

مطالعه آلودگی خاک به فلزات سنگین ناشی از نشت هیدروکربن‌های نفتی در پالایشگاه کرمانشاه  
رامین ساریخانی، آرتیمس قاسمی دهنوی، علی مرادپور و مسلم امیری

دوره ۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، صفحات ۱۶۹-۱۵۷

Vol. 3(2), Summer 2017, 157 – 169

**Study of Soil Pollution with Heavy Metals from  
Leakage of Petroleum Hydrocarbons at  
Kermanshah Refinery**

Sarikhani S., Ghassemi Dehnavi A., Moradpour A.  
and Amiri M.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

نحوه ارجاع به این مقاله: ساریخانی ر.، قاسمی دهنوی آ.، مرادپور ع. و امیری م. (۱۳۹۶). مطالعه آلودگی خاک به فلزات سنگین ناشی از نشت هیدروکربن‌های نفتی در پالایشگاه کرمانشاه. محیط‌زیست و مهندسی آب، جلد ۳، شماره ۲، صفحات: ۱۶۹ - ۱۵۷

**How to cite this paper:** Sarikhani S., Ghassemi Dehnavi A., Moradpour A. and Amiri M. (2017). Study of soil pollution with heavy metals from leakage of petroleum hydrocarbons at Kermanshah Refinery. J. Environ. Water Eng., 3(2), 157 – 169.

## مطالعه آلودگی خاک به فلزات سنگین ناشی از نشت هیدروکربن‌های نفتی در پالایشگاه کرمانشاه

رامین ساریخانی\*<sup>۱</sup>، آر تیمس قاسمی دهنوی<sup>۱</sup>، علی مرادپور<sup>۲</sup> و مسلم امیری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران  
<sup>۲</sup> دانشجوی دکتر، بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران  
<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران  
 \*نویسنده مسئول: sarikhani.r@gmail.com

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۸/۱۹]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۱۱/۲۰]

### چکیده

در دهه‌های اخیر چالش ناشی از آلودگی خاک با هیدروکربن‌های نفتی تبدیل به یکی از خطرات جدی در کشورهای نفت‌خیز جهان از جمله ایران شده است. در کشورهایی که دارای تأسیسات، پالایشگاه‌ها و منابع نفتی هستند و به‌طور دائم فرایندهای اکتشاف در حال انجام است، نشت و تراوش آلاینده‌ها و فرآورده‌های نفتی و نفوذ آن‌ها در خاک در هنگام ذخیره‌سازی و یا انتقال، از مهم‌ترین آلوده‌کننده‌های خاک به شمار می‌آید. در این پژوهش با هدف بررسی و اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین در خاک محدوده پالایشگاه کرمانشاه سعی شده ضمن دستیابی به غلظت این فلزات و تحلیل آماری آن‌ها، مناطق پرخطر به لحاظ آلودگی ناشی از نشت، استخراج، پالایش و یا حمل نفت مشخص گردند. لذا تعداد ۱۵ نمونه خاک از محوطه پالایشگاه انتخاب و از نظر میزان آلودگی به اجزاء نفتی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز ICP-MS نمونه‌های خاک پالایشگاه کرمانشاه روند تغییرات غلظت فلزات سنگین به صورت  $Cr > Zn > Ni > V > Cu > Pb > Co > Sc > As > Cd$  است. شاخص زمین انباشت حاکی از آن است که خاک پالایشگاه در عناصر نیکل و کروم در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. این در حالی است که نتایج حاصل از فاکتور غنی‌شدگی دال بر غنی‌شدگی خاک از کروم و سرب بوده و همچنین اثبات می‌کند غنی‌شدگی در عناصر سرب و مس ناشی از عوامل انسان‌زاد می‌باشد. شاخص بار آلودگی عناصر کروم، نیکل، روی، مس و سرب نشان می‌دهد که خاک مورد بررسی به لحاظ این عناصر دارای آلودگی است. نقشه پهنه‌بندی عناصر سنگین در محدوده مورد بررسی بیان‌کننده آن است که غلظت بالای برخی عناصر در ایستگاه‌های نمونه‌برداری ناشی از نشت آلاینده‌های هیدروکربنی از مخازن و تأسیسات نفتی می‌باشد.

واژگان کلیدی: آلودگی خاک؛ پالایشگاه کرمانشاه؛ فلزات سنگین؛ نقشه پهنه‌بندی.

