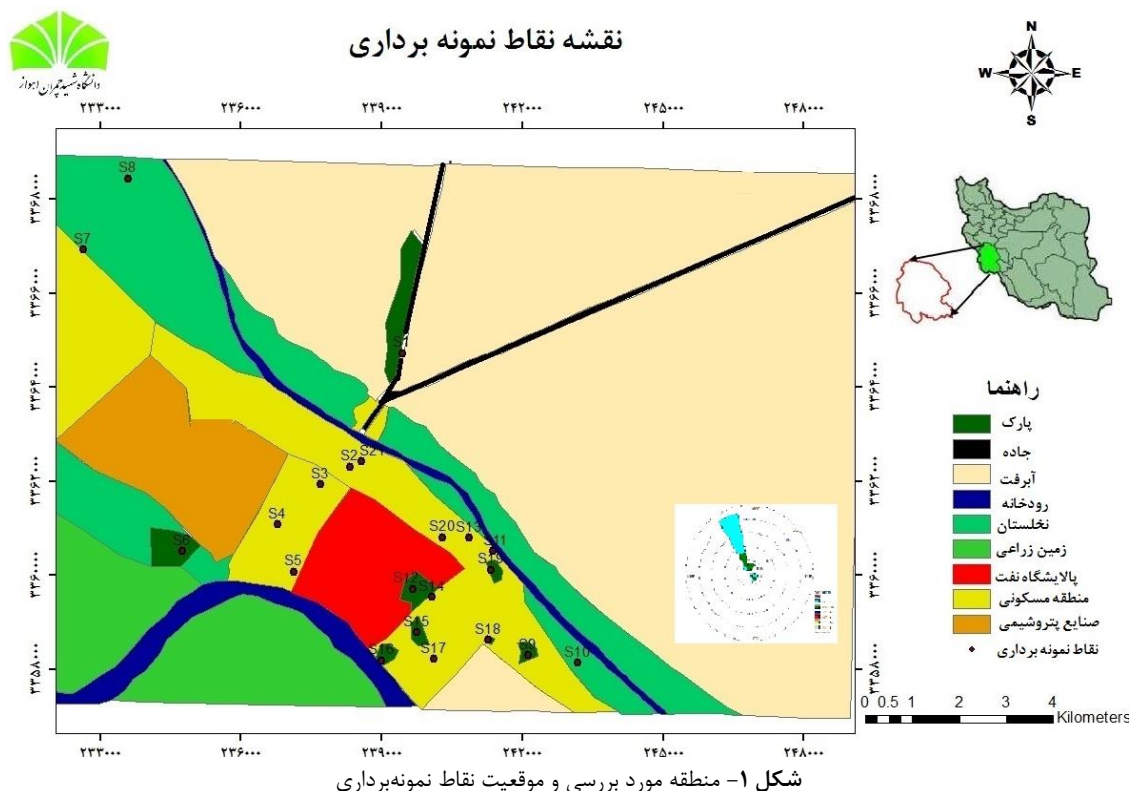
## ۲- مواد و روش‌ها

شهرستان آبادان در جنوب غربی ایران و در استان خوزستان واقع است. پس از اهواز این شهر مهم‌ترین شهر خوزستان است که در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه قرار دارد و بلندی آن از سطح دریا ۳ متر است. مساحت آن ۲۷۹۶ کیلومتر مربع و جهت وزش باد غالب در این شهر از شمال‌غرب به جنوب‌شرق است. از نظر زمین‌شناسی، آبادان بخشی از پلاتفرم عربی محسوب می‌شود، که کاملاً به وسیله

خاک به عنوان بخشی از سیستم زمین‌شیمیایی نقش مهمی در چرخه عناصر ایفا می‌کند و عملکردی مهم در ذخیره و تصفیه عناصر، انتقال اجزاء و رابطه اجزای زنده و غیرزنده دارد [۱]. خاک به عنوان پالاینده طبیعت علاوه بر این که تأمین‌کننده مواد غذایی است، خاصیت تصفیه‌کنندگی نیز دارد. این خاصیت خاک در اثر خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن به وجود می‌آید [۲]. غلظت عناصر جزیی در خاک‌ها به نوع و شیمی مواد مادری که خاک از آن تشکیل شده بستگی دارد، رفتار زمین‌شیمیایی عناصر نیز تابع حضور کانی‌های رسی، اکسیدهای آهن منگنز و مواد آلی است که سبب جذب سطحی عناصر جزیی در خاک می‌شوند. اما فعالیت‌های انسان‌زاد منجر به افزایش غلظت این فلزات در خاک و افزایش جذب سطحی عناصر می‌شود [۳]. با توجه به افزایش جمعیت شهری، فعالیت‌های انسان‌زاد مرتبط با صنعتی‌شدن و شهری‌شدن به‌طور چشمگیری در نواحی شهری مشاهده می‌شود [۴]. خاک‌های شهری به‌طور گسترده دارای غلظت‌هایی از فلزات بالقوه سمی هستند که این موضوع سلامت انسان و سایر جانداران را به خطر می‌اندازد [۵ و ۶]. علاوه بر این با توجه به توسعه روزافزون کاربرد مواد شیمیایی و توسعه صنعت پتروشیمی، لزوم توجه به مسائل زیست‌محیطی ناشی از این صنایع انکارناپذیر است. باید توجه داشت که شدت اثرات آلاینده‌های شیمیایی به نوع، مقادیر ورودی و میزان تجمع آنها در منطقه عملیاتی بستگی دارد، که خود نیز به نوع محیط آبی یا خشکی و شرایط محیطی نظیر دوری یا نزدیکی نسبت به منابع آلاینده بستگی دارد. صنایع پتروشیمی و پالایشگاه نفت به عنوان مهمترین مراکز انتشار آلاینده‌های غیرآلی (فلزات سنگین) و آلی شناخته شده‌اند. مواد شیمیایی سمی که در صنایع پتروشیمی و پالایشگاه نفت به روش‌های مختلف تولید می‌شوند، امروزه به‌خوبی شناخته شده‌اند [۷]. از این میان می‌توان به هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک، هیدروکربن‌های هالوژنه، آمین‌های آروماتیک و نیروسامین‌ها، اکسیدهای گوگرد و نیتروژن، ترکیبات آلی فلزی و آلاینده‌های غیرآلی (فلزات سنگین مانند سرب، روی، کروم، آرسنیک، نیکل و...) که جهش‌زا، سرطان‌زا یا هر دوی آنها هستند اشاره کرد [۸]. بسیاری از این مواد سمی و سرطان‌زا به هواسپهر منتقل می‌شوند، بنابراین نواحی اطراف صنایع پتروشیمی و پالایشگاه نفت در معرض آلودگی و خطرات زیست‌محیطی و انسانی قرار دارند [۹، ۸].

مایع، بنزین، نفت سفید، گازوییل و نفت کوره است. علاوه بر آن، خوراک واحد پتروشیمی آبادان و بخشی از خوراک پتروشیمی بندر امام نیز توسط پالایشگاه آبادان تأمین می‌شود. مجتمع پتروشیمی آبادان در فاصله کمی از پالایشگاه واقع شده و مهمترین محصولات آن اسید سولفوریک، گوگرد و ترکیبات هیدروکربنی سبک و سنگین است. هوای این شهر بسیار گرم و خشک بوده و دارای تابستان‌های گرم و طولانی و زمستان‌های معتدل و کوتاه دارد.

