

ارزیابی آلودگی و توزیع فلزات سنگین با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و تحلیل‌های آماری در خاک‌های محدوده پالایشگاه کرمانشاه

مسلم امیری؛ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان
رامین ساریخانی*؛ استادیار، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان
آرتیمس قاسمی دهنوی؛ استادیار، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان
علی مرادپور؛ دانشجوی دکتری پتروژئوژی، بخش حفاظت خاک و آب‌خیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه،
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۰۵

چکیده

امروزه، اهمیت مطالعه رسوبات کواترنری و خاک‌های تشکیل یافته بر روی آن به حدی است که بخش وسیعی از مطالعات را در نقاط مختلف جهان به خود اختصاص داده است. در کشورهای نفت خیزی نظیر ایران، آلودگی ناشی از نشت آلاینده‌های نفتی از مخازن نگهداری و خطوط انتقال، خاک مناطق اکتشافی و پالایشگاه‌ها را با تهدیدی جدی مواجه کرده است. در این مطالعه، خاک محدوده پالایشگاه کرمانشاه به منظور برآورد غلظت فلزات سنگین و تعیین منشأ آلودگی بررسی شد. نتایج حاصل از آنالیز ICP-MS و شاخص زمین‌انباشت عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت، کروم، نیکل، روی، سرب، مس، اسکاندیم و وانادیم حاکی از آن است که شدت آلودگی خاک پالایشگاه نسبت به فلزات کروم و نیکل در رده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط دسته‌بندی می‌شود. شاخص غنی‌شدگی فلزات کادمیم، مس، سرب، روی و کروم متوسط است. شاخص بار آلودگی فلزات کروم، مس، نیکل، روی و سرب دال بر کیفیت نامناسب خاک است. قابل توجه‌ترین میزان آلودگی مربوط به مقدار کروم است. بر اساس ضریب پیرسون، همبستگی بالایی بین برخی عناصر حاکی از منشأ یکسان آن یا رفتار مشابه ژئوشیمیایی عناصر نسبت به هم است.

کلیدواژه‌ها: آلودگی، پالایشگاه کرمانشاه، خاک، فلزات سنگین.

مقدمه

با اینکه دوران کواترنری سن اندکی نسبت به دوره‌ها و دوران‌های پیش از خود دارد، در تمام زمینه‌های زندگی انسان نقش کلیدی ایفا می‌کند. امروزه، در کشورهای در حال توسعه همچون ایران، انواع پروژه‌های مهندسی، کشاورزی و منابع طبیعی در حال اجراست و نقطه مشترک همه این طرح‌ها و پروژه‌ها بستر کواترنری آن‌هاست. بر همین اساس، خاک و رسوبات کواترنری بخش عمده عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی را به خود اختصاص داده است، به گونه‌ای که چگونگی بهره‌برداری بهینه از این خاک‌ها در جهان و ایران امری بسیار ضروری است و جلوگیری و رفع آلودگی‌های آن اهمیت بسیاری دارد (خان، ۲۰۰۵).

در این میان، آلودگی به فلزات سنگین نه تنها به طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد غذایی در خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه به دلیل ورود به زنجیره غذایی و

نیز امنیت محیط‌زیستی از طریق نفوذ در آب‌های زیرزمینی خطری جدی برای سلامتی انسان محسوب می‌شود (فکچینلی و همکاران، ۲۰۰۱). چالش اصلی در خصوص آلودگی خاک ناشی از فلزات سنگین به سبب آن است که این آلاینده‌های غیرآلی برخلاف آلاینده‌های آلی تجزیه‌پذیر نیست (لاسات، ۲۰۰۲). لذا، این واقعیت فلزات سنگین را به یکی از خطرناک‌ترین گروه آلاینده‌های محیط‌زیستی بدل ساخته است (کاباتا-پندیاس، ۲۰۰۱).

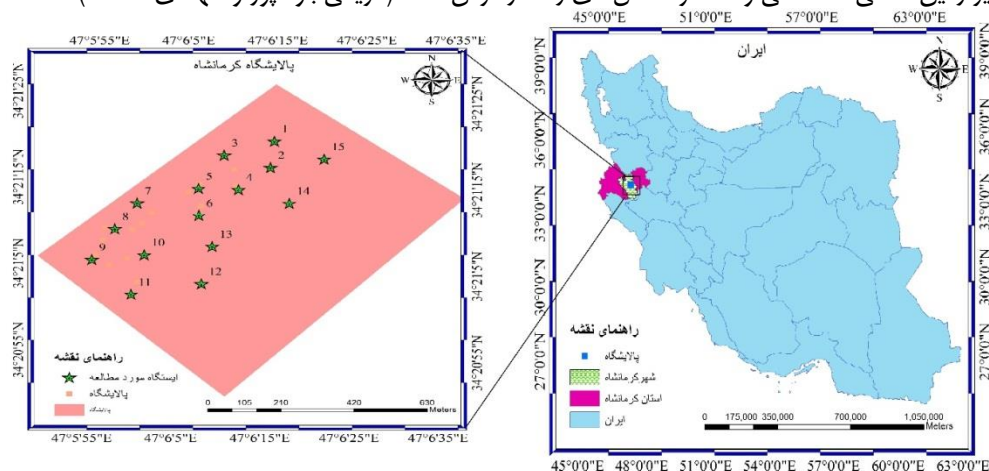
ایران یکی از کشورهای نفت‌خیز جهان است که هر سال مقدار زیادی نفت از نقاط جنوبی آن استخراج و در مناطق دیگر پالایش می‌شود. رهاشدن نفت در خاک هنگام استخراج، حمل و پالایش سبب آلودگی خاک و در نتیجه محیط‌زیست می‌شود (آدسینا و آدلاسی، ۲۰۱۴). گروهی از منابع آلاینده خاک مربوط به اکتشافات نفت، تولید، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل، توزیع و دفن نهایی زایدات این ترکیبات است. عناصر فلزی مانند وانادیم، نیکل و اورانیم (مرتبط با مواد مادری) در ترکیب نفت خام و در خاکستر نفت خام نیز عناصر $Al, Ti, Ca, Mg, Mo, Ba, Sr, Mn, Pb, Si$ ، Cu و Cr, Fe یافت می‌شود (آنیاکورا و همکاران، ۲۰۱۳).