## ۱- مقدمه

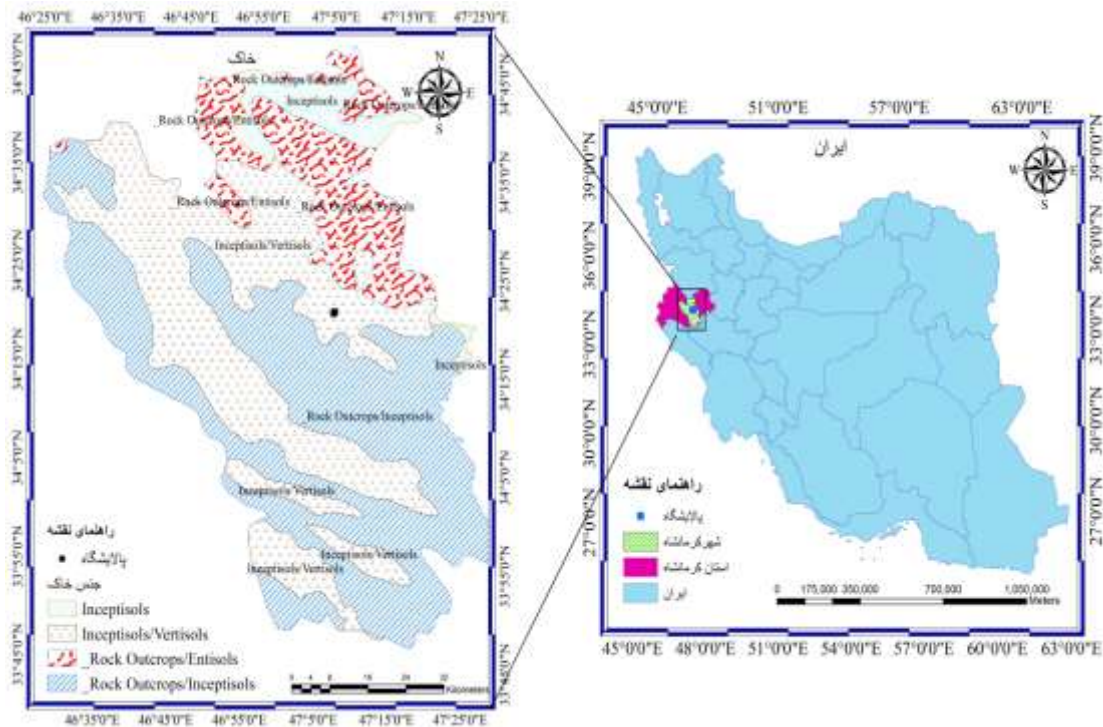
خاک به‌عنوان یکی از منابع طبیعی دیرتجزیه شونده، نقش مهمی در چرخه عناصر معدنی و آلی ایفا می‌کند و به‌عنوان یک زیست‌بوم پویا حیات موجودات زنده ریزودرشت را فراهم می‌سازد، لذا رفع آلودگی‌های آن از اهمیت بی‌شماری برخوردار است (Khan 2005). آلودگی نفتی یکی از عمومی‌ترین و شایع‌ترین نوع از آلودگی‌ها در زیست‌بوم‌ها است. توسعه صنعت پتروشیمی از یک‌سو و عدم رعایت الزامات زیست‌محیطی از سوی دیگر سبب شده تا در دهه‌های اخیر مقادیر زیادی از آلاینده‌های هیدروکربنی وارد محیط‌زیست شوند. مواد نفتی در حین حفاری و استخراج در سایت‌های نفتی و یا به‌هنگام نقل و انتقال زمینی و دریایی به‌رغم تدابیری که جهت کنترل آلودگی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود، به محیط اطراف نشت می‌کنند. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که فعالیت‌های صنعتی انسان تنها عامل آلودگی محیط‌زیست به ترکیبات سمی و خطرناک به‌وسیله این دسته از آلاینده‌ها می‌باشد. در ایران در بسیاری از مناطق ایجاد صنایع پتروشیمی، احداث پالایشگاه‌ها و حفاری چاه‌های استخراج نفت و گاز باعث افزایش مشکلات آلودگی در خاک‌های اطراف این مناطق می‌شود. عواملی نظیر دفع نامناسب فاضلاب‌ها و ضایعات مراکز صنعتی، پخش آلاینده توسط پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها، نشت آلاینده از مخازن نفتی زیرزمینی و ایستگاه‌های سوخت‌گیری، تصادفات تانکرها و نفت‌کش‌ها به این مشکل دامن می‌زنند. به‌محض ورود این آلاینده‌ها به محیط‌زیست بخشی از آلاینده‌ها خصوصاً قسمتی که از لحاظ ساختاری شبیه به ترکیبات طبیعی هستند، سریعاً به‌وسیله خرده‌زیست‌مندهای موجود در آب و خاک و یا تحت تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی تجزیه و حذف می‌شوند. حال آنکه بخش عمده آن‌ها به‌کندی تجزیه می‌گردند. در نتیجه در محیط‌زیست باقی‌مانده و تجمع می‌نمایند. از مهم‌ترین این آلاینده‌ها، هیدروکربن‌های حلقوی با وزن مولکولی بالا و فلزات سنگین موجود در ترکیبات نفتی است. آلودگی فلزات سنگین نه‌تنها به‌طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد غذایی در خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه خطری جدی برای سلامتی انسان به دلیل ورود به زنجیره غذایی و نیز امنیت زیست‌محیطی از طریق نفوذ در آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند (Facchinelli et al. 2001). آلودگی خاک به‌وسیله فلزات سنگین با آلودگی آب یا هوا متفاوت است، چراکه فلزات سنگین در داخل خاک به مدت طولانی‌تری نسبت به سایر بخش‌های بیوسفر باقی می‌مانند و در خاک دوام و بقای بیشتری دارند (Lasat 2002). چالش اصلی در خصوص آلودگی خاک ناشی از فلزات سنگین به سبب آن است که این آلاینده‌های غیرآلی برخلاف آلاینده‌های آلی تجزیه‌پذیر نمی‌باشند. این واقعیت فلزات سنگین را به یکی از خطرناک‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی مبدل ساخته است (Kabata-Pendias 2001). رها شدن نفت در خاک به‌هنگام استخراج، حمل و پالایش سبب آلودگی خاک و در نتیجه محیط‌زیست می‌گردد (Adesina and Adelasoye 2014). گروهی از منابع آلاینده خاک مربوط به اکتشافات نفت، تولید، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل، توزیع و دفن نهایی زائدات این ترکیبات است. این صنایع در صورتی که آلاینده باشند، می‌توانند برای محیط‌زیست خطر ایجاد کنند (Anyakora et al. 2013). افزایش آلودگی فلزات سنگین در خاک سبب انجام بررسی‌های فراوانی در این زمینه شده است. به‌عنوان مثال et al. (2004) Giteypour با آزمایش‌های مختلف صحرائی و آزمایشگاهی، میزان آلودگی خاک‌های اطراف پالایشگاه‌های مختلف را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که خاک منطقه عظیم‌آباد (جنوب پالایشگاه تهران) در برخی از مناطق آلوده به ترکیبات نفتی است. در مطالعات مشابه و با بررسی غلظت فلزات سنگین در پالایشگاه‌های آبادان، تهران و شیراز مشخص گردید که بیش‌ترین آلاینده‌های مربوط به فلز کروم و به ترتیب برابر ۸/۲۱۲، ۸۳ و ۱/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. همچنین در پالایشگاه تبریز و اصفهان بیش‌ترین آلاینده‌ها به ترتیب با غلظتی معادل ۳/۷۶ و ۱/۱۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به فلز نیکل اختصاص دارد. مقدار فلزات سنگین نیکل و کادمیوم در خاک‌های مورد مطالعه نسبت به استانداردهای اروپا و دنیا بیشتر و غلظت دو فلز سرب و کروم کم‌تر از استانداردها می‌باشد. بر همین اساس با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پالایشگاه تهران نسبت به پالایشگاه‌های دیگر از نظر آلودگی‌های زیست‌محیطی در وضعیت بهتری قرار دارد. این موضوع می‌تواند به دلیل اجرای برنامه زیست‌محیطی باشد. این در حالی است که بیش‌ترین مقدار فلز کروم و کادمیوم و غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی به ترتیب برای پالایشگاه‌های شیراز و اصفهان به‌دست‌آمده است (Alipour et al. 2016).

مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات می‌تواند گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی زیست‌محیطی وضعیت موجود در یک منطقه باشد (Shajan 2001). هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی توزیع عناصر سنگین در خاک محدوده پالایشگاه کرمانشاه و ارزیابی آلودگی زیست‌محیطی با استفاده از شاخص‌های آلودگی و تحلیل‌های آماری است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه در منتهی‌الیه غربی کشور در سه جهت جغرافیایی دارای مرز داخلی با استان‌های (لرستان، کردستان، ایلام، همدان) و از یک جهت نیز دارای مرز بین‌المللی با کشور عراق است. مختصات جغرافیایی آن بین  $37^{\circ} 33'$  تا  $35^{\circ} 17'$  طول شمالی و  $45^{\circ} 01'$  تا  $48^{\circ} 01'$  طول شرقی است (شکل ۱). با توجه به تقسیم‌بندی واحدهای مهم زمین‌شناسی ایران، سه منطقه مهم ساختاری یعنی زاگرس مرتفع، زاگرس چین‌خورده - رانده و زون سنندج - سیرجان ساختارهای کلی زمین‌شناسی استان کرمانشاه را تشکیل می‌دهند. نیمه شمالی نقشه چهارگوش کرمانشاه، شامل بخش دگرگون نشده از زون سنندج - سیرجان و نیمه جنوبی شامل بخش‌هایی از کمربند زاگرس چین‌خورده - رانده شده است (Karimi Bavandpour and Sahandi 1999).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و خصوصیات خاک‌های محدوده مورد مطالعه

### ۲-۲- برداشت و آنالیز نمونه‌ها

به لحاظ موقعیت زمین‌شناسی پالایشگاه کرمانشاه بر روی تراس‌های آبرفتی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای عهد حاضر کم ارتفاع و خاک‌های اینسپتی سل و ورتی سول احداث شده است. تعداد ۱۵ نمونه خاک از محوطه پالایشگاه از عمق ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متری جمع‌آوری گردیده و پس از جداسازی قلوه‌سنگ‌ها و ثبت موقعیت جغرافیایی نمونه‌های برداشت‌شده هر یک در کیسه‌های پلاستیکی مجزا ریخته و کدگذاری شدند. جهت آنالیز و تعیین غلظت عناصر سنگین در نمونه‌ها از روش ICP-MS و دستگاه Agilent Series 4500 ساخت کشور آمریکا استفاده شده است. نمونه‌ها ابتدا با استفاده از سنگ‌شکن فکی تا ابعاد کمتر از چهار

میلی‌متر خردایش شده و سپس در آسیاب دیسکی تا سایز ۷۵ میکرون (۲۰۰ مش) پودر گردیدند. برای توزین نمونه‌ها از لوله‌های تفلونی در روش دایجست ۴ اسید استفاده گردیده است. پس از توزین، نمونه‌ها در لوله‌های تفلونی، هیدروکلریدریک، پرکلریدریک، نیتریک و کلریدریک اسید هرکدام به میزان مشخص به نمونه‌ها اضافه شده و تمامی آن‌ها در Hot Box قرار گرفتند. پس از عملیات دایجست کامل، نمونه‌ها در دمای محیط خنک شده و با آب مقطر به حجم مناسب رسیدند. درنهایت به کمک دستگاه ICP-MS آنالیز شدند. با توجه به تغییرات غلظت عناصر در خاک منطقه و هم‌چنین ترکیبات موجود در نفت خام، فلزات Cd, As, Cu, Cr, Co, Zn, V, Sc, Pb, Ni جهت ارزیابی و انجام آنالیز ICP-MS انتخاب گردیدند.