رسوبات آبرفتی جوان پوشیده شده، و سازندهای قدیمی در زیر این رسوبات پنهان شده‌اند. این رسوبات آبرفتی جوان از مصالح ریزدانه رسی، سیلتی و ماسه‌ای تشکیل شده‌اند. مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه نفت آبادان در زون شمالی شهرستان آبادان واقع شده‌اند. ظرفیت فعلی پالایشگاه نفت آبادان ۴۰۰ هزار بشکه در روز است. این شرکت تنها پالایشگاهی است که می‌تواند به‌طور همزمان ۴ نوع نفت خام با مشخصات کاملاً متفاوت را دریافت و پالایش کند. مهم‌ترین محصولات پالایشگاه آبادان نفتی از جمله گاز



نمونه‌ها جدا شدند و سپس در دمای ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس نمونه‌های خشک‌شده الک شدند (جزء  $\geq 63$  میکرون برای اندازه‌گیری غلظت عناصر و جزء  $\geq 2$  میلی‌متری برای تعیین خواص فیزیکوشیمیایی (pH و OC)). با توجه به تجمع بیشتر آلاینده‌ها در ذرات رسوبی ریزتر (به دلیل خاصیت جذب بالاتر این ذرات غلظت فلزات سنگین در جزء ریزدانه اندازه‌گیری شد [۱۳]).

به این منظور جزء  $\geq 63$  میکرون برای آنالیز ICP-OES<sup>۲</sup> به آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زرآما تهران ارسال شد و به منظور ارزیابی دقت نتایج، نمونه‌های تکراری نیز ارسال شدند. برای اندازه‌گیری مواد آلی خاک، جزء  $\geq 2$  میلی‌متری نمونه‌های خاک به آزمایشگاه زاگرس آشناس فارس ارسال شد.

در این پژوهش ۲۲ نمونه خاک سطحی از مناطق مختلف شهری در اطراف مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه نفت آبادان با در نظر گرفتن جهت باد غالب منطقه برداشت شد. این نمونه‌ها از مناطق صنعتی شهری، نواحی مسکونی، پارک‌ها و فضای سبز شهری و زمین‌های کشاورزی شهری (نخلستان) برداشت شدند. نمونه‌برداری از خاک سطحی (۰-۱۰ سانتی‌متر) در جهت وزش باد غالب منطقه (شمال‌غرب به جنوب‌شرق) انجام شد، یک نمونه (شماره ۲۲) نیز به عنوان نمونه شاهد، از منطقه روستایی (۲۵ کیلومتری آبادان، جاده آبادان - اهواز) برداشت شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در کیسه‌های پلی اتیلن به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه مواد زائد مانند ریگ، زباله‌هایی از قبیل تکه‌های پلاستیک و خرده‌های گیاهی به صورت دستی از

اندازه‌گیری pH نمونه‌ها در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران انجام شد.

## ۱-۲- ارزیابی آلودگی خاک در منطقه مورد بررسی

برای ارزیابی وسعت آلودگی خاک به فلزات سنگین از شاخص‌های زیر استفاده شد:

الف) ضریب غنی‌شدگی (EF)<sup>۳</sup>

برای تعیین میزان غنی‌شدگی عناصر در منطقه مورد بررسی از ضریب غنی‌شدگی استفاده شد. ضریب غنی‌شدگی بیانگر شدت تأثیر عامل خارجی بر رسوبات است. در ضریب غنی‌شدگی معمولاً غلظت عناصر در نمونه آلوده با غلظت عناصر در زمینه مقایسه می‌شود و برای حذف برخی غنی‌شدگی‌ها، عناصری مانند Fe، Ti، Sc، Al، Sr را در رابطه غنی‌شدگی تأثیر می‌دهند [۱۴]. ضریب غنی‌شدگی از طریق معادله ۱ محاسبه می‌شود:

(معادله ۱):

$$EF = (C_X / C_{Ref})_{sample} / (C_X / C_{Ref})_{Crust}$$

که در آن، EF: فاکتور غنی‌شدگی،  $C_X$ : غلظت عنصر مورد اندازه‌گیری و  $C_{Ref}$ : غلظت عنصر مرجع است.

اگر میزان ضریب غنی‌شدگی کم باشد، آلودگی چندان اهمیتی ندارد زیرا غنی‌شدگی‌های اندک مربوط به اختلاف در ترکیب خاک‌های محلی و یا نوع عنصر مرجع مورد استفاده در محاسبه ضریب غنی‌شدگی است [۱۵]. در این پژوهش عنصر Fe به دلیل ماهیت ژئوشیمیایی و تغییرات ناچیز و تحرک کمی که در محیط ژئوشیمیایی از خود نشان می‌دهد [۱۴] به عنوان عنصر مرجع انتخاب شد.

ب) فاکتور آلودگی ( $C_f$ )<sup>۴</sup> و درجه آلودگی ( $C_{deg}$ )<sup>۵</sup>

ارزیابی آلودگی خاک همچنین با استفاده از فاکتور آلودگی و درجه آلودگی انجام شد [۱۶، ۱۷]. فاکتور آلودگی با استفاده از معادله ۲ محاسبه می‌شود:

$$C_f^i = C^i / C_n^i \quad \text{(معادله ۲)}$$

که در این رابطه  $C^i$  غلظت فلز در نمونه‌های خاک و  $C_n^i$  مقادیر زمینه برای فلز مورد نظر هستند. مجموع فاکتورهای آلودگی برای همه عناصر تجزیه‌شده، درجه آلودگی محیط را نشان می‌دهد، که از معادله ۳ به دست می‌آید:

$$C_{deg} = \sum C_f^i \quad \text{(معادله ۳)}$$

جدول ۱، رده‌بندی شاخص‌های ضریب غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی و درجه آلودگی را نشان می‌دهد.

ج) درجه اشباع فلزات (SDM)<sup>۶</sup>

در خاک‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم توانایی تثبیت قوی روی فلزات سنگین دارند، که به طور قابل توجهی دسترس‌پذیری آنها را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین از شاخصی به نام درجه اشباع فلزات برای توصیف تثبیت اکسیدها (هیدروکسیدها) و دسترس‌پذیری فلزات سنگین در خاک‌ها استفاده شد، که با استفاده از معادله ۴ محاسبه می‌شود:

(معادله ۴):

$$SDM = 1000 \times \sum (C_i / AW_i) / \sum (O_i / OAW_i)$$

که  $C_i$  غلظت فلز مورد نظر در خاک،  $AW_i$  وزن اتمی فلز مورد نظر،  $O_i$  غلظت آهن یا آلومینیوم خاک و  $OAW_i$  وزن اتمی آهن یا آلومینیوم است. SDM بالاتر دسترس‌پذیری بیشتر را نشان داده، در حالی که SDM پایین‌تر تثبیت قوی فلزات سنگین در خاک‌ها را نشان می‌دهد [۱۸].

جدول ۱- رده بندی شاخص‌های  $C_{deg}$ ،  $C_f$  و EF [۱۶] و [۶]

مقادیر	کیفیت خاک	مقادیر	کیفیت خاک
$C_f < 1$	فاکتور آلودگی کم	$EF < 1$	بدون غنی‌شدگی
$1 \leq C_f < 3$	فاکتور آلودگی متوسط	$EF < 3$	غنی‌شدگی کم
$3 \leq C_f < 6$	فاکتور آلودگی زیاد	$3 \leq EF < 5$	غنی‌شدگی متوسط
$C_f > 6$	فاکتور آلودگی بسیار زیاد	$5 \leq EF < 10$	غنی‌شدگی متوسط تا شدید
$C_{deg} < 8$	درجه آلودگی کم	$10 \leq EF < 25$	غنی‌شدگی شدید
$8 \leq C_{deg} < 16$	درجه آلودگی متوسط	$25 \leq EF < 50$	غنی‌شدگی خیلی شدید
$16 \leq C_{deg} < 32$	درجه آلودگی زیاد	$EF > 50$	غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید
$C_{deg} > 32$	درجه آلودگی بسیار زیاد		

د) پتانسیل سمناکی حد<sup>۷</sup>  
 $\sum TU > 4$  باشد، سمناکی وجود نداشته و در صورتی که  
 $\sum TU < 4$  باشد، سمناکی حد وجود دارد [۱۹].