افزایش آلودگی فلزات سنگین در خاک سبب انجام بررسی‌های فراوانی در این زمینه شده است. برای مثال، گیتی‌پور و همکاران (۱۳۸۳) با آزمایش‌های مختلف صحرایی و آزمایشگاهی، میزان آلودگی خاک‌های اطراف پالایشگاه‌ها را بررسی کردند. مقایسه مقادیر موجود آلودگی در نمونه‌های خاک با مقادیر مجاز آلودگی حاکی از آن است که خاک جنوب پالایشگاه تهران (منطقه عظیم‌آباد) در برخی قسمت‌ها آلوده به ترکیبات نفتی است.

استفاده از شاخص‌ها و ویژگی‌های آماری داده‌ها شامل میانگین، انحراف معیار، به‌خصوص انحراف از حالت نرمال، اولین قدم برای شناسایی طبیعت داده‌هاست (مومنی، ۲۰۰۹). مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی محیط‌زیستی وضعیت موجود در منطقه است (شاجان، ۲۰۰۱). هدف از انجام تحقیق پیش رو بررسی توزیع عناصر سنگین در خاک محدوده پالایشگاه کرمانشاه و ارزیابی آلودگی محیط‌زیستی با استفاده از شاخص‌های آلودگی و تحلیل‌های آماری است.

مواد و روش‌ها

استان کرمانشاه در منتهی‌الیه غربی کشور در سه جهت جغرافیایی دارای مرز داخلی با استان‌های لرستان، کردستان، ایلام و 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 $45^{\circ} 20'$ تا $48^{\circ} 01'$ طول شرقی است (شکل ۱). به‌لحاظ زمین‌شناسی، سازندها و واحدهای زمین‌شناسی موجود در ورقه کرمانشاه عمدتاً متعلق به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک است، اما شهر کرمانشاه مشخصاً روی رسوبات کواترنری قرار گرفته و از نظر فیزیوگرافی بخشی از دشت آبرفتی است. از لحاظ ساختاری، سه منطقه زاگرس مرتفع، زاگرس ساده‌چین‌خورده و زون سهندج-سیرجان مناطق مهم زمین‌شناسی استان کرمانشاه را تشکیل می‌دهد. مورفولوژی منطقه عمدتاً تحت تأثیر زمین‌شناسی ساختمانی و عملکرد گسل‌های رانده زاگرس است (کریمی باوندپور و سهندی، ۱۳۷۷).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

از آنجا که به لحاظ موقعیت زمین‌شناسی، پالایشگاه کرمانشاه روی تراس‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌های کوهپایه‌ای عهد حاضر کم‌ارتفاع و خاک‌های اینسپتی سل (یا خاک‌های در شرف تشکیل، خاک‌هایی که در نواحی مرطوب تشکیل می‌شود) و ورتی سول (یا خاک‌های زیرورو شده، خاک‌هایی که قسمت عمده آن‌ها را ذرات رسی تشکیل می‌دهد) احداث شده است، پانزده نمونه خاک از محوطه پالایشگاه کرمانشاه از عمق ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متری جمع‌آوری شده است. به منظور آنالیز و تعیین غلظت عناصر سنگین در نمونه‌ها از روش ICP-MS و دستگاه Agilent series 4500 ساخت کشور آمریکا استفاده شده است. نمونه‌ها، نخست با استفاده از سنگ‌شکن فکی تا ابعاد کمتر از ۴ میلی‌متر خرد شد. سپس، در آسیاب دیسکی تا سایز ۷۵ میکرون (۲۰۰ مش) پودر گردید. برای توزین نمونه‌ها از لوله‌های تفلونی در روش دایجست ۴ اسید استفاده شده است. پس از توزین، نمونه‌ها در لوله‌های تفلونی هیدروکلریدریک، پرکلریدریک، نیتریک و کلریدریک اسید هر کدام به میزان مشخص، به نمونه‌ها اضافه شد و تمامی نمونه‌ها در محفظه Hot Box قرارگرفت. پس از عملیات دایجست کامل، نمونه‌ها در دمای محیط خنک شد و با آب مقطر به حجم رسید. در نهایت، به کمک دستگاه ICP-MS آنالیز شد.

یافته‌ها

ارزیابی آلودگی

الف) شاخص زمین‌انباشت

با توجه به تغییرات غلظت عناصر در خاک منطقه، همچنین ترکیبات موجود در نفت خام، فلزات Cu، Cr، Co، Cd، As، Zn، V، Sc، Pb، Ni، برای ارزیابی انتخاب شد. در جدول ۱، نتایج حاصل از آنالیز ICP-MS پانزده نمونه خاک برداشت‌شده از محدوده پالایشگاه کرمانشاه ارائه شده است، شامل آرسنیک (As)، کادمیم (Cd)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، نیکل (Ni)، روی (Zn)، سرب (Pb)، مس (Cu)، اسکاندیم (Sc) و وانادیم (V).

با مقایسه غلظت‌های به دست آمده از عناصر (جدول ۲) می‌توان مشاهده کرد که روند تغییرات فلزات سنگین در خاک پالایشگاه کرمانشاه به صورت زیر است.

Cr>Zn>Ni>V>Cu>Pb>Co>Sc>As>Cd

چنانچه مشاهده می‌شود، کروم بالاترین و کادمیم پایین‌ترین غلظت را در نمونه‌های خاک مورد آنالیز داراست.