### ۲-۳- شاخص‌های آلودگی

جهت تعیین و تفسیر میزان آلودگی نمونه‌های خاک مورد مطالعه با توجه به غلظت عناصر از فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت و شاخص بار آلودگی استفاده شد. شاخص زمین انباشت از فاکتورهای ژئوشیمیایی مهم برای توصیف غلظت فلزات در هر منطقه به شمار می‌آید (Muller 1969) و آن را می‌توان از رابطه (۱) محاسبه نمود:

$$I_{geo} = \log 2 \left( \frac{C_n}{1.5B_n} \right) \quad (1)$$

در این رابطه  $C_n$  غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه خاک یا رسوب،  $B_n$  غلظت عنصر مورد مطالعه در مقدار زمینه (متوسط شیل جهانی) و ضریب ۱/۵ برای حذف تأثیر سنگ‌شناسی است. از آنجاکه به منظور بیان وضعیت آلودگی محیط نسبت به یک عنصر خاص، می‌توان از ضریب آلودگی استفاده نمود (Abraham and Parker 2008). در خصوص نمونه‌های مورد بررسی و جهت محاسبه ضریب آلودگی، از روش هاکنسون (رابطه ۲) استفاده شد (Hakanson 1980):

$$C_f = \frac{C_0}{C_n} \quad (2)$$

در این رابطه  $C_f$  ضریب آلودگی،  $C_0$  غلظت فلز در نمونه مورد بررسی و  $C_n$  غلظت فلز در شیل میانگین به‌عنوان مرجع می‌باشد. شاخص بار آلودگی از دیگر پارامترهای مهم برای ارزیابی و تخمین شدت آلودگی خاک به شمار می‌رود. این شاخص بر اساس ضریب غلظت هر عنصر در خاک محاسبه می‌شود و با تقسیم غلظت هر عنصر در خاک به غلظت آن در نمونه مرجع ( $CF$ ) به دست می‌آید (Vafabakhsh and Kharghany 2000). شاخص بار آلودگی برای مجموعه‌ای از فلزات آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت تمامی فلزات موردنظر محاسبه می‌شود. آلودگی کلی فلزی با استفاده از این شاخص از رابطه (۳) به دست می‌آید (Mohammad et al. 2010).

$$P.L.I. = \frac{(C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \times \dots \times C_{fn})}{n} \quad (3)$$

یکی از روش‌های رایج برای ارزیابی اثرات انسان‌زاد بر روی خاک، محاسبه ضریب غنی‌شدگی بهنجار شده (EF) برای غلظت‌های بالاتر از حد زمینه فلزات است. در راستای محاسبه EF می‌بایست مقدار فلز اندازه‌گیری شده را با توجه به فلز مرجع نمونه مانند آهن، اسکاندیم، تیتان، منگنز یا آلومینیم بهنجار نمود (Binggan and Linsheng 2010). در این مطالعه برای ارزیابی اثر انسان‌زاد فلزات سنگین در خاک از عنصر اسکاندیم به دلیل غیر متحرک بودن و نیز داشتن کمترین تغییرات در نمونه‌ها به‌عنوان عنصر بهنجار کننده و مرجع و نیز از میانگین غلظت بر اساس شیل جهانی به‌عنوان محیط مرجع در محاسبات ضرایب آلودگی استفاده شده است. برای محاسبه ضریب غنی‌شدگی عناصر در خاک ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رابطه (۴) استفاده شده است (Mohammad et al. 2010).

$$EF = \frac{C_n(\text{sample}) / C_{ref}(\text{sample})}{B_n(\text{background}) / B_{ref}(\text{background})} \quad (۴)$$

در این رابطه  $C_n(\text{sample})$  غلظت عنصر در نمونه خاک مورد مطالعه و  $C_{ref}(\text{sample})$  غلظت عنصر مرجع در نمونه خاک است.  $B_n(\text{background})$  و  $B_{ref}(\text{background})$  نیز به ترتیب غلظت فلز در نمونه مرجع و غلظت عنصر مرجع را نشان می‌دهد.

## ۲-۴- توزیع مکانی آلودگی و آنالیز آماری

برای تهیه توزیع مکانی از نرم افزار ArcGis استفاده شد. از آنجاکه روش‌های کریجینگ (معمولی، ساده و گسسته) دارای پتانسیل بالایی برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک هستند؛ لذا به‌عنوان روش‌هایی مناسب برای درون‌یابی و تهیه نقشه آلاینده‌ها پیشنهاد شده‌اند (Webster and Burges 2002). چون نرمال بودن توزیع داده‌ها یکی از شروط لازم برای استفاده از کریجینگ خطی است، لذا ابتدا توزیع نرمال داده‌ها بررسی و سپس نقشه‌های توزیع مکانی فلزات سنگین ترسیم گردیده‌اند. از آنجاکه عناصر کروم، نیکل، روی و مس در خاک محدوده مورد مطالعه دارای توزیع نرمال نبودند، ابتدا با تبدیل لگاریتمی نرمال شده و سپس از روش‌های کریجینگ استفاده گردید. در نهایت پس از محاسبه پارامترهای آلودگی و به‌منظور بررسی نحوه ارتباط عناصر با یکدیگر و تعیین منشأ آن‌ها، به کمک نرم‌افزار SPSS 18 نتایج به‌دست‌آمده توسط آنالیزهای آمار توصیفی، تعیین ضریب همبستگی پیرسون، آنالیز خوشه‌ای پیرسون و آنالیز مؤلفه‌های اصلی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

## ۳- یافته‌ها و بحث‌ها

### ۳-۱- ارزیابی آلودگی

#### ۳-۱-۱- شاخص زمین انباشت

در جدول (۱) نتایج حاصل از آنالیز ICP-MS ۱۵ نمونه خاک برداشت‌شده از محدوده پالایشگاه کرمانشاه ارائه شده است. با مقایسه غلظت‌های به‌دست‌آمده می‌توان دریافت روند تغییرات فلزات سنگین در خاک پالایشگاه کرمانشاه به‌صورت  $Cr > Zn > Ni > V > Cu > Pb > Co > Sc > As > Cd$  است. کروم بالاترین و کادمیم پایین‌ترین غلظت در نمونه‌های خاک مورد آنالیز دارا می‌باشند.