### ۲-۲- تحلیل‌های آماری

آزمون تحلیل عاملی یکی از روش‌های تعیین ارتباط بین عناصر و دیگر پارامترهای مورد بررسی است. در این پژوهش از تحلیل مؤلفه اصلی و ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از نرم‌افزار SPSS, 16، برای بررسی ارتباط عناصر با یکدیگر و تعیین منشا احتمالی آنها استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

در جدول ۳ نتایج اندازه‌گیری خواص فیزیکوشیمیایی (pH, OC)، غلظت عناصر در نمونه‌های خاک منطقه میانگین جهانی [۲۰]، پوسته بالایی [۲۱] و مقادیر ارائه شده توسط EPA<sup>۹</sup> [۲۲]، نشان داده شده است.

برای تعیین میزان سمناکی نمونه‌ها از پتانسیل سمناکی حد استفاده شد. پتانسیل سمناکی حد یک نمونه را می‌توان به صورت مجموع واحدهای سمی برآورد کرد که در آن واحد سمی (TU<sup>۸</sup>) به صورت نسبت غلظت فلز مورد نظر به مقدار PEL آن محاسبه می‌شود (معادله ۵). مقدار PEL بیانگر سطح غلظت بالای مواد شیمیایی است که می‌تواند باعث ایجاد عوارض نامطلوب در منطقه مورد بررسی شود. مقادیر PEL برای فلزات سنگین سرب، روی، نیکل، کروم و آرسنیک به ترتیب ۱۱۲، ۲۷۱، ۴۲/۸، ۱۶۰، ۴۱/۶ است [۱۹].

$$TU = \text{Metals} / \text{PEL} \quad (\text{معادله ۵})$$

$\sum TU$  را می‌توان برای ارزیابی سمناکی حد ترکیب چند فلز، در نمونه مورد نظر استفاده کرد. در صورتی که

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین (بر حسب ppm)، pH و OC نمونه‌های خاک منطقه مورد بررسی

کد نمونه	As	Cr	Ni	Pb	V	Zn	Mn	Fe	S	OC %	pH
S1	۴/۲	۱۱۳	۷۸	۶	۵۷	۸۰	۳۹۷	۱۹۹۳۰	۳۰۰۰۰	۰/۹۵	۷/۴۳
S2	۴/۴	۱۰۲	۵۹	۱۹	۵۱	۱۱۱	۳۱۲	۱۶۸۴۳	۳۰۰۰۰	۵/۶۲	۷/۹۵
S3	۶	۱۲۶	۸۲	۲۷	۶۹	۱۶۰	۵۰۸	۲۳۴۰۲	۱۶۱۹۷	۱/۵۸	۷/۳۵
S4	۲/۶	۱۴۹	۶۶	۸	۶۰	۵۹	۴۵۵	۱۹۶۷۲	۵۴۵۲	۰/۷	۷/۶۵
S5	۲/۶	۱۲۲	۶۹	۲۴	۶۳	۹۲	۴۵۲	۲۱۲۳۷	۴۷۸۳	۲/۳۱	۷/۲
S6	۴/۹	۱۰۰	۶۳	۶	۵۷	۵۴	۳۹۹	۱۹۱۴۹	۱۷۴۶۸	۲/۲۹	۷/۱۳
S7	۴/۱	۱۰۲	۸۵	۹	۶۴	۷۰	۴۵۵	۲۲۲۴۲	۱۳۶۲۸	۳/۸۳	۷/۱
S8	۴/۸	۹۵	۷۸	۱۳	۶۷	۶۹	۴۵۲	۲۲۴۴۲	۶۲۹۶	۱/۸۲	۷/۱۱
S9	۲/۸	۱۳۶	۷۳	۸	۵۹	۶۱	۴۳۹	۲۰۲۲۷	۹۸۰۸	۳/۰۴	۷/۱
S10	۲/۶	۱۲۲	۸۵	۹	۷۴	۶۸	۵۲۴	۲۴۶۸۴	۱۱۸۰۷	۲/۱۱	۷/۵۲
S11	۳/۷	۳۳۹	۶۲	۶	۶۲	۴۷	۴۶۶	۲۰۸۹۱	۲۲۱۵	۰/۱۸	۷/۵۱
S12	۴/۹	۱۴۰	۷۸	۲۹	۶۹	۱۳۵	۴۶۵	۲۳۰۲۷	۸۵۵۸	۵/۹۴	۷/۵۸
S13	۶/۴	۱۲۸	۷۸	۳۱	۶۶	۱۲۶	۴۵۴	۲۱۹۵۶	۲۹۳۲۵	۱/۱۵	۷/۵۹
S14	۴/۸	۲۲۵	۹۸	۵۵	۶۰	۱۹۶	۴۰۶	۲۱۰۰۳	۱۷۸۶۱	۲/۶۳	۷/۵۲
S15	۲/۶	۱۴۷	۶۷	۱۷	۵۹	۷۶	۴۱۷	۱۹۶۲۵	۱۷۹۶۴	۲/۱۶	۷/۷۴
S16	۴	۱۳۳	۷۰	۱۰	۶۱	۷۱	۴۵۸	۲۰۴۱۶	۸۵۵۷	۱/۸۷	۷/۴۸
S17	۵/۹	۱۲۳	۸۹	۱۴	۶۹	۱۰۰	۴۸۳	۲۳۷۴۱	۹۸۴۰	۱/۴۴	۷/۰۸
S18	۴/۵	۱۱۳	۶۹	۱۰	۶۴	۶۰	۴۱۹	۲۰۷۹۸	۱۰۷۹۵	۱/۳۳	۷/۱۶
S19	۳/۷	۲۸۷	۶۱	۵	۵۸	۴۷	۴۶۴	۲۰۰۰۴	۶۲۶۹	۰/۵۹	۷/۶۷
S20	۴/۹	۱۹۹	۷۳	۱۰	۶۴	۷۱	۴۷۸	۲۲۸۱۹	۲۸۹۹	۰/۵۸	۷/۳
S21	۴/۶	۱۷۹	۷۶	۵۷	۶۴	۱۵۵	۴۶۳	۲۲۹۴۶	۸۱۱۵	۳/۷۴	۷/۷۴
Mean	۴/۴	۱۵۱/۴۲	۷۴/۲۴	۱۷/۷۶	۶۲/۷۱	۹۰/۸۵	۴۴۶	۲۰۲۷۷	۱۲۷۵۴/۱۹	۲/۱۱	۷/۴۳
Max	۶/۴	۳۳۹	۹۸	۵۷	۷۴	۱۹۶	۵۲۴	۲۴۶۸۴	۳۰۰۰۰	۵/۹۴	۷/۹۵
Min	۲/۶	۹۵	۵۹	۵	۵۱	۴۷	۳۱۲	۱۶۸۴۳	۲۲۱۵	۰/۱۸	۷/۰۸
نمونه شاهد	۳/۷	۱۴۵	۶۵	۶	۶۲	۵۵	۴۶۰	۲۰۳۱۶	۳۵۸۹	۱/۶۷	۷/۲۲
میانگین جهانی	-	۸۰	۳۳/۸	۲۰	۱۰۸	۵۹/۸	۸۵۰	۳۸۰۰۰	۱۰۵۰	-	-
پوسته بالایی	۱/۵	۲۸۵	۲۰	۲۰	۳۶	۷۰	۶۰۰	۵۶۳۰۰	۲۶۰	-	-
EPA	۵	۱۰۰	۴۰	۱۰	۱۰۰	۵۰	۶۰۰	۳۰۰۰	-	-	-