جدول ۱. نتایج آنالیز ICP-MS نمونه‌های خاک پالایشگاه کرمانشاه (بر حسب 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

جدول ۲. مقایسه استاندارد غلظت فلزات در خاک (کابا تا-پندیاس و ماخرجی، ۲۰۰۷) با خاک‌های محدوده مورد بررسی (برحسب ppm)

Zn	V	Sc	Pb	Ni	Cu	Cr	Co	Cd	As	
۹۵	۱۳۰	۱۳	۲۰	۶۸	۴۵	۹۰	۱۹	۰/۳	۱۳	شیل جهانی
۶۲	۶۰	۹/۵	۲۵	۱۸	۱۴	۴۲	۶/۹	۱/۱	۴/۷	خاک غیرآلوده
۱۱۱	۹۵/۶	۱۱/۵۱	۲۳/۲۶	۱۰۲/۴	۶۲/۸	۱۸۶/۶	۱۶/۳۸	۰/۲۸	۷/۱۳	خاک محدوده

برای تعیین و تفسیر میزان آلودگی نمونه‌های خاک مورد مطالعه، با توجه به غلظت عناصر، از فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت و شاخص بار آلودگی استفاده شده است. شاخص زمین‌انباشت از فاکتورهای ژئوشیمیایی مهم در توصیف غلظت فلزات در هر منطقه به‌شمار می‌آید (مولر، ۱۹۶۹) و آن را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$Igeo = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 B_n} \right)$$

در رابطه فوق 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. بر اساس تقسیم‌بندی مولر (۱۹۶۹)، شاخص زمین‌انباشت به هفت رده تقسیم می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳. شاخص زمین‌انباشت (Igeo) بر اساس مولر (۱۹۶۹)

گروه	محدوده	شدت آلودگی
۰	$Igeo > 0$	بدون آلودگی
۱	$0 < Igeo < 1$	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
۲	$1 < Igeo < 2$	آلودگی متوسط
۳	$2 < Igeo < 3$	آلودگی متوسط تا شدید
۴	$3 < Igeo < 4$	آلودگی شدید
۵	$4 < Igeo < 5$	آلودگی شدید تا بی‌نهایت
۶	$Igeo > 5$	آلودگی بی‌نهایت

نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های خاک برداشت‌شده از ایستگاه‌های نمونه‌برداری محدوده مورد بررسی در پالایشگاه کرمانشاه در جدول ۴ ارائه شده است. این نتایج حاکی از آن است که میزان کروم در خاک ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد (میزان Igeo بین ۰/۱۱ تا ۰/۸۲). در ایستگاه‌های ۷، ۸ و ۱۰ میزان آلودگی کروم در خاک در حد متوسط است (میزان Igeo بین ۱/۰۶ تا ۱/۳۳). ایستگاه‌های ۳، ۴ و ۵ در محدوده بدون آلودگی دسته‌بندی می‌شود (میزان Igeo بین ۰/۳ تا ۰/۳۱). مس در ایستگاه ۲ دارای آلودگی متوسط (میزان Igeo برابر ۱/۱۴)، در ایستگاه‌های ۶، ۸ و ۱۱ در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط (میزان Igeo بین ۰/۰۷ تا ۰/۶۹) و در سایر ایستگاه‌ها بدون آلودگی است (میزان Igeo بین ۰/۵۵ تا ۰/۰۵). عنصر نیکل در ایستگاه‌های ۷، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۳ در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط (میزان Igeo بین ۰/۰۱ تا ۰/۵۶) و سایر نقاط بدون آلودگی را نشان می‌دهد (میزان Igeo بین ۰/۷۴ تا ۰/۰۳). عنصر سرب در همه ایستگاه‌ها به جز ۲ و ۶ که در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد (میزان Igeo بین ۰/۴۲ تا ۰/۰۹) در سایر نقاط خاک بدون آلودگی را نشان می‌دهد (میزان Igeo بین ۰/۳۲ تا ۰/۰۵). عنصر روی در ایستگاه‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۱۱ محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط (میزان Igeo بین ۰/۱۴ تا ۰/۶۳) و در سایر نقاط مورد مطالعه شاخص زمین‌انباشت محدوده بدون آلودگی را نشان می‌دهد. نتایج شاخص زمین‌انباشت بر اساس مقدار میانگین در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که بر پایه شیل، میانگین عناصر کروم و نیکل در رده ۱ قرار می‌گیرد و شدت آلودگی آن‌ها بدون آلودگی تا آلودگی متوسط دسته‌بندی می‌شود.

سایر عناصر مورد مطالعه در محدوده بدون آلودگی قرار دارد. در جدول ۵ متوسط میزان شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های برداشت‌شده از ایستگاه‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج محاسبه شاخص زمین‌انباشت (Igeo) 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	-۰/۱	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	-۱/۲۸	-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	-۰/۱	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

جدول ۵. میانگین شاخص زمین‌انباشت (Igeo) در نمونه‌های خاک پالایشگاه کرمانشاه

As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	V	Zn
-۱/۴۵	-۰/۶	-۰/۷	۰/۴	-۰/۱	۰/۰۵	-۰/۳	-۰/۷	-۱/۳	-۰/۳

ب) شاخص ضریب آلودگی

از آنجا که به‌منظور بیان وضعیت آلودگی محیط نسبت به عنصری خاص، می‌توان از ضریب آلودگی استفاده کرد (ابراهیم و پارکر، ۲۰۰۸)، در نمونه‌های مورد بررسی، محاسبه ضریب آلودگی از روش هاکنسون (۱۹۸۰) و بر پایه رابطه زیر است.

$$Cf = (CO/Cn)$$

در رابطه فوق، C_f ضریب آلودگی، C_0 غلظت فلز در نمونه مورد بررسی و C_n غلظت فلز در شیل میانگین به عنوان مرجع است. بر اساس تقسیم‌بندی هاکنسون (۱۹۸۰) ضریب آلودگی به چهار رده تقسیم می‌شود (جدول ۶). نتایج ضریب آلودگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شیل میانگین در جدول ۷ ارائه شده است. طبق نتایج به‌دست آمده در این جدول ارسنیک در همه نقاط نمونه‌برداری آلودگی پایین را نشان می‌دهد (میزان C_f بین ۰/۴۸ تا ۰/۶۷). کادمیم در ایستگاه‌های ۱، ۳، ۴، ۵ و ۱۵ در محدوده بدون آلودگی (میزان C_f بین ۰/۶۷ تا ۱) و در سایر نقاط آلودگی متوسط را نشان می‌دهد (میزان C_f بین ۱ تا ۱/۳۳).