جدول ۱ - نتایج آنالیز ICP-MS نمونه‌های خاک پالایشگاه کرمانشاه (برحسب ppm)

ایستگاه	X	Y	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	V	Zn
۱	۳۸۰۸۲۰۶	۱۴۱۲۸۷	۶/۷	۰/۲	۱۷/۲	۱۷۳	۳۱	۱۰۱	۲۵	۱۲/۶	۷۹	۸۲
۲	۳۸۰۸۱۶۸	۱۴۱۲۵۸	۷/۸	۰/۳	۱۹/۲	۱۷۴	۱۴۹	۹۵	۴۰	۱۴/۷	۹۳	۲۲۰
۳	۳۸۰۸۱۴۶	۱۴۱۲۳۱	۷/۹	۰/۲	۱۶/۹	۱۱۰	۳۰	۹۷	۱۳	۱۲/۲	۷۵	۷۱
۴	۳۸۰۸۱۵۳	۱۴۱۱۴۹	۷/۳	۰/۲	۱۶/۲	۱۱۵	۲۳	۶۱	۱۲	۱۳/۷	۹۴	۶۹
۵	۳۸۰۸۱۰۹	۱۴۱۱۴۴	۶/۵	۰/۲	۱۴/۱	۱۰۹	۲۸	۷۶	۱۴	۱۰/۷	۶۸	۷۴
۶	۳۸۰۸۱۴۷	۱۴۱۱۸۴	۶/۲	۰/۳	۱۴/۹	۱۸۵	۷۱	۱۰۰	۵۶	۱۱/۵	۹۱	۱۷۴
۷	۳۸۰۸۰۵۴	۱۴۱۱۲۴	۷/۱	۰/۳	۱۹/۱	۲۸۷	۶۵	۱۵۰	۱۲	۱۳/۲	۱۰۰	۸۴
۸	۳۸۰۸۰۲۰	۱۴۱۱۶۲	۷	۰/۴	۲۲/۱	۲۸۱	۷۶	۱۳۳	۱۲	۱۵/۶	۱۲۳	۹۷
۹	۳۸۰۷۹۵۹	۱۴۱۲۴۴	۸/۷	۰/۳	۱۳/۴	۱۴۶	۵۷	۹۸	۲۴	۹/۲	۸۴	۹۹
۱۰	۳۸۰۸۰۴۵	۱۴۱۲۱۵	۶/۴	۰/۳	۱۹/۲	۳۴۰	۶۰	۱۳۳	۲۵	۱۵/۴	۱۳۳	۱۰۷
۱۱	۳۸۰۸۳۱۲	۱۴۱۴۲۲	۷/۹	۰/۳	۱۵/۲	۱۸۱	۱۰۹	۹۶	۲۶	۹/۴	۹۶	۱۵۷
۱۲	۳۸۰۸۲۸۱	۱۴۱۳۹۱	۶/۳	۰/۳	۱۶/۲	۲۳۸	۶۰	۱۱۵	۱۴	۹	۱۰۶	۷۶
۱۳	۳۸۰۸۲۳۱	۱۴۱۴۲۷	۷/۷	۰/۳	۱۴/۶	۱۵۶	۶۳	۱۰۳	۲۹	۸/۸	۱۰۲	۱۷۱
۱۴	۳۸۰۸۳۰۴	۱۴۱۵۲۷	۶/۳	۰/۴	۱۲/۶	۱۴۶	۵۹	۸۰	۲۱	۷	۸۴	۹۲
۱۵	۳۸۰۸۳۶۱	۱۴۱۵۲۴	۶/۳	۰/۲	۱۴/۸	۱۵۰	۶۱	۹۸	۲۶	۹/۷	۹۸	۹۲

نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین انباشت برای نمونه‌های خاک برداشت‌شده از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در پالایشگاه کرمانشاه در جدول (۲) نشان داده شده است. جدول (۲) نشان می‌دهد که میزان کروم در خاک ایستگاه‌های ۱، ۲، ۶، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد (میزان Igeo بین صفر تا ۱). در ایستگاه‌های ۷، ۸ و ۱۰ میزان آلودگی کروم در خاک در حد متوسط بوده (میزان Igeo بین ۱ تا ۲) است. ایستگاه‌های ۳، ۴ و ۵ در محدوده بدون آلودگی دسته‌بندی می‌شوند. مس در ایستگاه شماره ۲ دارای آلودگی متوسط، در ایستگاه‌های ۶، ۸ و ۱۱ در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و در سایر ایستگاه‌ها بدون آلودگی است. عنصر نیکل در ایستگاه‌های ۷، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۳ در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و سایر نقاط بدون آلودگی را نشان می‌دهد. عنصر سرب در همه ایستگاه‌ها به جز ۲ و ۶ که در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد در سایر نقاط خاک بدون آلودگی را نشان می‌دهد. روی در ایستگاه‌های ۲، ۶، ۱۱ و ۱۳ در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و در سایر نقاط مورد مطالعه شاخص زمین انباشت محدود بدون آلودگی را نشان می‌دهد. نتایج شاخص زمین انباشت بر اساس مقدار میانگین در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که بر پایه شیل میانگین، عناصر کروم و نیکل در رده ۱ قرار می‌گیرند و شدت آلودگی آن‌ها در رده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط دسته‌بندی می‌شود. سایر عناصر مورد مطالعه در محدوده بدون آلودگی قرار دارند. در انتهای جدول (۲) متوسط میزان شاخص زمین انباشت در نمونه‌های برداشت‌شده از ایستگاه‌های مختلف ارایه شده است.

جدول ۲- نتایج محاسبه شاخص زمین انباشت در خاک پالایشگاه کرمانشاه

ایستگاه	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	V	Zn
۱	-۱/۳۶	-۱/۱۷	-۰/۷۳	۰/۳۶	-۱/۱۲	-۰/۰۱	-۰/۲۶	-۰/۶۳	-۱/۳	-۰/۸
۲	-۱/۳۲	-۰/۵۸	-۰/۵۸	۰/۳۷	۱/۱۴	-۰/۰۱	۰/۴۲	-۰/۴۱	-۱/۰۷	۰/۶۳
۳	-۱/۳	-۱/۱۷	-۰/۷۵	-۰/۳	-۱/۱۷	-۰/۰۷	-۱/۲۱	-۰/۶۸	-۱/۳۸	-۱/۰۱
۴	-۱/۴۲	-۱/۱۷	-۰/۸۱	-۰/۲۳	-۱/۵۵	-۰/۷۴	-۱/۳۲	-۰/۵۱	-۱/۰۵	-۱/۰۵
۵	-۱/۵۸	-۱/۱۷	-۱/۰۲	-۰/۳۱	-۱/۲۷	-۰/۴۲	-۱/۱	-۰/۸۷	-۱/۵۲	-۰/۹۵
۶	-۱/۶۵	-۰/۵۸	-۰/۹۴	۰/۴۵	۰/۰۷	-۰/۰۳	۰/۹	-۰/۷۶	-۱/۱	۰/۲۹
۷	-۱/۴۶	-۰/۵۸	-۰/۵۸	۱/۰۹	-۰/۰۵	۰/۵۶	-۱/۳۲	-۰/۵۶	-۰/۹۶	-۰/۷۶
۸	-۱/۴۸	-۰/۱۷	-۰/۳۷	۱/۰۶	۰/۱۷	۰/۳۸	-۱/۳۲	-۰/۳۲	-۰/۶۶	-۰/۵۵
۹	-۱/۱۶	-۰/۵۸	-۱/۰۹	۰/۱۱	-۰/۲۴	-۰/۰۶	-۰/۳۲	-۱/۰۸	-۱/۲۲	-۰/۵۳
۱۰	-۱/۶۱	-۰/۵۸	-۰/۵۸	۱/۳۳	-۰/۱۷	۰/۳۸	-۰/۲۶	-۰/۳۴	-۰/۵۵	-۰/۴۱
۱۱	-۱/۳	-۰/۵۸	-۰/۹۱	۰/۴۲	۰/۶۹	-۰/۰۹	-۰/۲۱	-۱/۰۵	-۱/۰۲	۰/۱۴
۱۲	-۱/۶۳	-۰/۵۸	-۰/۸۱	۰/۸۲	-۰/۱۷	۰/۱۷	-۱/۱	-۱/۱۲	-۰/۸۸	-۰/۹۱
۱۳	-۱/۳۴	-۰/۵۸	-۰/۹۶	۰/۲۱	-۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۰۵	-۱/۱۵	-۰/۹۳	۰/۲۶
۱۴	-۱/۶۳	-۰/۱۷	-۱/۱۸	۰/۱۱	-۰/۱۹	-۰/۳۵	-۰/۵۱	-۱/۴۸	-۱/۲۲	-۰/۶۳
۱۵	-۱/۶۳	-۱/۱۷	-۰/۹۵	۰/۱۵	-۰/۱۵	-۰/۰۶	-۰/۲۱	-۱/۰۱	-۰/۹۹	-۰/۶۳
میانگین	-۱/۴۵	-۰/۶	-۰/۷	۰/۴	-۰/۰۱	۰/۰۵	-۰/۳	-۰/۷	-۱/۳	-۰/۳