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت عناصر در پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌های جهان (برحسب ppm)

منابع	As	Cr	Mn	Ni	Pb	V	Zn	S	شهر
مطالعه حاضر	۴/۴	۱۵۱/۴۲	۴۴۶	۷۴/۲۴	۱۷/۷۶	۶۲/۷۱	۹۰/۸۵	۱۲۷۵۴/۱۹	آبادان
[۱۱]	۳/۴۱	۱۶۵/۷۸	-	۱۱۰/۵۶	-	-	-	۹۷۱	شیراز
[۱۲]	-	-	-	-	۲۲/۳۳	-	-	-	شازند
[۲۳]	۱۹	-	۸۸۵	۴۰	۲۵	۶۴	۴۵۶	۱۸۰۰	Sicily (ایتالیا)
[۱۹]	۶/۵۱	۱۶/۵	۲۶۸/۹	-	۳۷/۸	۲۲/۷	-	-	Catalonia (اسپانیا)
[۲۴]	۵/۵	۱۳/۸	۲۱۲/۵	-	۳۶/۳	۱۹/۳	-	-	Taragona (اسپانیا)
[۸]	-	۳۱۲/۸	-	۲۹/۶	-	۱۱۷/۸	-	-	Pemex (مکزیک)

جدول ۴- نتایج محاسبه ضریب غنی‌شدگی برای نمونه‌های خاک منطقه مورد بررسی

	As	Cr	Ni	Pb	Zn	S	V
S۱	۳/۱۹	۲/۱۷	۳/۳۸	۲/۸۲	۴/۰۹	۲۳/۵۸	۲/۵۷
S۲	۳/۹۴	۲/۳۳	۳	۱۰/۵۶	۶/۷۱	۲۷/۹	۲/۷۴
S۳	۳/۸۹	۲/۰۶	۳/۰۳	۱۰/۸۲	۶/۹۷	۱۰/۸۵	۲/۶۷
S۴	۲	۲/۹۱	۲/۸۹	۳/۸	۳/۰۶	۴/۳۲	۲/۷۴
S۵	۱/۸۵	۲/۲۲	۲/۸۱	۱۰/۶	۴/۴۲	۳/۵۲	۲/۶۷
S۶	۳/۸۸	۱/۹۹	۲/۰۲	۲/۹۴	۲/۸۸	۱۴/۲۸	۲/۶۷
S۷	۲/۷۸	۱/۷۷	۳/۲۹	۳/۷۹	۳/۲۱	۹/۵۹	۲/۶
S۸	۳/۲۳	۱/۶۳	۳/۰۱	۵/۴۱	۳/۱۳	۴/۳۹	۲/۷
S۹	۲/۰۸	۲/۵۸	۳/۱۱	۳/۷	۳/۰۶	۷/۵۹	۲/۶۴
S۱۰	۳/۸	۱/۹۱	۲/۹۶	۳/۴۲	۲/۸	۷/۴۸	۲/۷۱
S۱۱	۲/۶۹	۶/۲۷	۲/۵۶	۲/۶۹	۲/۲۹	۱/۶۴	۲/۶۹
S۱۲	۳/۲۲	۲/۳۴	۲/۹۳	۱۱/۳	۵/۹۹	۵/۸۱	۲/۷۱
S۱۳	۴/۴۱	۲/۲۵	۳/۰۷	۱۳/۲۳	۵/۸۷	۲۰/۹۴	۲/۷۱
S۱۴	۳/۴۵	۴/۱۵	۴/۰۲	۲۴/۵۵	۹/۵۴	۱۳/۳۲	۲/۵۷
S۱۵	۲	۲/۸۹	۲/۹۵	۸/۱۱	۳/۹۵	۱۴/۳۴	۲/۷۲
S۱۶	۲/۹۷	۲/۵	۲/۹۵	۴/۵۷	۳/۵۵	۶/۵۶	۲/۷
S۱۷	۳/۷۷	۱/۹۹	۳/۲۲	۵/۵۲	۲/۷۹	۶/۴۹	۲/۶۳
S۱۸	۳/۲۷	۲/۰۸	۲/۸۶	۴/۷۹	۲/۹۵	۸/۱۲	۲/۷۸
S۱۹	۲/۸۱	۵/۵۴	۲/۶۱	۲/۳۳	۲/۳۹	۴/۸۹	۲/۶۱
S۲۰	۳/۲۵	۳/۳۸	۲/۷۶	۳/۹۴	۳/۱۸	۱/۹۷	۲/۵۴
S۲۱	۳/۰۴	۳/۰۱	۲/۸۴	۲۳/۳	۶/۸۹	۵/۵۴	۲/۵۲

بسیار بالا بوده و عنصر گوگرد بیشترین میانگین را داراست. جدول (۲) میانگین غلظت عناصر منطقه مورد بررسی با غلظت آنها در پوسته بالایی، میانگین جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) مقایسه شده است. با توجه به جدول (۲)، میانگین غلظت کروم، نیکل، آهن، سرب، روی و آرسنیک بیشتر از مقادیر EPA، و در محدوده میانگین جهانی و پوسته بالایی قرار دارد. میانگین غلظت گوگرد بیشتر از میانگین جهانی و پوسته بالایی است. در جدول (۳) نیز مقایسه میانگین غلظت عناصر در پژوهش حاضر با سایر بررسی‌ها مقایسه شده است. با توجه به جدول (۳)، میانگین غلظت گوگرد در این پژوهش نسبت به نواحی

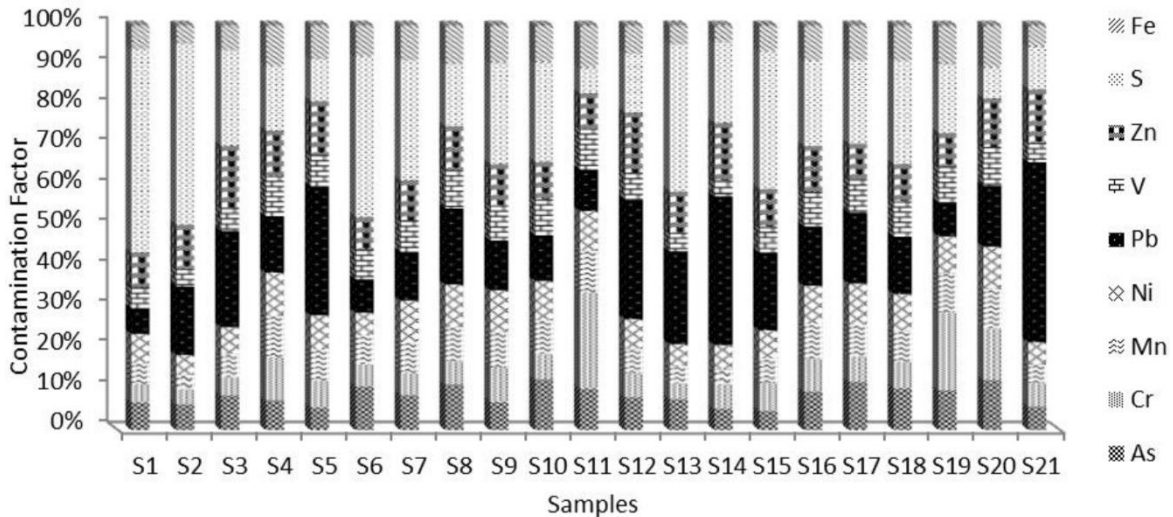
تحرک عناصر در خاک تا حد زیادی به خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک بستگی دارد. در این میان pH و ماده آلی می‌توانند تحرک فلزات را تغییر دهند [۲۵]. در صورتی که pH و ماده آلی خاک نسبتاً بالا باشد، تحرک فلزات محدود می‌شود [۲۶]. طبق جدول (۲) pH نمونه‌های خاک در محدوده خنثی تا بازی بوده و بنابراین انتظار می‌رود که تحرک فلزات محدود باشد. درصد ماده آلی در خاک منطقه نسبتاً پایین بوده و نمی‌توان انتظار داشت که نقش قابل توجهی در تحرک یا عدم تحرک عناصر داشته باشد. با توجه به جدول (۲) غلظت عناصر گوگرد، سرب و روی در نمونه‌های خاک اطراف صنایع پتروشیمی و پالایشگاه آبادان