کیالت در ایستگاه‌های ۲، ۷، ۸ و ۱۰ آلودگی متوسط (میزان C_f بین ۱/۰۱ تا ۱/۱۶) و در سایر نقاط آلودگی پایین را نشان می‌دهد. کروم در خاک ایستگاه‌های ۷، ۸ و ۱۰ دارای آلودگی قابل توجه (میزان C_f بین ۳/۱۲ تا ۳/۷۸) و در سایر ایستگاه‌ها دارای آلودگی متوسط بوده است. مس در ایستگاه ۲ دارای آلودگی قابل توجه (میزان C_f برابر ۳/۱۳)، در ایستگاه‌های ۶ تا ۱۵ دارای آلودگی متوسط (میزان C_f بین ۱/۲۷ تا ۱/۶۹) و در ایستگاه‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ دارای آلودگی پایین بوده است (میزان C_f بین ۰/۵۱ تا ۰/۶۹).

جدول ۶. رده‌بندی مقادیر ضریب آلودگی هاکنسون (۱۹۸۰)

رده	محدوده آلودگی	ضریب آلودگی (C_f)
۱	$1 > C_f$	آلودگی پایین
۲	$1 < C_f < 3$	آلودگی متوسط
۳	$3 < C_f < 6$	آلودگی قابل توجه
۴	$6 < C_f$	آلودگی بسیار بالا

جدول ۷. نتایج ضریب آلودگی (Cf) 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	۲/۳۱	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

نیکل به جز در ایستگاه ۴ که دارای آلودگی پایین است (میزان Cf برابر ۰/۹)، در سایر نقاط آلودگی متوسطی نشان می‌دهد (میزان Cf بین ۱/۱۲ تا ۲/۲۱). سرب در ایستگاه‌های ۳، ۴، ۵، ۷، ۸ و ۱۲ آلودگی پایین (میزان Cf بین ۰/۶ تا ۰/۷) و در سایر نقاط مورد مطالعه آلودگی متوسط را در خاک محدوده به نمایش می‌گذارد. اسکاندیم در ایستگاه‌های ۲، ۴، ۷، ۸ و ۱۰ آلودگی متوسط (میزان Cf بین ۱/۰۲ تا ۱/۲) و در سایر نقاط در محدوده بدون آلودگی قرار می‌گیرد. وانادیم به جز در ایستگاه ۱۰ که آلودگی متوسط (میزان Cf برابر ۱/۰۲) دارد، در سایر نقاط آلودگی پایینی نشان می‌دهد. روی در ایستگاه‌های ۲، ۶، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۳ آلودگی متوسط (میزان Cf بین ۱/۰۲ تا ۳/۳۲) و در سایر ایستگاه‌ها آلودگی پایینی از این فلز نشان می‌دهد. بر اساس محاسبات انجام شده برای میانگین غلظت فلزات در خاک پالایشگاه طبق استاندارد شیل جهانی فلزات آرسنیک، کادمیم، کبالت، اسکاندیم و وانادیم در محدوده آلودگی پایین و سایر عناصر در محدوده آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده طبق استاندارد شیل جهانی برای میانگین فلزات، در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸. میانگین نتایج ضریب آلودگی (Cf) عناصر بالقوه سمناک در نمونه‌های خاک پالایشگاه کرمانشاه

As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	V	Zn
۰/۵	۰/۹۳	۰/۸۶	۲/۰۶	۱/۳۹	۱/۵	۱/۱۶	۰/۸۸	۰/۷۳	۱/۱۶

ج) شاخص بار آلودگی

شاخص بار آلودگی از دیگر پارامترهای مهم در 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. شاخص بار آلودگی برای مجموعه‌ای از فلزات آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت تمامی فلزات مورد نظر محاسبه می‌شود. با توجه به مقادیر استاندارد جدول ۹ که تامپلسون و همکاران (۱۹۸۰) ارائه کرده‌اند، در صورتی که غلظت P.L.I به عدد ۱ نزدیک باشد، نشان دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه است، در حالی که P.L.I بالاتر از ۱ آلودگی خاک را نشان می‌دهد (ماپاندا و همکاران، ۲۰۰۷). آلودگی کلی فلزی با استفاده از این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید (محمد و همکاران، ۲۰۱۰).

$$P.L.I = \frac{(CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n}}$$

جدول ۹. استاندارد بار آلودگی خاک (تامپلسون و همکاران، ۱۹۸۰)

محدوده	۱>PLI	۱=PLI	۱<PLI
کیفیت خاک	مناسب	آلودگی نزدیک به زمینه	نامناسب

نتایج محاسبه شاخص بار آلودگی خاک محدوده مورد بررسی در جدول ۱۰ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از محاسبه این پارامتر، خاک محدوده مورد بررسی نسبت به عناصر کروم، مس، نیکل، سرب و روی (P.L.I) بین ۱/۲۴ تا ۲/۷۵ دارای کیفیت نامناسب و آلودگی است. غلظت سایر فلزات در خاک منطقه مقدار مناسب را تعیین می‌کند.

جدول ۱۰. شاخص بار آلودگی (P.L.I) خاک پالایشگاه

PLI _{Zn}	PLI _V	PLI _{Sc}	PLI _{Pb}	PLI _{Ni}	PLI _{Cu}	PLI _{Cr}	PLI _{Co}	PLI _{Cd}	PLI _{As}
۱/۱۴	۰/۶۱	۰/۸	۱/۰۶	۱/۷۵	۱/۴	۲/۷۵	۰/۷۷	۰/۸۵	۰/۴