### ۳-۱-۲- شاخص ضریب آلودگی

نتایج آنالیز ضریب آلودگی در جدول (۳) آورده شده است. آرسنیک در همه نقاط نمونه‌برداری آلودگی پایین، کادمیم در ایستگاه‌های ۱، ۳، ۴، ۵ و ۱۵ در محدوده بدون آلودگی و در سایر نقاط آلودگی متوسط و کبالت در ایستگاه‌های ۲، ۷، ۸ و ۱۰ آلودگی متوسط و در سایر نقاط آلودگی پایینی را نشان می‌دهد. کروم در ایستگاه‌های ۷، ۸ و ۱۰ دارای آلودگی قابل توجه و در سایر ایستگاه‌ها دارای آلودگی متوسط است. مس در ایستگاه شماره ۲ دارای آلودگی قابل توجه، در ایستگاه‌های ۶ تا ۱۵ دارای آلودگی متوسط و در ایستگاه‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ دارای آلودگی پایین می‌باشد. نیکل به جز در ایستگاه شماره ۴ که دارای آلودگی پایین است، در سایر نقاط آلودگی متوسطی را نشان می‌دهد. سرب در ایستگاه‌های ۳، ۴، ۵، ۷، ۸ و ۱۲ آلودگی پایین و در سایر

نقاط مورد مطالعه آلودگی متوسط را به نمایش می‌گذارد. اسکاندیوم در ایستگاه‌های ۲، ۴، ۷، ۸ و ۱۰ آلودگی متوسط و در سایر نقاط در محدوده بدون آلودگی قرار می‌گیرد. وانادیوم به جز در ایستگاه ۱۰ که آلودگی متوسط دارد، در سایر نقاط آلودگی پایینی را به وانادیوم نشان می‌دهند. روی در ایستگاه‌های ۲، ۶، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۳ آلودگی متوسط و سایر ایستگاه‌ها آلودگی پایینی به این فلز را نشان می‌دهند. بر اساس محاسبات انجام شده برای میانگین غلظت فلزات در خاک پالایشگاه طبق استاندارد شیل جهانی فلزات آرسنیک، کادمیم، کبالت، اسکاندیوم و وانادیوم در محدوده آلودگی پایین قرار دارند و سایر عناصر در محدوده آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. نتایج به دست آمده طبق استاندارد شیل جهانی برای میانگین فلزات، در انتهای جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج ضریب آلودگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	V	Zn
۱	۰/۵۸	۰/۶۷	۰/۹۱	۱/۹۲	۰/۶۹	۱/۴۹	۱/۲۵	۰/۹۷	۰/۶۱	۰/۸۶
۲	۰/۶	۱	۱/۰۱	۱/۹۳	۳/۳۱	۱/۴	۲	۱/۱۳	۰/۷۲	۳/۳۲
۳	۰/۶۱	۰/۶۷	۰/۸۹	۱/۲۲	۰/۶۷	۱/۴۳	۰/۶۵	۰/۹۴	۰/۵۸	۰/۷۵
۴	۰/۵۶	۰/۶۷	۰/۸۵	۱/۲۸	۰/۵۱	۰/۹	۰/۶	۱/۰۵	۰/۷۲	۰/۷۳
۵	۰/۵	۰/۶۷	۰/۷۴	۱/۲۱	۰/۶۲	۱/۱۲	۰/۷	۰/۸۲	۰/۵۲	۰/۷۸
۶	۰/۴۸	۱	۰/۷۸	۲/۰۶	۱/۵۸	۱/۴۷	۲/۸	۰/۸۸	۰/۷	۱/۸۳
۷	۰/۵۵	۱	۱/۰۱	۳/۱۹	۱/۴۴	۲/۲۱	۰/۶	۱/۰۲	۰/۷۷	۰/۸۸
۸	۰/۵۴	۱/۳۳	۱/۱۶	۳/۱۲	۱/۶۹	۱/۹۶	۰/۶	۱/۲	۰/۹۵	۱/۰۲
۹	۰/۶۷	۱	۰/۷۱	۱/۶۲	۱/۲۷	۱/۴۴	۱/۲	۰/۷۱	۰/۶۵	۱/۰۴
۱۰	۰/۴۹	۱	۱/۰۱	۳/۷۸	۱/۳۳	۱/۹۶	۱/۲۵	۱/۱۸	۱/۰۲	۱/۱۳
۱۱	۰/۶۱	۱	۰/۸	۲/۰۱	۲/۴۲	۱/۴۱	۱/۳	۰/۷۲	۰/۷۴	۱/۶۵
۱۲	۰/۴۸	۱	۰/۸۵	۲/۶۴	۱/۳۳	۱/۶۹	۰/۷	۰/۶۹	۰/۸۲	۰/۸
۱۳	۰/۵۹	۱	۰/۷۷	۱/۷۳	۱/۴	۱/۵۱	۱/۴۵	۰/۶۸	۰/۷۸	۱/۸
۱۴	۰/۴۸	۱/۳۳	۰/۶۶	۱/۶۲	۱/۳۱	۱/۱۸	۱/۰۵	۰/۵۴	۰/۶۵	۰/۹۷
۱۵	۰/۴۸	۰/۶۷	۰/۷۸	۱/۶۷	۱/۳۶	۱/۴۴	۱/۳	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۹۷
میانگین	۰/۵	۰/۹۳	۰/۸۶	۲/۰۶	۱/۳۹	۱/۵	۱/۱۶	۰/۸۸	۰/۷۳	۱/۱۶

### ۳-۱-۳- شاخص بار آلودگی

در این شاخص و با توجه به مقادیر استاندارد (Thomilson et al. 1980)، در صورتی که غلظت P.L.I به عدد یک نزدیک باشد نشان‌دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه و P.L.I بالاتر از یک آلودگی خاک را نشان می‌دهد (Mapanda et al. 2007). نتایج در جدول (۴) نشان داده شده است. بر این اساس و طبق نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص بار آلودگی رابطه (۳)، خاک محدوده مورد بررسی نسبت به عناصر کروم، مس، نیکل، سرب و روی دارای کیفیت نامناسب و آلودگی می‌باشد. غلظت سایر فلزات در خاک ایستگاه‌ها مقدار مناسبی را نشان می‌دهد.

جدول ۴- شاخص بار آلودگی خاک پالایشگاه (P.L.I)

PLI <sub>Zn</sub>	PLI <sub>V</sub>	PLI <sub>Sc</sub>	PLI <sub>Pb</sub>	PLI <sub>Ni</sub>	PLI <sub>Cu</sub>	PLI <sub>Cr</sub>	PLI <sub>Co</sub>	PLI <sub>Cd</sub>	PLI <sub>As</sub>
۱/۱۴	۰/۶۱	۰/۸	۱/۰۶	۱/۷۵	۱/۴	۲/۷۵	۰/۷۷	۰/۸۵	۰/۴

### ۳-۱-۴- ضریب غنی‌شدگی

بر اساس نظر Hernandez et al. (2003) عامل غنی‌شدگی بین ۰/۵ تا ۲ به عنوان زمین زاد و مقادیر بیش از ۲ به عنوان اثر انسان زاد تلقی می‌شوند. نتایج حاصل از محاسبه EF برای فلزات سنگین نمونه‌های خاک مورد بررسی که در جدول (۵) نمایش داده شده حاکی از آن است که مقدار متوسط EF برای عناصر آرسنیک، کبالت و وانادیوم کوچک‌تر از ۲ است. بنابراین و به‌طور کلی