آرسنیک، نیکل و کروم غنی‌شدگی کم تا متوسط و وانادیوم دارای غنی‌شدگی کم است. میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین و گوگرد بر اساس ضریب غنی‌شدگی از توالی زیر پیروی می‌کند:

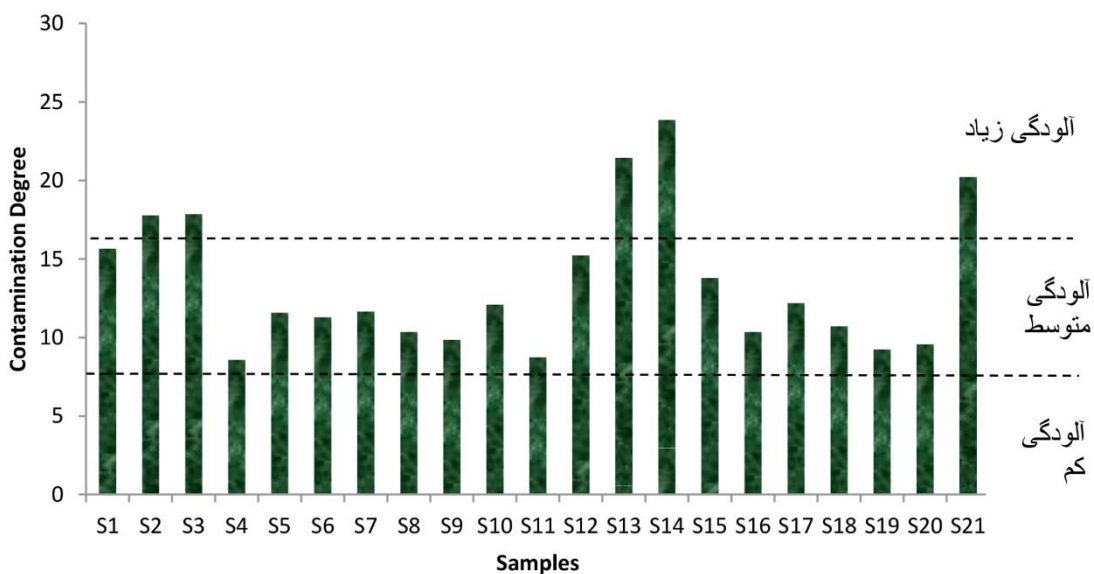


بر اساس نتایج فاکتور آلودگی، گوگرد و سرب بیشترین آلودگی، و کروم، منگنز و آهن کمترین آلودگی را نشان دادند (شکل ۲). محاسبه شاخص درجه آلودگی برای نمونه‌های مورد بررسی نیز نشان داد که ایستگاه‌های ۲، ۳، ۱۳، ۱۴ و ۲۱ که در پایین‌دست مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه آبادان و در جهت باد غالب منطقه واقع شده‌اند دارای درجه آلودگی زیاد و سایر ایستگاه‌ها دارای آلودگی کم تا متوسط هستند (شکل ۳).

اطراف پتروشیمی شیراز و سیسیلی (ایتالیا) است. میانگین غلظت Zn در این پژوهش نسبت به نواحی اطراف پتروشیمی سیسیلی (ایتالیا) کمتر است، علاوه بر این، میانگین غلظت V نسبت به نواحی اطراف پتروشیمی تاراگونا (اسپانیا) و کاتالونیا (اسپانیا) بیشتر و از سیسیلی (ایتالیا) و پمکس (مکزیک) کمتر است. میانگین غلظت Pb در این پژوهش نسبت به سایر بررسی‌های انجام‌شده کمتر است. میانگین غلظت Ni نسبت به نواحی اطراف پتروشیمی شیراز کمتر و از سیسیلی و پمکس بیشتر است. میانگین غلظت Cr نیز در این پژوهش نسبت به سیسیلی (ایتالیا) کمتر است. میانگین غلظت As در این بررسی نسبت به شیراز بیشتر و از سایر مناطق کمتر است. بر اساس نتایج محاسبه ضریب غنی‌شدگی (جدول ۴)، گوگرد دارای غنی‌شدگی متوسط تا خیلی شدید، سرب غنی‌شدگی متوسط تا شدید، روی،



شکل ۲- فاکتور آلودگی نمونه‌های خاک منطقه مورد بررسی



شکل ۳- درجه آلودگی نمونه‌های خاک منطقه مورد بررسی

جدول ۵- مقدار درجه اشباع فلزی برای نمونه‌های مورد بررسی

کد نمونه	SDM
S1	۵/۲۶
S2	۵/۴۴
S3	۵/۸۲
S4	۵/۸۵
S5	۵/۴۶
S6	۵/۱۲
S7	۵/۰۶
S8	۴/۹۳
S9	۵/۵۲
S10	۵/۱۵
S11	۶/۹۰
S12	۵/۵۸
S13	۵/۶۳
S14	۶/۷۹
S15	۵/۶۸
S16	۵/۶۵
S17	۵/۲۷
S18	۵/۰۸
S19	۶/۷۵
S20	۵/۶۷
S21	۵/۹۵

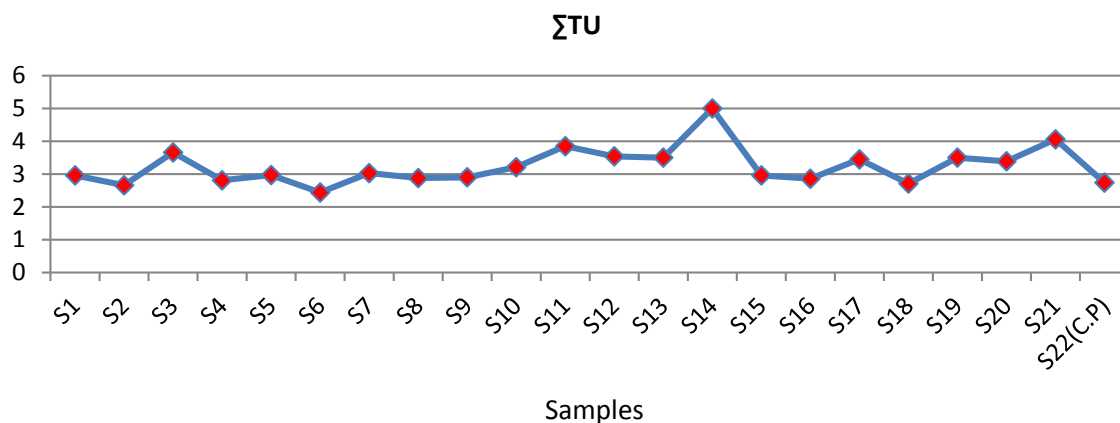
مقدار شاخص درجه اشباع فلزات (SDM) در نمونه‌های مورد بررسی، در جدول ۵ نشان داده شده است. بالا بودن این شاخص نشان‌دهنده افزایش تحرک فلزات سنگین در منطقه مورد بررسی است. با توجه به جدول ۶، بیشترین میزان درجه اشباع فلزات مربوط به ایستگاه‌های ۱۱، ۱۴، ۱۹ و ۲۱ است. این مناطق در نزدیکی مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه قرار گرفته‌اند.