د) ضریب غنی‌شدگی

یکی از روش‌های رایج در ارزیابی آثار انسان‌زاد روی خاک، محاسبه ضریب غنی‌شدگی بهنجار شده (EF) در غلظت‌های بالاتر از حد زمینه فلزات است. در راستای محاسبه EF باید مقدار فلز اندازه‌گیری شده را با توجه به فلز مرجع نمونه مانند آهن، اسکاندیم، تیتان، منگنز یا آلومینیم بهنجار کرد (بینگان و لینشنگ، ۲۰۱۰). در این مطالعه، برای ارزیابی اثر انسان‌زاد فلزات سنگین در خاک، از عنصر اسکاندیم به دلیل غیرمتحرک بودن و نیز داشتن کمترین تغییرات در نمونه‌ها به عنوان عنصر بهنجارکننده و مرجع، همچنین میانگین غلظت بر اساس شیل جهانی به عنوان محیط مرجع در محاسبات ضرایب آلودگی استفاده شده است. برای محاسبه ضریب غنی‌شدگی عناصر خاک از رابطه زیر استفاده شده است (محمد و همکاران، ۲۰۱۰).

$$EF = \frac{Cn(\text{sample})/Cref(\text{sample})}{Bn(\text{background})/Bref(\text{background})}$$

در این رابطه Cn (sample) غلظت عنصر در نمونه خاک مورد مطالعه و Cref (sample) غلظت عنصر مرجع در نمونه خاک است. Bn (background) و Bref (background) نیز به ترتیب غلظت فلز در نمونه مرجع و غلظت عنصر مرجع را نشان می‌دهد.

بر اساس نظر هرناندز و همکاران (۲۰۰۳) مقدار عامل غنی‌شدگی بین ۰/۵ تا ۲ زمین‌زاد و مقادیر بیش از ۲ اثر انسان‌زاد تلقی می‌شود. بر اساس فاکتور غنی‌شدگی سوترلند (۲۰۰۰)، پنج سطح آلودگی قابل تمایز است (جدول ۱۱). نتایج حاصل از محاسبه EF برای فلزات سنگین نمونه‌های خاک مورد بررسی در جدول ۱۲ نمایش داده شده است. مقدار متوسط EF برای عناصر آرسنیک، کبالت و وانادیم در محدوده مورد مطالعه کوچک‌تر از ۲ است. بنابراین، منطقه به طور کلی غنی‌شدگی برای فلزات بالا را نشان نمی‌دهد. شاخص غنی‌شدگی محاسبه شده برای کادمیم (ایستگاه ۱۴)، کروم (ایستگاه‌های ۶ تا ۱۵)، مس (ایستگاه‌های ۱۳، ۱۴، ۱۱، ۲)، نیکل (ایستگاه‌های ۱۴، ۱۳، ۱۲، ۹، ۷)، سرب (ایستگاه‌های ۶ و ۱۳) و روی (ایستگاه‌های ۱۳، ۱۱، ۱۳، ۲۶) بین ۲ تا ۵ و نشان‌دهنده غنی‌شدگی متوسط این نمونه‌ها نسبت به این فلزات است.

جدول ۱۱. رده‌بندی میزان غنی‌شدگی (EF) فلزات مورد مطالعه در خاک (سوترلند، ۲۰۰۰)

EF	سطح آلودگی
EF<۲	تهی تا کمی غنی شده
۲<EF<۵	غنی‌شدگی متوسط
۵<EF<۲۰	غنی‌شدگی قابل توجه
۲۰<EF<۴۰	غنی‌شدگی بسیار بالا
EF>۴۰	غنی‌شدگی بسیار بسیار بالا

جدول ۱۲. نتایج فاکتور غنی‌شدگی (EF) خاک پالایشگاه کرمانشاه

ایستگاه	EF _{As}	EF _{Cd}	EF _{Co}	EF _{Cr}	EF _{Cu}	EF _{Ni}	EF _{Pb}	EF _{Sc}	EF _V	EF _{Zn}
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

با توجه به اینکه شاخص غنی‌شدگی این نمونه‌ها بالاتر از ۲ است، بر اساس نظر هرناندز و همکاران (۲۰۰۳) مقادیر بالاتر از ۲ آلودگی با منشأ انسان‌زاد را نشان می‌دهد.

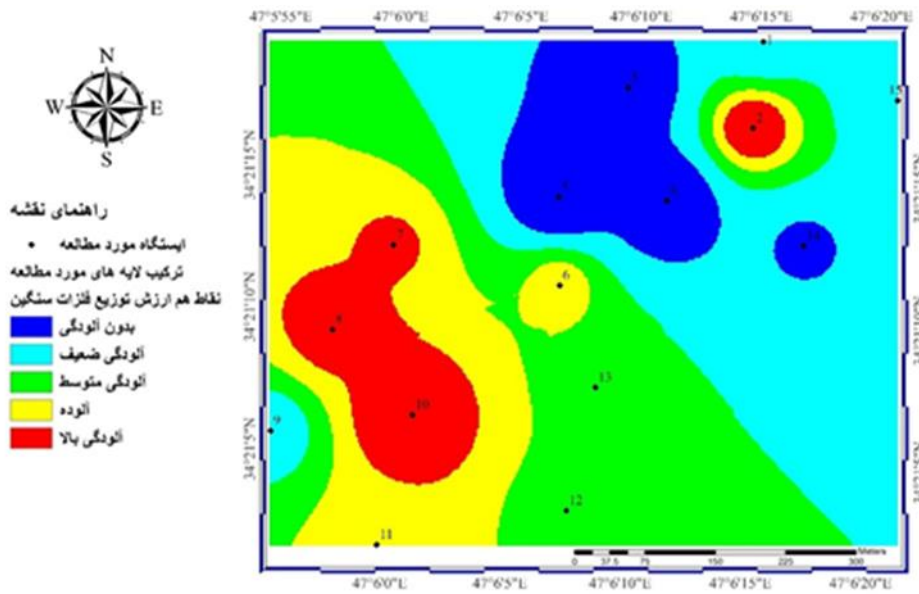
ه) پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین در خاک پالایشگاه

امروزه، فنون زمین‌آمار، GIS، کریجینگ لوگ نرمال و کریجینگ معمولی برای نقشه‌سازی As، Cu، Pb و Hg استفاده می‌شود، به‌گونه‌ای که در ترسیم نقشه‌های مشخص‌کننده مناطق آلوده به فلزات سنگین یا در معرض خطر آلودگی اطلاعات مهمی را در زمینه انتخاب و یافتن مناطق مناسب برای کاربری‌های استفاده از سرزمین یا پاکسازی خاک در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد.