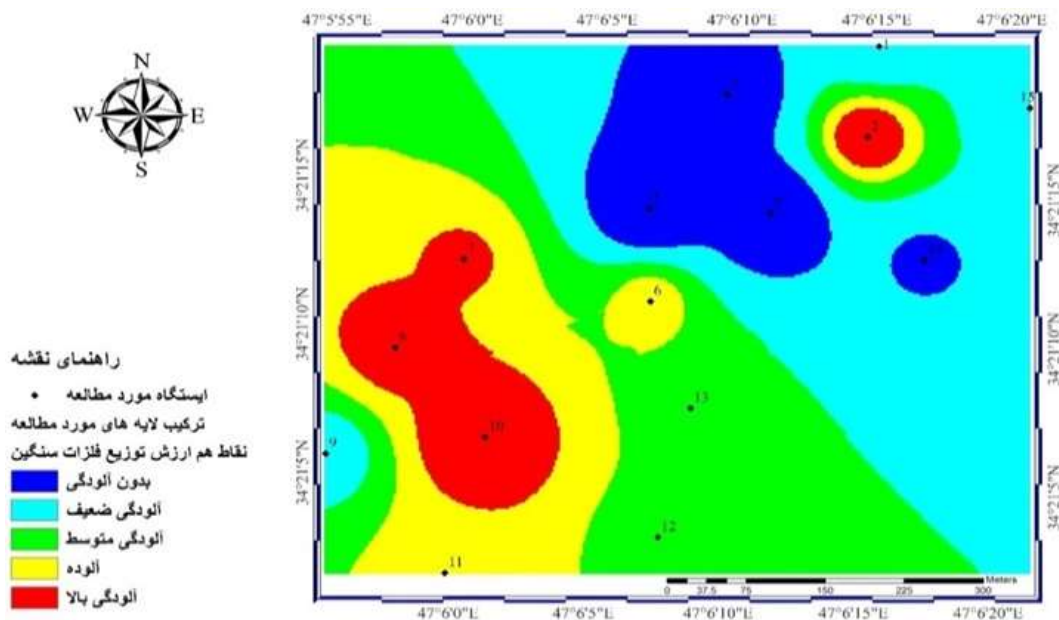
در محدوده مورد مطالعه غنی‌شدگی از این فلزات مشاهده نمی‌گردد. شاخص غنی‌شدگی محاسبه‌شده برای کادمیم (ایستگاه ۱۴)، کروم ایستگاه‌های (۶ تا ۱۵)، مس ایستگاه‌های (۲، ۱۱، ۱۳، ۱۴)، نیکل ایستگاه‌های (۷، ۹، ۱۲، ۱۳، ۱۴)، سرب ایستگاه‌های (۶ و ۱۳) و روی در ایستگاه‌های (۲، ۶، ۱۱، ۱۳) بین ۲ تا ۵ می‌باشد، که نشان‌دهنده غنی‌شدگی متوسط نمونه‌ها نسبت به این فلزات است و بر اساس نظر Hernandez et al. (2003) این غنی‌شدگی را می‌توان به‌عنوان آلودگی با منشأ انسان‌زاد در نظر گرفت.

جدول ۵- نتایج فاکتور غنی‌شدگی خاک پالایشگاه کرمانشاه

ایستگاه	EF <sub>As</sub>	EF <sub>Cd</sub>	EF <sub>Co</sub>	EF <sub>Cr</sub>	EF <sub>Cu</sub>	EF <sub>Ni</sub>	EF <sub>Pb</sub>	EF <sub>Sc</sub>	EF <sub>V</sub>	EF <sub>Zn</sub>
۱	۰/۵۳	۰/۶۹	۰/۹۳	۱/۹۸	۰/۷۱	۱/۵۳	۱/۲۹	۱	۰/۶۳	۰/۸۹
۲	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۸۹	۱/۷۱	۲/۹۳	۱/۲۴	۱/۷۷	۱	۰/۶۳	۲/۰۵
۳	۰/۵۳	۰/۷۱	۰/۹۵	۱/۳	۰/۷۱	۱/۵۲	۰/۶۹	۱	۰/۶۱	۰/۸
۴	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۸۱	۱/۲۱	۰/۴۹	۰/۸۵	۰/۵۷	۱	۰/۶۹	۰/۶۹
۵	۰/۵۴	۰/۸۱	۰/۹	۱/۴۷	۰/۷۶	۱/۳۶	۰/۸۵	۱	۰/۶۴	۰/۹۵
۶	۰/۵۴	۱/۱۳	۰/۸۹	۲/۳۲	۱/۷۸	۱/۶۶	۳/۱۶	۱	۰/۷۹	۲/۷
۷	۰/۴۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۳/۱۴	۱/۴۲	۲/۱۷	۰/۵۹	۱	۰/۷۶	۰/۸۷
۸	۰/۹۵	۱/۱۱	۰/۹۷	۲/۶	۱/۴۱	۱/۶۳	۰/۵	۱	۰/۷۹	۰/۸۵
۹	۰/۴۲	۱/۴۲	۱	۲/۲۹	۱/۷۹	۲/۰۴	۱/۶۹	۱	۰/۹۱	۱/۴۷
۱۰	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۵	۳/۱۹	۱/۱۳	۱/۶۵	۱/۰۵	۱	۰/۸۶	۰/۹۵
۱۱	۰/۷	۱/۳۹	۱/۱۱	۲/۷۸	۳/۳۵	۱/۹۵	۱/۸	۱	۱/۰۲	۲/۲۸
۱۲	۰/۸۸	۱/۴۵	۱/۲۳	۳/۸۲	۱/۹۳	۲/۴۴	۱/۰۱	۱	۱/۱۸	۱/۱۶
۱۳	۰/۹	۱/۴۸	۱/۱۴	۲/۵۶	۲/۰۷	۲/۲۴	۲/۱۴	۱	۱/۱۶	۲/۶۶
۱۴	۰/۶۵	۲/۴۸	۱/۲۳	۳/۰۱	۲/۴۴	۲/۱۹	۱/۹۵	۱	۱/۲	۱/۸
۱۵	۰/۶۲	۰/۹	۱/۰۵	۲/۲۳	۱/۸۲	۱/۹۳	۱/۷۴	۱	۱/۰۱	۱/۳

### ۳-۱-۵- پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین

توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه

نمودارهای هیستوگرام ترسیم شده حاکی از آنند که عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت، سرب، اسکاندیوم و وانادیوم در خاک سطحی ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای توزیع نرمال می‌باشند. تلفیق نتایج حاصل از لایه رستری به دست آمده برای هر عنصر و نقشه هم ارزش توزیع فلزات در محدوده مورد مطالعه به منظور پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین، بیانگر آن است که حداکثر آلودگی مربوط به ایستگاه‌های ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ (نزدیک به مخازن ذخیره نفت خام و فرآورده‌های آن) می‌باشد. همچنین در ایستگاه شماره ۲ که نزدیک به تأسیسات و واحدهای پالایش نفت خام است، حداکثر غلظت فلزات سنگین مشاهده می‌شود (شکل ۲).

### ۲-۳ آنالیزهای آماری

#### ۲-۳-۱- تعیین ضرایب هم‌بستگی بین عناصر

نتایج مربوط به ضریب هم‌بستگی فلزات سنگین خاک پالایشگاه کرمانشاه در جدول (۶) ارائه شده است. نتایج ضریب هم‌بستگی پیرسون نشان‌دهنده هم‌بستگی بالای کروم با کبالت  $r=0/683$ ،  $p>0/05$ ، نیکل با کروم  $r=0/653$ ،  $p>0/05$  و کبالت  $r=0/884$ ،  $p>0/01$  و وانادیوم با کبالت  $r=0/601$ ،  $p>0/05$ ، کروم  $r=0/843$ ،  $p>0/01$  و نیکل  $r=0/653$ ،  $p>0/05$  اسکاندیوم با کبالت  $r=0/880$ ،  $p>0/01$ ، روی با مس  $r=0/819$ ،  $p>0/01$  و سرب  $r=0/797$ ،  $p>0/01$  است که دلالت بر منشأ یکسان آن‌ها یا رفتار مشابه ژئوشیمیایی عناصر نسبت به هم دارد. As دارای هم‌بستگی پایین با همه عناصر می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت، غلظت فلزات وابسته به As نیست. با توجه به اینکه وانادیوم از شاخص‌های آلودگی نفتی است، لذا می‌توان پذیرفت که آلودگی بالای این عنصر همراه کروم حاصل از نفت خام می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه عنصر اسکاندیوم کمترین تأثیر را از عوامل انسان‌زاد در ایجاد آلودگی می‌برد، هم‌بستگی بالای آن با کبالت نشان‌دهنده آلودگی زمین زاد برای این دو عنصر است.