جدول (۶) پتانسیل سمناکی حاد فلزات سنگین در نمونه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر ارائه شده در جدول (۶) مقدار واحدهای سمی برای فلزات سنگین به صورت  $As < Pb < Zn < Cr < Ni$  است و این نشان‌دهنده این است که نیکل، کروم و روی نسبت به سرب و آرسنیک سهم بیشتری در ایجاد آلودگی در خاک نواحی اطراف مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه آبادان دارند. با توجه به جدول ۶ و شکل ۴، ایستگاه‌های ۱۴ و ۲۱ بیشترین درجه سمناکی را دارند و  $\sum TU$  آنها بزرگتر از ۴ است.

جدول ۶- محاسبه مقادیر پتانسیل سمناکی حاد فلزات سنگین در نمونه‌های مورد بررسی

	Pb	Zn	Ni	Cr	As	$\sum TU$
S1	۰/۰۵	۰/۲۹	۱/۸۲	۰/۷۰	۰/۱۰	۲/۹۶
S2	۰/۱۶	۰/۴۰	۱/۳۷	۰/۶۳	۰/۱۰	۲/۶۶
S3	۰/۲۴	۰/۵۹	۱/۹۱	۰/۷۸	۰/۱۴	۳/۶۶
S4	۰/۰۷	۰/۲۱	۱/۵۴	۰/۹۳	۰/۰۶	۲/۸۱
S5	۰/۲۱	۰/۳۳	۱/۶۱	۰/۷۶	۰/۰۶	۲/۹۷
S6	۰/۰۵	۰/۱۹	۱/۴۷	۰/۶۲	۰/۱۱	۲/۴۴
S7	۰/۰۸	۰/۲۵	۱/۹۸	۰/۶۳	۰/۰۹	۳/۰۳
S8	۰/۱۱	۰/۲۵	۱/۸۲	۰/۵۹	۰/۱۱	۲/۸۸
S9	۰/۰۷	۰/۲۲	۱/۷۰	۰/۸۵	۰/۰۶	۲/۹
S10	۰/۰۸	۰/۲۵	۱/۹۸	۰/۷۶	۰/۱۴	۳/۲۱
S11	۰/۰۵	۰/۱۷	۱/۴۴	۲/۱۱	۰/۰۸	۳/۸۵
S12	۰/۲۵	۰/۴۹	۱/۸۲	۰/۸۷	۰/۱۱	۳/۵۴
S13	۰/۲۷	۰/۴۶	۱/۸۲	۰/۸۰	۰/۱۵	۳/۵
S14	۰/۴۹	۰/۷۲	۲/۲۸	۱/۴۰	۰/۱۱	۵
S15	۰/۱۵	۰/۲۸	۱/۵۶	۰/۹۱	۰/۰۶	۲/۹۶
S16	۰/۰۸	۰/۲۶	۱/۶۳	۰/۸۰	۰/۰۹	۲/۸۶
S17	۰/۱۲	۰/۳۶	۲/۰۷	۰/۷۶	۰/۱۴	۳/۴۵
S18	۰/۰۸	۰/۲۲	۱/۶۱	۰/۷۰	۰/۱۰	۲/۷۱
S19	۰/۰۴	۰/۱۷	۱/۴۲	۱/۷۹	۰/۰۸	۳/۵
S20	۰/۰۸	۰/۲۶	۱/۷۰	۱/۲۴	۰/۱۱	۳/۳۹
S21	۰/۵۰	۰/۵۷	۱/۷۷	۱/۱۱	۰/۱۱	۴/۰۶
نمونه شاهد	۰/۰۵	۰/۲۰	۱/۵۱	۰/۹۰	۰/۰۸	۲/۷۴





شکل ۴- تغییرات مکانی سمناکی حاد نمونه‌های خاک منطقه مورد بررسی

### ۳-۱- تحلیل‌های آماری :

در این پژوهش برای تعیین نرمال یا غیرنرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که توزیع داده‌ها نرمال است. همبستگی بالا بین عناصر می‌تواند ناشی از ورود این عناصر از طریق منابع مشترک مانند ورود از طریق اتمسفر و یا از طریق مواد مادری باشد [۲۷]. محاسبه ضریب همبستگی (جدول ۷)، نشان داد که همبستگی مثبت بالایی بین Pb و Zn وجود دارد، که این امر می‌تواند دلیل منشا مشترک آنها باشد. انتشار از وسایل نقلیه یکی از مهمترین منابع تولیدکننده فلزات سنگین در محیط‌های شهری محسوب می‌شود [۲۸]. بیشترین غلظت فلزات Zn و Pb مربوط به ایستگاه‌های ۱۴ و ۲۱ است، این ایستگاه‌ها در مناطق پرتراфик واقع شده و همچنین در پایین‌دست صنایع پتروشیمی و پالایشگاه قرار دارند. این فلزات می‌توانند از منابع متحرک ناشی شوند، زیرا در موتورها، بنزین، تایرها و بخش گالوانیزه وسایل نقلیه حضور دارند [۲۹، ۲۳]. علاوه بر این، ممکن است از فعالیت صنایع پتروشیمی و پالایشگاه نیز ناشی شوند [۲۱]. بسیاری از بررسی‌های انجام‌شده در سراسر جهان نشان داده‌اند که آلودگی سرب و روی ممکن است ناشی از فعالیت کارخانه‌های نفت، صنایع پتروشیمی و یا از وسایل نقلیه در کشورهای که از بنزین سرب‌دار استفاده می‌کنند باشد [۳۰، ۳۱]. آهن و منگنز همبستگی مثبت و بالایی با وانادیوم و نیکل دارند، این همبستگی می‌تواند تأییدکننده منشاء مشترک عناصر گفته شده باشد. همبستگی کروم با سرب و منگنز مثبت و کم، و با سایر عناصر منفی است. آرسنیک با گوگرد دارای همبستگی مثبت و کم، و با آهن، نیکل و وانادیوم دارای همبستگی

مثبت و زیاد است. این همبستگی نیز می‌تواند نشان‌دهنده منشاء مشترک این عناصر باشد. بیشترین غلظت گوگرد مربوط به ایستگاه‌های ۱ و ۲ در پایین‌دست صنایع پتروشیمی، آرسنیک مربوط به ایستگاه ۱۳، در پایین‌دست صنایع پتروشیمی و پالایشگاه نفت، و هر دوی این ایستگاه‌ها در جهت باد غالب منطقه هستند.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA<sup>۱</sup>) (جدول ۸)، مؤلفه اول با ۴۳/۵۶٪ از کل واریانس، دارای فاکتور وزنی مثبت و همبستگی بالایی برای فلزات Fe, Ni, V, Mn است و این همبستگی بالا می‌تواند ناشی از رفتار زمین‌شیمیایی مشابه یا منشاء مشترک آنها باشد. بیشترین غلظت وانادیوم مربوط به ایستگاه ۱۰، و نیکل ایستگاه ۱۴ است، که این ایستگاه‌ها در پایین‌دست صنایع پتروشیمی و پالایشگاه نفت قرار دارند. مؤلفه دوم با ۲۵/۸۷٪ واریانس کل شامل فلزات Zn و Pb است. وجود این عناصر در محیط، می‌تواند ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و همچنین فعالیت صنایع پتروشیمی و پالایشگاه نفت و انتشار از وسایل نقلیه موتوری در فضای شهری باشد [۳۲]. مؤلفه سوم ۱۶/۹۰٪ از واریانس کل را دارد و شامل عناصر S و As است. از آنجایی که گاز ترش و گوگرد مایع جزء مواد اولیه مصرفی، و گوگرد و اسیدسولفوریک از محصولات تولیدی در صنایع پتروشیمی‌اند و گوگرد از مهمترین تشکیل‌دهنده‌های گازهای خروجی از دودکش‌های صنایع پتروشیمی است، بنابراین افزایش گوگرد ناشی از فعالیت صنایع پتروشیمی است [۳۳]. گازهای خروجی از دودکش‌ها که حاوی گوگرد هستند در جهت وزش باد غالب منطقه (شمال‌غرب-جنوب‌شرق) حرکت کرده و پس از مدتی روی سطح زمین نهشته شده و باعث آلودگی خاک