روش‌های کریجینگ (معمولی، ساده و گسسته) در تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک پتانسیل بالایی دارد. همچنین، روش مناسبی برای درون‌یابی و تهیه نقشه‌های آلاینده‌ها پیشنهاد شده است (ویستر و بورگز، ۲۰۰۲). یکی از شروط لازم برای استفاده از کریجینگ خطی نرمال بودن توزیع داده‌هاست. تجاوز از حالت نرمال مانند چولگی و کشیدگی زیاد به ساختار واریوگرام و نتایج کریجینگ آسیب وارد می‌کند. لذا، در این راستا، نخست برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها به کمک نرم‌افزار Arc GIS داده‌ها آزمون شد.

بر اساس نمودارهای هیستوگرام ترسیم‌شده و مقایسه مقادیر میانه و میانگین، همچنین مقدار چولگی برای هر عنصر (نمودارها نمایش داده نشده است) عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت، سرب، اسکاندیم و وانادیم در خاک سطحی منطقه مورد مطالعه دارای توزیع نرمال بوده است، بنابراین برای این فلزات امکان استفاده از همه روش‌ها وجود دارد، اما از آنجا که عناصر کروم، نیکل، روی و مس در خاک محدوده مورد مطالعه فاقد توزیع نرمال بود، با تبدیل لگاریتمی نخست، نرمال شد و پس از آن روش کریجینگ به کار رفت.

در ادامه، به منظور پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین، نقشه هم‌ارزش توزیع فلزات در محدوده مورد مطالعه به روش درون‌یابی کریجینگ ترسیم شد. به منظور تعیین مقدار آلودگی این فلزات، لایه‌های رستری به‌دست آمده برای هر عنصر، در نرم‌افزار Arc GIS v10.2 با هم تلفیق شد و از تمامی نقشه‌های توزیع مکانی (برای هر عنصر به‌صورت مجزا) نقشه‌ای واحد به‌دست آمد (شکل ۲). نقشه به‌دست آمده حاکی از آن است که حداکثر آلودگی در ایستگاه‌های ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ و نزدیک به مخازن ذخیره نفت خام و فرآورده‌های آن است. همچنین، در ایستگاه ۲ که نزدیک به تأسیسات و واحدهای پالایش نفت خام است، حداکثر غلظت فلزات سنگین مشاهده می‌شود.



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

آنالیزهای آماری

پس از آنالیزهای شیمیایی، به منظور بررسی نحوه ارتباط عناصر با یکدیگر و نیز تعیین منشأ آن‌ها، نتایج حاصل تحت آنالیزهای آماری قرار گرفت. با نرم‌افزار SPSS 18 آنالیزهای آمار توصیفی، تعیین ضریب همبستگی پیرسون، آنالیز خوشه‌ای پیرسون و آنالیز مؤلفه‌های اصلی داده‌ها انجام شد.

الف) تعیین ضرایب همبستگی بین عناصر

نتایج مربوط به ضریب همبستگی فلزات سنگین خاک پالایشگاه کرمانشاه در جدول ۱۳ ارائه شده است. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان‌دهنده همبستگی بالای کروم با کبالت $P > 0.05$, $r = 0.683$ ، نیکل با کروم $P > 0.05$, $r = 0.653$ و کبالت با $P > 0.01$, $r = 0.884$ ، وانادیوم با کبالت $P > 0.05$, $r = 0.601$ ، کروم با $P > 0.01$, $r = 0.843$ و نیکل $P > 0.05$, $r = 0.653$ ، اسکاندیوم با کبالت $P > 0.01$, $r = 0.880$ ، روی با مس $P > 0.01$, $r = 0.819$ و سرب $P > 0.01$, $r = 0.797$ وجود دارد که حاکی از منشأ یکسان آن‌ها یا رفتار مشابه ژئوشیمیایی عناصر نسبت به هم است.

جدول ۱۳. 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

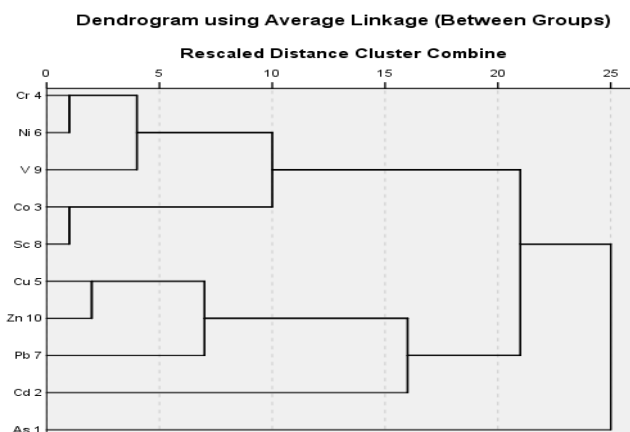
* تطابق قابل توجه با سطح معناداری ۰/۵

** تطابق قابل توجه با سطح معناداری ۰/۱

As دارای همبستگی پایین با همه عناصر است که می‌توان نتیجه گرفت غلظت فلزات وابسته به As نیست. با توجه به اینکه وانادیم از شاخص‌های آلودگی نفتی است، می‌توان نتیجه گرفت آلودگی بالای این عنصر همراه کروم از نفت خام به وجود آمده است. همچنین، با توجه به اینکه عنصر اسکاندیم کمترین تأثیر را از عوامل انسان‌زاد در ایجاد آلودگی می‌برد، همبستگی بالای آن با کبالت نشان‌دهنده آلودگی زمین‌زاد این دو عنصر است.

ب) تحلیل خوشه‌ای

هدف اصلی در تجزیه و تحلیل نمودارهای خوشه‌ای، دست‌یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها یا نمونه‌ها، براساس تشابه هر چه بیشتر درون‌گروهی و اختلاف بیشتر بین‌گروهی است. آن‌گونه که در نمودار دندوگرام، شکل ۳ مشخص است، عناصر مورد بررسی در هفت خوشه قرار می‌گیرد. خوشه اول As، خوشه دوم Cd، خوشه سوم Pb، خوشه چهارم Zn و Cu، خوشه پنجم Sc و Co، خوشه ششم V و خوشه هفتم Ni و Cr است. قرار گرفتن Cr و Ni در یک خوشه و ارتباط آن با خوشه وانادیم که از شاخصه‌های ترکیبات نفتی است نشان از هم‌منشأ بودن آن‌هاست. ترکیب خوشه‌های سوم و چهارم به جنس خاک منطقه برمی‌گردد و نشان‌دهنده منشأ یکسان این عناصر است.