جدول ۶- ضریب هم‌بستگی پیرسون عناصر مورد مطالعه

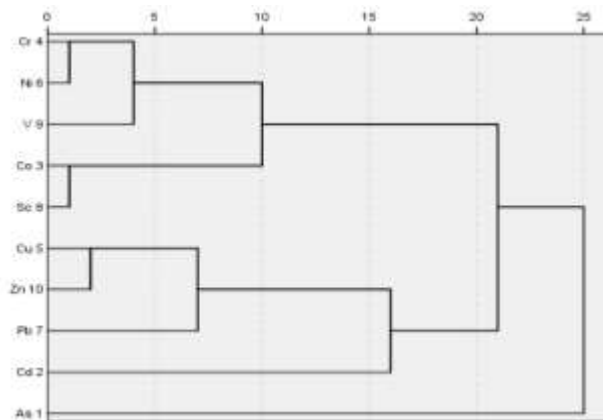
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	V	Zn
As	۱									
Cd	-۰/۱۲	۱								
Co	۰/۲	۰/۱۹	۱							
Cr	-۰/۳	۰/۴۹۷	*۰/۶۸۳	۱						
Cu	-۰/۱۶	۰/۴۹۸	۰/۲۷۸	۰/۲۶۷	۱					
Ni	-۰/۱	۰/۴۰۱	*۰/۶۵۳	**۰/۸۸۴	۰/۲۲۴	۱				
Pb	-۰/۶	۰/۱۱۱	-۰/۱۸۵	-۰/۵۱	۰/۴۹۵	-۰/۹۳	۱			
Sc	۰/۴	-۰/۷	**۰/۸۸۰	۰/۴۸۵	۰/۱۲۳	۰/۳۸۱	-۰/۴۹	۱		
V	-۰/۲۷	۰/۴۸۴	*۰/۶۰۱	**۰/۸۴۳	۰/۳	*۰/۶۵۳	-۰/۲۲	۰/۴۳۱	۱	
Zn	-۰/۲	۰/۳۰۵	۰/۴۷	۰/۲۸	**۰/۸۱۹	۰/۳	**۰/۷۹۷	۰/۴۸	۰/۱۳۷	۱

\*\* تطابق قابل توجه با سطح معنی‌داری ۰/۱

\* تطابق قابل توجه با سطح معنی‌داری ۰/۵

#### ۲-۳-۲- تحلیل خوشه‌ای

هدف اصلی در تجزیه و تحلیل نمودارهای خوشه‌ای، دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها، بر اساس تشابه هرچه بیشتر درون‌گروهی و اختلاف بیشتر بین گروهی است. آن‌گونه که در نمودار دندوگرام (شکل ۳) مشخص می‌باشد، عناصر مورد بررسی در هفت خوشه قرار می‌گیرند. خوشه اول As، خوشه دوم Cd، خوشه سوم Pb، خوشه چهارم عناصر Zn و Cu، خوشه پنجم Sc و Co، خوشه ششم V و خوشه هفتم شامل عناصر Ni و Cr می‌باشد. قرار گرفتن Ni و Cr در یک خوشه و ارتباط آن با خوشه وانادیوم که از شاخص‌های ترکیبات نفتی است نشان از هم منشأ بودن آن‌ها دارد (Megharaj et al. 2000). در حالی که ترکیب خوشه‌های سوم و چهارم به جنس خاک منطقه برمی‌گردد و نشان‌دهنده منشأ یکسان این عناصر است.



شکل ۳- نمودار خوشه‌ای عناصر مورد مطالعه

### ۳-۲-۳- تحلیل مؤلفه اصلی

نتایج حاصل از آنالیز فاکتوری ترکیب‌های شیمیایی مختلف نمونه‌های خاک محدوده مورد بررسی در جدول (۷) ارائه گردیده است. جدول (۷) نتایج آنالیزهای ۱۰ فاکتور را معرفی می‌کنند که ۳ فاکتور اول ۷۹٪ واریانس کل را شامل می‌شوند. فاکتور اول ۴۰/۱٪ واریانس کل را تشکیل می‌دهد که مؤثرترین عامل در غلظت عناصر در خاک است. این عامل دارای همبستگی مثبت بالایی با Sc، Co، Ni، Cr، و V می‌باشد که می‌تواند نشانگر هم منشأ بودن غلظت این فلزات با ترکیب نفت خام در خاک محدوده باشد (Moreno et al. 2009). عامل دوم ۲۴/۸٪ واریانس کل را تشکیل داده که دارای همبستگی بسیار بالایی با عناصر مس، روی و سرب می‌باشد و نشان‌دهنده هم منشأ بودن این فلزات است. عامل سوم ۱۳/۹٪ واریانس کل را شامل می‌شود که دارای همبستگی بالایی با آرسنیک و اسکاندیوم است. با توجه به اینکه اسکاندیوم کمترین تأثیر را در افزایش غلظت از عوامل بیرونی می‌پذیرد، لذا این غلظت را می‌توان به‌عنوان منشأ زمین زاد این فاکتور تلقی نمود.

جدول ۷- آنالیز ترکیبات و تحلیل فاکتوری عناصر محدوده مورد بررسی

Extraction Sums of Squared Loadings			مقادیر ویژه اولیه			مؤلفه
تجمعی %	% واریانس	کل	تجمعی %	% واریانس	کل	
۴۰/۱۰۷	۴۰/۱۰۷	۴/۰۱۱	۴۱/۱۰۷	۴۰/۱۰۷	۴/۰۱۱	۱
۶۴/۹۱۸	۲۴/۸۱۱	۲/۴۸۱	۶۴/۹۱۸	۲۴/۸۱۱	۲/۴۸۱	۲
۷۸/۸۵۹	۱۳/۹۴۱	۱/۳۹۴	۷۸/۸۵۹	۱۳/۹۴۱	۱/۳۹۴	۳
		۸۸/۲۵۵		۹/۳۹۷	۰/۹۴	۴
		۹۲/۹۱۱		۴/۶۶۴	۰/۴۶۶	۵
		۹۵/۹۲۷		۳/۰۰۷	۰/۳۰۱	۶
		۹۸/۶۲۷		۲/۷	۰/۲۷	۷
		۹۹/۳۸۵		۰/۷۵۹	۰/۷۶	۸
		۹۹/۸۲۱		۰/۴۳۶	۰/۴۴	۹
		۱۰۰		۰/۱۷۹	۰/۱۸	۱۰

### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی‌ها و تحلیل‌های آماری انجام‌شده بر روی خاک در پالایشگاه کرمانشاه حاکی از آن است که:

- ۱- با توجه به مقادیر زمین انباشت، در محدوده مورد مطالعه، عناصر نیکل و کروم دارای آلودگی می‌باشند. نتایج فاکتور غنی‌شدگی مبین غنی‌شدگی متوسط خاک منطقه نسبت به عناصر کروم و سرب است. فاکتور غنی‌شدگی بالای ۲ برای عناصر سرب و مس نشان‌دهنده دخالت عوامل انسان‌زاد در آلودگی محدوده نسبت به این دو فلز است.
- ۲- نتایج حاصل از بار آلودگی برای عناصر کروم، نیکل، روی، مس و سرب بیشتر از ۱ است که نشان‌دهنده آلودگی خاک نسبت به این عناصر می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از ضریب همبستگی پیرسون، مشخص شد که همبستگی بالایی بین عناصر وانادیوم، کبالت، کروم و نیکل وجود دارد که حاکی از منشأ یکسان آن‌ها است.
- ۳- با تهیه نقشه پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در خاک محدوده، مشخص گردید که غلظت بالای عناصر در برخی ایستگاه‌ها در ارتباط با تأسیسات فرآوری نفت خام و مخازن نگهداری آن است.
- ۴- نتایج حاصل از آنالیز هم‌بستگی خوشه‌ای، حاکی از تقسیم‌بندی عناصر به هفت خوشه بوده و عناصری که دارای ارتباط ساختاری بودند را در زیر خوشه‌های بعدی به هم مرتبط نمود. ترکیب خوشه‌های ۶ و ۷ باهم منشأ یکسانی را برای این عناصر نشان می‌دهد، با توجه به اینکه وانادیوم از ترکیبات نفتی مشتق می‌شود می‌توان منشأ آلودگی کروم و نیکل را با ترکیبات نفتی مرتبط دانست.
- ۵- نتایج حاصل از تحلیل عاملی سه فاکتور اصلی را معرفی نمودند. فاکتور اول با  $40/1\%$  واریانس کل مؤثرترین عامل در غلظت عناصر در خاک است؛ این عامل دارای همبستگی مثبت بالایی با  $Co, Cr, Ni, V$  و  $Sc$  می‌باشد که می‌تواند نشانگر هم منشأ بودن غلظت این فلزات با ترکیب نفت خام باشد.

## References

- Abraham G. M. S and Parker R. J. (2008). Assessment of Heavy Metal Enrichment Factors and the Degree of Contamination in Marine Sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *J. Environ. Monitor. Assess.*, 136(1), 227-238.
- Adesina G. and Adelasoye K. (2014). Effect of crude oil pollution on heavy metal contents, microbial population in soil, and maize and cowpea growth. *Agric. Sci. J.*, 5, 43-50.
- Alipour Z., Malekian M. and Solimani M. (2016). Contamination by petroleum hydrocarbons and heavy metals in soils of five oil refineries. *J. Water Soil Cons.*, 23(1), 273-284 [In Persian].
- Anyakora C., Ehianeta T. and Umukoro O. (2013). Heavy metal levels in soil samples from highly industrialized of Lagos environment. *Environ. Sci. Technol. J.*, 7, 917-924.
- Binggan W. and Linsheng Y. (2010). A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem. J.*, 94(2), 99-107.
- Facchinelli A., Sacchi E. and Mallen L. (2001). Multivariate statistical and gis-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environ. Pollut.*, 114 (3):313-324.
- Giteypour S., Bidehendi G. H. and Gorje M. A. (2004). Soil contamination in southern part of Tehran refineries by leaking petroleum. *J. Ecol.*, 34(34), 39- 45 [In Persian].
- Hakanson L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.*, 14(8), 975-1001.
- Hernandez L., Probst A., Probst J. L. (2003). Heavy metal distribution in some French forest soil, evidence for atmospheric contamination. *Sci. Total Environ.*, 312, 195-219.

- Kabata-Pendias A. (2001). Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, Fla., London, CRC Press. p 413.
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A. B. (2007). Trace Elements from Soil to Human. Springer-Verlag Berlin Heidelberg Pub., p550. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1
- Karimi Bavandpour A. R. and Sahandi M. R. (1999). Geological map of Kermanshah. Scale 1:100000. Geological Survey of Iran.
- Khan A. G. (2005). Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *J. Trace Elem. Med. Bio.*, 18, 355-364.
- Lasat M. M. (2002). Phytoextraction of toxic metals – A review of biological mechanisms. *J. Environ. Qual.*, 31, 109–120.
- Mapanda F., Mangwayana E. N., Nyamangara J. and Giller K. E. (2007). Uptake of heavy metals by vegetables irrigated using wastewater and the subsequent risks in Harare, Zimbabwe. *Phy. Chem. Earth*, 32, 1399–1405.
- Megharaj M., Singleton I., McClure N., and Naidul R. (2000). Influence of petroleum hydrocarbon contamination on microalgae and microbial activities in a long-term contaminated oil. *Environ. Contamin. Toxicol. J.*, 38, 439-445.
- Mohammad A. H., Bhuiyana Lutfar Parvezb M. A. Islamc Samuel B., Dampare and Shigeyuki S. (2010). Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *J. Hazard. Mater.*, 173(1-3), 384–392.
- Moreno J., Bastida F., Ros M., Hernandez, T. and Garcia C. (2009). Soil organic carbon buffers heavy metal contamination on semiarid soils: Effects of different metal threshold levels on soil microbial activity *European. Soil Biol. J.*, 45(3), 220-228.
- Muller G. (1969). Index of Geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*. 2(3): 108–118.
- Shajan K. P. (2001). Geochemistry of Bottom sediments from a River- Estuary- Shelf Mixing Zone on the tropical Southwest Coast of India. *Bull. Geo. Sur. Japan*, 51(8), 371-382.
- Tomlinson D. L, Wilson J. G., Harris C. R. and Jeffrey D. W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. 33(1), 566–575.
- Vafabakhsh K. and Kharghani K. (2000). Effects of treated Municipal wastewater on quality and yield of cucumber and carrot. Agricultural resource recycling Symp, Isfahan, Khorasgan Azad University. Agricultural College., Iran [In Persian].
- Webster R. and Burges T. M. (2002). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties III-changing drift and universal kriging. *J. Soil Sci.*, 31, 505-524.

## Study of Soil Pollution with Heavy Metals from Leakage of Petroleum Hydrocarbons at Kermanshah Refinery

Ramin Sarikhani<sup>1\*</sup>, Artimes Ghassemi Dehnavi<sup>1</sup>, Ali Moradpour<sup>2</sup> and Moslem Amiri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assist. Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, Lorestan, Iran

<sup>2</sup>PhD Scholar, Soil Conservation and Watershed Management Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

<sup>3</sup> M.Sc., Department of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, Lorestan, Iran

\*Corresponding author: [sarikhani.r@gmail.com](mailto:sarikhani.r@gmail.com)

Received: November 9, 2016

Accepted: February 8, 2017

### Abstract

In recent decades, soil pollution with petroleum hydrocarbons in oil-rich countries (such as Iran) has been one of the most challenging issues. In these countries with petroleum industries, mines of oil exploration, refineries, etc., leakage from tanks or pipelines of oil transmission due to corrosion and damage bring about oil pollution for the soil. This study aimed at evaluating and measuring the amount of heavy metals in the soil of Kermanshah Refinery and statistical analysis in order to locate high-risk areas in terms of pollution caused by oil leaks, extraction, refining, and transportation. Therefore; 15 samples of surrounded soil of Kermanshah Refinery were analyzed to determine soil pollution with petroleum compounds. According to results of ICP-MS analysis of soil samples, the process of heavy metal changes in the soil of Kermanshah Refinery was Cr>Zn>Ni>V>Cu>Pb>Co>Sc>As>Cd. Geo accumulation index indicated that the intensity of the refinery soil is classified in the range of no pollution to average with reference to chromium and nickel. Besides, the finding from enrichment factor indicated the average enrichment of the region soil by chromium and lead. Moreover, it confirmed that enrichment in lead and copper has anthropogenic origin. Pollution load index of chromium, nickel, zinc, copper, and lead showed soil pollution to these metals. Zoning map of heavy metal density in the region soil demonstrates that high density of the elements in some stations is related to the petroleum leakage from installations and storage tank.

**Keywords:** Soil pollution; Kermanshah Refinery; Heavy Metal; Zonation Map.