نشان‌دهنده منشاء متفاوت تولیدکننده این فلز است. بیشترین غلظت کروم (Cr) مربوط به ایستگاه ۱۱ است که در منطقه مسکونی با تردد بالای وسایل نقلیه واقع شده است. این منطقه در پایین دست صنایع پتروشیمی و پالایشگاه قرار گرفته است. کروم نیز به طور طبیعی در پوسته زمین وجود دارد، اما وجود این فلز در محیط می‌تواند هم با منابع طبیعی و هم منابع انسان‌زاد که عمدتاً شامل سوختن نفت و گاز و زغال سنگ و گسیل از وسایل نقلیه است، مرتبط باشد [۲۳].

نواحی اطراف این صنایع می‌شوند. آلووی [۳۴] در بررسی فلزات سنگین خاک‌های شهری نشان داد که وجود آرسنیک در محیط، با احتراق سوخت‌های فسیلی و فعالیت صنایع پتروشیمی و پالایشگاه نفت مرتبط است، همچنین اشراق‌نیای جهرمی و همکاران [۱۱]، در بررسی آلودگی خاک نواحی اطراف پتروشیمی شیراز نشان دادند که وجود عناصر S و As در خاک، با فعالیت صنایع پتروشیمی مرتبط است. مؤلفه چهارم با ۵/۹۱٪ واریانس کل مربوط به کروم (Cr) است. قرارگیری این فلز در یک مؤلفه جداگانه

جدول ۷ - ضریب همبستگی پیرسون

	As	Mn	Ni	Pb	S	V	Zn	Cr	Fe
As	۱								
Mn	۰/۲۹۰	۱							
Ni	**۰/۵۴۰	۰/۳۳۹	۱						
Pb	۰/۲۶۰	-۰/۰۴۵	*۰/۴۷۹	۱					
S	۰/۳۲۰	**۰/۵۹۰	۰/۱۵۲	۰/۱۸۷	۱				
V	**۰/۵۷۹	**۰/۸۳۳	**۰/۵۷۳	۰/۱۴۰	-۰/۳۳۵	۱			
Zn	*۰/۴۳۰	۰/۰۴۶	**۰/۶۰۳	**۰/۹۱۵	۰/۳۵۵	۰/۱۸۶	۱		
Cr	-۰/۱۵۴	۰/۲۱۸	۰/۰۲۱	۰/۳۱۲	-۰/۳۲۸	-۰/۱۰۰	۰/۲۰۵	۱	
Fe	**۰/۵۸۹	**۰/۸۳۴	**۰/۶۷۶	۰/۲۵۳	-۰/۳۳۱	**۰/۹۴۸	۰/۲۸۳	۰/۰۴۳	۱

\*\* Correlation is significant at the 0.1 level.

\* Correlation is significant at the 0.05 level

#### ۴ - نتیجه‌گیری

مقایسه غلظت عناصر منطقه مورد بررسی با استانداردهای موجود نشان داد که غلظت فلزات سنگین سرب و روی و همچنین گوگرد بالا است. بر اساس نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های ضریب غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی، درجه آلودگی و درجه اشباع فلزات، بیشترین آلودگی مربوط به گوگرد، سرب، روی و کمترین مربوط به کروم، وانادیوم، منگنز و آهن است. نمونه‌های خاک ایستگاه‌های ۲، ۳، ۱۴ و ۲۱ که در نزدیکی منابع آلاینده قرار دارند دارای آلودگی زیاد هستند، همچنین ایستگاه‌های ۱۴ و ۲۱ دارای بیشترین درجه سمناکی هستند. این ایستگاه‌ها در پایین دست باد غالب منطقه و در نزدیکی صنایع پتروشیمی و پالایشگاه نفت آبادان قرار دارند. علاوه بر این، با توجه به قرارگیری این ایستگاه‌ها در منطقه شهری، حجم ترافیک و تردد وسایل نقلیه در این نواحی بالا است. ایستگاه‌های ۱ و ۲ که در پایین دست صنایع پتروشیمی قرار دارند، دارای غلظت‌های بسیار بالای گوگرد

جدول ۸ - نتایج انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی

	Rotated Component Matrix			
	Component			
	۱	۲	۳	۴
As	۰/۴۹۵	۰/۱۹۵	۰/۷۹۵	-۰/۰۶۰
Mn	۰/۹۲۶	-۰/۱۰۰	-۰/۱۰۴	۰/۲۲۵
Ni	۰/۵۶۴	۰/۵۸۳	۰/۲۵۷	-۰/۱۲۲
Pb	۰/۰۳۰	۰/۹۵۳	۰/۰۲۰	۰/۱۶۹
S	-۰/۵۱۵	۰/۲۲۳	۰/۷۱۷	-۲۸۸۰
V	۰/۹۶۰	۰/۱۱۱	۰/۰۹۵	-۰/۱۲۳
Cr	۰/۰۱۶	۰/۱۸۴	-۰/۱۴۱	۰/۹۶۳
Zn	۰/۰۶۱	۰/۹۴۱	۰/۲۳۸	۰/۰۸۴
Fe	۰/۹۵۵	۰/۲۲۳	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۲
% of variance	۴۳/۵۶	۲۵/۸۷	۱۶/۹۰	۵/۹۱

Extraction Method: Principal Component Analysis.