شکل ۳. نمودار خوشه‌ای عناصر مورد مطالعه

ج) تحلیل مؤلفه اصلی

نتایج حاصل از آنالیز فاکتوری ترکیب‌های شیمیایی مختلف نمونه‌های خاک محدوده مورد بررسی در جدول ۱۴ ارائه شده است. بررسی این جدول اطلاعات خوبی در رابطه با تفسیر فاکتورها و عوامل کنترل‌کننده غلظت فلزات سنگین در خاک محدوده مورد بررسی را در اختیار ما قرار می‌دهد.

جدول ۱۴. آنالیز ترکیبات و تحلیل فاکتوری عناصر محدوده مورد بررسی

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

نتایج آنالیزها ده فاکتور را معرفی می‌کند که سه فاکتور اول ۷۹٪ واریانس کل را شامل می‌شود. 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 V، Ni، Cr، Co و Sc و نشانگر هم‌منشأ بودن غلظت این فلزات با ترکیب نفت خام در خاک محدوده است. عامل دوم که ۲۴/۸٪ واریانس کل را تشکیل می‌دهد، دارای همبستگی بسیار بالایی با عناصر مس، روی و سرب و نشان‌دهنده هم‌منشأ بودن غلظت این فلزات است.

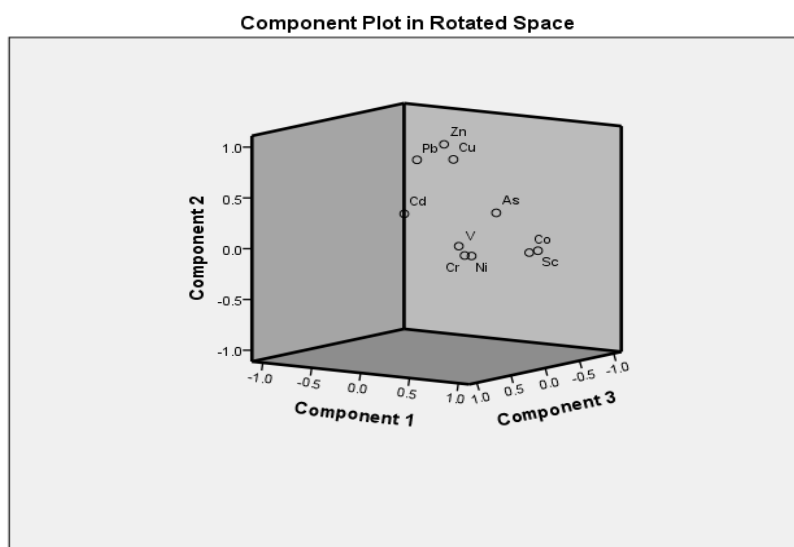
عامل سوم ۱۳/۹٪ واریانس کل را شامل می‌شود که دارای همبستگی بالایی با آرسنیک و اسکاندیم است. با توجه به اینکه اسکاندیم کمترین تأثیر را در افزایش غلظت از عوامل بیرونی می‌پذیرد، نشان‌دهنده غلظت زمین‌زاد در این فاکتور است. فاکتورهای به‌دست‌آمده در تحلیل عاملی عناصر مورد مطالعه در جدول ۱۵ نمایش داده شده است. در شکل ۴، پلات بار سه مؤلفه اصلی بر اساس تحلیل عاملی آزمون PCA به نمایش گذاشته شده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، غلظت عناصر نیکل، کروم و وانادیم ارتباط بسیار نزدیکی با هم دارد و نتایج به‌دست‌آمده در تجزیه و تحلیل عاملی را تأیید می‌کند.

جدول ۱۵. فاکتورهای محاسبه‌شده قبل و بعد از چرخش

Component	Component			Component	Component		
	۱	۲	۳		۱	۲	۳
As	-۰/۱۲۹	-۰/۲۱۸	-۰/۶۸۶	As	-۰/۱۶	۰/۲۱۵	-۰/۶۸۱
Cd	-۰/۱۴۲	۰/۴۰۷	۰/۶۷۶	Cd	۰/۵۵۵	۰/۳۰۶	-۰/۴۹
Co	-۰/۹۶۸	۰/۱۵	۰/۲۹	Co	-۰/۸۲۴	-۰/۲۶۴	۰/۴۳۵
Cr	۰/۷۳	۰/۵	۰/۶۳۴	Cr	-۰/۹۲۵	-۰/۲	-۰/۲۰۵
Cu	-۰/۲۴۴	-۰/۸۷۱	۰/۱۰۵	Cu	-۰/۴۹۷	۰/۷۵۶	۰/۹۸
Ni	-۰/۷۰۵	۰/۲۳	۰/۴۹۶	Ni	۰/۸۳	-۰/۲۱۱	-۰/۹۸
Pb	-۰/۱۹۵	۰/۸۰۸	۰/۳	Pb	۰/۶۹	۰/۸۲۸	-۰/۳۱
Sc	۰/۸۸۲	-۰/۱۱	-۰/۲۲	Sc	-۰/۶۲۶	-۰/۲۴۹	۰/۶۱۱
V	۰/۶۴۵	۰/۱۲۸	۰/۵۹۷	V	۰/۸۵۸	-۰/۹۹	-۰/۲۰۶
Zn	۰/۳۲	۰/۹۷۴	-۰/۶۱	Zn	۰/۲۷	۰/۹۲۶	۰/۱۵۲