- [3] Callender G. Heavy metal in environment, historical Trend. U. S Geological Survey, Westerly; **2005** : 67-105.
- [4] Luo XS, Yu S, Zhu YG, Li XD. Trace metal contamination in urban soils of China. Science Total Environment. ;**2011**; 04: 20.
- [5] Thornton I, Farago ME, Thums CR, Parrish RR, McGill RAR, Breward N. Urban geochemistry: research strategies to assist risk assessment and remediation of brownfield sites in urban areas. Environ Geochem Health ; **2008**; **30**:565-76.
- [6] Wong CSC, Li XD, Thornton I. Urban environmental geochemistry of trace metals. Environmental Pollute ; **2006**; **142**:1-16.
- [7] Mehlman M A . Dangerous and cancer-causing properties of products and chemicals in the oil refining and petrochemical industry. VIII. Health effects of motor fuels: carcinogenicity of gasoline-scientific update. Environmental Research; **1992**; **59**:238 – 249.
- [8] Kaldor J, Harris J A, Glazer E, Glaser S, Neutra R, Mayberry R, Nelson V, Robinson L, Reed D. Statistical association between cancer incidence and major-cause mortality, and estimated residential exposure to air emissions from petroleum and chemical plants. Environmental Health Perspect ; **1984**; **54**: 319 –332.
- [9] Lin MC, Yu HS, Tsai SS, Cheng BH, Hsu TY, Wu TN, Yang CY. Adverse pregnancy outcome in a petrochemical polluted area in Taiwan. Toxicol Environ Health; **2001**; **63**:565 –574.
- [10] Bosco M L, Varrica D , Dongarra G. Case study: inorganic pollutants associated with particulate matter from an area near a petrochemical plant. Environmental Research; **2005**; **99**, 18–30.
- [11] Eshragh Niaye Jahromi, M. Karimi, M. Ghetmiri, h.. Geochemical distribution and determination of heavy metals pollution (Ar, Cd, Cr, Ni and S) in agriculture field around Shiraz Petrochemical factory. Pnugeo 6-B. **2012** -184. [In Persian].
- [12] Abbasi Anar Koli D, Kamal Abadi S, Abdoli Gashtasb H, Samadi Khadem Sh, Matin A, Hosseini H. Investigate the accumulation of heavy metals Ni, Cd and Pb in soils and plants of Petrochemical industry of shazand, The 2nd conference on Environmental Planning and Management ; 2011 . [In Persian].
- [13] Law R, Andrulowicz E . Hydrocarbons in water, sediment and mussels from the southern Baltic Sea, Marine Pollution Bulletin; **1983**; **14**: 289-293.
- هستند که این مقادیر نسبت به غلظت گوگرد در سایر ایستگاه‌های پایین دست پالایشگاه نفت، بالاتر است. دلیل آن، تولید اسید سولفوریک و فراورده‌های حاوی گوگرد توسط صنایع پتروشیمی، و خروج گازهای اکسید گوگرد از دودکش‌های صنایع پتروشیمی است. با توجه به نتایج ضریب همبستگی، سرب با روی، نیکل و وانادیوم با آهن و منگنز همبستگی مثبت و زیاد دارند، که این موضوع می‌تواند بیانگر منشا مشترک عناصر گفته شده باشد. همبستگی کروم با سرب و منگنز مثبت و کم، و با سایر عناصر منفی است که احتمالاً نشان‌دهنده منشا متفاوت آن است، این همبستگی می‌تواند نشان‌دهنده منشا مشترک زمین‌زاد-انسان‌زاد این عنصر باشد. آرسنیک با گوگرد دارای همبستگی مثبت و کم و با آهن، نیکل و وانادیوم دارای همبستگی مثبت و زیاد است. این همبستگی نیز می‌تواند نشان‌دهنده منشاء زمین‌زاد-انسان‌زاد این عنصر باشد. آنالیز مؤلفه‌های اصلی، ۳ عامل ترافیک و گسیل از وسایل نقلیه و فعالیت صنایع پتروشیمی و پالایشگاه نفت (برای عناصر سرب، روی و بخشی از کروم)، فعالیت صنایع پتروشیمی و پالایشگاه و خروجی دودکش‌های آنها (گوگرد و بخشی از آرسنیک) و مواد مادری خاک (نیکل، منگنز، آهن، وانادیوم و بخشی از آرسنیک و کروم) را به عنوان عوامل اصلی آلودگی فلزات سنگین و گوگرد در منطقه مشخص کرد.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1 Organic carbon
2. Inductively coupled plasma – optical emission spectroscopy
3. Enrichment factor
4. Contamination factor
5. Contamination degree
6. Saturation degree of metals
7. Potential acute toxicity
8. Toxicity unite
9. Environmental protection agency
10. Principal component analysis

#### منابع

- [1] Huisman D J, Vermeulen F J H, Baker J, Veldkamp A, Kroonenberg S B, Klaver G T. Ageological interpretation of heavy metal concentrations in soil and sediments in the Southern Nwtherlands. Geochem Explor ; **1997**; **59**: 163-174.
- [2] Yang Y G, Jin Z , Bi X, Li F, Sun L, Liu J, Fu Z.. Atmospheric deposition- carried Pb, Zn, and Cd from a Zinc smelter and their effect on soil microorganisms. Pedosphere ; **2009**; **19**: 422-423.

- [26] Denaix L, Semlali R M, Douay F. Dissolved and colloidal transport of Cd, Pb, and Zn in a silt loam soil affected by atmospheric industrial deposition. *Environmental Pollution* ; **2001**; **113**: 29-38.
- [27] Kapusta P, Szarek-Lukaszewska G M, Stefanowicz A. Direct and indirect effects of metal contamination on soil biota in a Zn-Pb post-mining and smelting area (S Poland). *Environmental Pollution* ; **2011**; **159**: 1516-1522.
- [28] Yalcin MG, Battaloglu R, Ilhan S. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environ Geol* ; **2007**; **53**:399-415
- [29] Duong T T T, Lee B K. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Environmental Mangement* ; **2011**; **92**(3):62-554.
- [30] Saeedi M, Hosseinzadeh M, Jamshidi A, Pajoheshfar S. Assessment of heavy metal contamination and leaching characteristics in highway side soils, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* ; **2009**; **151**(1):41-231.
- [31] Fauci A S. Principles of Internal Medicine, McGraw Hill, 14th Ed., NewYork ; **1998**; 265-266.
- [32] Kohno K. Actual status of measurement of blood concentration of lead, urinary concentration of delta-amino laevulin acid and urinary concentration of metabolites of organic solvents entrusted to occupational health organizations. *Sangyo.IGaku* ; **1994**; **36**(2): 124-130.
- [33] Monavari M. Assessment environmental impact of petrochemical industries. Iran, Tehran. Farzaneh Inc. ; **2001**. [In Persian].
- [34] Alloway B J. Heavy metal in soil. Blackie and son Ltd. Glasgow and London . **1990**.
- [14] Cevik F, Goksu M, Derici O, Findik O. An assessment of metals pollution in surface sediments of Seykan dam by using enrichment factor, Geoaccumulation index and statistical analysis, *Environmental Monitoring Assessment*; **2009**; **152**: 309-317.
- [15] Lu X, Wang I, Lei K, Huang j, Zhai Y. Contamination assessment of copper, lead, zinc and nikel in street dust of baoji, NW China. *Hazard Mater* ; **2009**; **161**:1058-1062.
- [16] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research* ; **1980**; **14**: 975-1001.
- [17] Rastmanesh F, Moore F, Kharrati Kopaei M, Keshavarzi B, Behrouz M. Heavy metal enrichment of soil in Sarcheshmeh copper complex, Kerman, Iran. *Environmental Earth Science* ; **2010**.
- [18] Yang Y G, Jin Z, Bi X, Li F, Sun L, Liu J, Fu Z.. Atmospheric deposition- carried Pb, Zn, and Cd from a Zinc smelter and their effect on soil microorganisms. *Pedospher* ; **2009**; **19**: 422-423.
- [19] Pedersen F, Bjrnestand E, Andersen H V, Kjhlholt J & Poll, C. Characterization of sediments from Copenhagen Harbour by use of bioests. *Water Science and Technology*; **1998**; **37**, 233-240.
- [20] Kabata-Pendias A & Mukherjee A B. Trace element from soil to human Berlin, Springer-Verlag ; **2007**; 550.
- [21] Taylor S R. Abundance of chemichal elements in the continental crust. *Canberra Geochimicuet Cosmochimicn*; **1964** ; **28**:1273-1285.
- [22] USEPA . Office of Solid Waste and Emergency Response, Hazardous waste land treatment, SW; **1983**; 874-273.
- [23] ATSDR . Toxicological Profile for Chromium. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA., **2000**.
- [24] Chen X, Xia X, Zhao Y, Zhang P. Heavy metal concentrations in roadside soils and correlation with urban traffic in Beijing, China. *Journal of Hazardous Materials* ; **2010**; **181**:640-646.
- [25] Pan BJ, Hong YJ, Chang GC, Wang MT, Cinkotai FF, Ko YC. Excess cancer mortality among children and adolescents in residential districts polluted by petrochemical manufacturing plants in Taiwan. *Toxicol Environ Health*; **1994**; **43**:117 – 129.