ماتریکس بعد از چرخش

ماتریکس قبل از چرخش



شکل ۴. پلات بار مؤلفه‌های مؤثر در غلظت

نتیجه گیری

امروزه، آلودگی خاک با فلزات سنگین مشکلی جدی و در حال گسترش است. فلزات سنگین با ورود به زنجیره غذایی سلامت اکوسیستمها و انسان را تهدید می کند. در مطالعات مشابه و با بررسی غلظت فلزات سنگین در پالایشگاههای آبادان، تهران و شیراز مشخص شد که بیشترین غلظت مربوط به فلز کروم و به ترتیب معادل ۸۳/۸، ۲۱۲ و ۶۱/۱ میلی گرم بر کیلوگرم خاک بود. در پالایشگاه تبریز و اصفهان بیشترین غلظت مربوط به فلز نیکل به ترتیب با غلظت ۷۶/۳ و ۱۲۲/۱ میلی گرم بر کیلوگرم است (علیپور و همکاران، ۱۳۹۵). مقدار فلزات سنگین نیکل و کادمیم در خاکهای مورد مطالعه نسبت به استانداردهای اروپا و دنیا بیشتر و غلظت دو فلز سرب و کروم کمتر است.

بر همین اساس، با توجه به نتایج به دست آمده، پالایشگاه تهران نسبت به پالایشگاههای دیگر، از نظر آلودگیهای محیطزیستی در وضعیت بهتری قرار دارد و این شاید به دلیل اجرای برنامه محیطزیستی است. بیشترین مقدار آلودگی فلز کروم و کادمیم و غلظت کل هیدروکربنهای نفتی به ترتیب در پالایشگاههای شیراز و اصفهان به دست آمد (علیپور و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج حاصل از بررسیهای انجام شده حاکی از آن است که خاک موجود در پالایشگاه کرمانشاه نیز نسبت به برخی عناصر دارای آلودگی است. با توجه به مقادیر زمین انباشت، خاک محدوده پالایشگاه کرمانشاه به عناصر نیکل و کروم آلوده است. نتایج فاکتور غنی شدگی مبین غنی شدگی متوسط خاک محدوده مورد بررسی به عناصر کروم و سرب است. فاکتور غنی شدگی بالای دو عنصر سرب و مس نشان دهنده دخالت عوامل انسان زاد در آلودگی محدوده نسبت به این دو فلز است. نتایج حاصل از بار آلودگی عناصر کروم، نیکل، روی، مس و سرب بیش از ۱ و نشان دهنده آلودگی خاک نسبت به این عناصر است.

با توجه به نتایج حاصل از ضریب همبستگی پیرسون، مشخص شد که همبستگی بالایی بین عناصر وانادیم، کبالت، کروم و نیکل وجود دارد که حاکی از منشأ یکسان آنهاست. با تهیه نقشه پهنه بندی غلظت فلزات سنگین در خاک محدوده مورد بررسی مشخص شد که غلظت بالای عناصر در برخی ایستگاهها در ارتباط با تأسیسات فرآوری نفت خام و مخازن نگهداری آن است.

نتایج حاصل از آنالیز همبستگی خوشه ای حاکی از تقسیم بندی عناصر به هفت خوشه است. عناصر دارای ارتباط ساختاری در زیرخوشه های بعدی به هم مرتبط است. ترکیب خوشه های ۶ و ۷ با هم منشأ یکسانی را برای این عناصر نشان می دهد. با توجه به اینکه وانادیم از ترکیبات نفتی مشتق می شود، می توان منشأ آلودگی کروم و نیکل را با ترکیبات نفتی مرتبط دانست (مگارج و همکاران، ۲۰۰۰)، به گونه ای که نتایج حاصل از شکل ۳ و جدول ۱۴ در محدوده پالایشگاه کرمانشاه نیز این ارتباط را تأیید می کند. نتایج تحلیل عاملی سه فاکتور اصلی را به ما معرفی می کند. فاکتور اول با ۴۰/۱٪ واریانس کل مؤثرترین عامل در غلظت عناصر در خاک است. این عامل همبستگی مثبت بالایی با Ni، V، Sc، Co و Cr دارد که نشانگر هم منشأ بودن غلظت این فلزات با ترکیب نفت خام است (مورنو و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به آثار منفی آلاینده های خاک بر محیطزیست و با در نظر گرفتن غلظت زیاد آلاینده ها، به ویژه هیدروکربن های نفتی در محدوده مورد بررسی، پالایش خاک و زیست پالایی در این محدوده توصیه می شود.

منابع

- علی پور اسدآبادی، ز.، ملکیان، م.، سلیمانی، م. (۱۳۹۵). بررسی آلودگی هیدروکربن های نفتی و فلزات سنگین در خاک های پنج پالایشگاه نفت کشور. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۱: ۲۸۴-۲۷۳.
- کریمی بوندپور، ع.ر.، سهندی، م.ر. (۱۳۷۷). نقشه زمین شناسی کرمانشاه، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- گیتی پور، س.، نبی بیدهندی، غ.ر.، گرجی، م.ا. (۱۳۸۳). آلودگی خاک های جنب پالایشگاه تهران در اثر نشت ترکیبات نفتی. محیط شناسی، ۳۴: ۳۹-۴۵.
- مومنی، م. (۱۳۹۱). تحلیل های آماری با استفاده از SPSS. چاپ هفتم، انتشارات کتاب نو، تهران، ۳۰۲ ص.
- Abraham, G.M.S., Parker, R.J. (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136(1): 227-238.
- Adesina, G., Adelasoye, K. (2014). Effect of crude oil pollution on heavy metal contents, microbial population in soil, and maize and cowpea growth. *Agriculture Science Journal*, 5: 43-50.
- Alipour, Z., Malekian, M., Solimani, M. (2016). Petroleum hydrocarbons and heavy metals contamination in the soils of the country's five refineries. *Journal of Soil and Water Conservation*, 23(1): 273-284. [in Persian]

- Anyakora, C., Ehianeta, T., Umukoro, O. (2013). Heavy metal levels in soil samples from highly industrialized of Lagos environment. *Environmental Science Technology Journal*, 7: 917-924.
- Bingan, W., Linsheng, Y. (2010). A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*, 94(2): 99-107.
- Facchinelli, A., Sacchi, E., Mallen, L. (2001). Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environ. Pollut.*, 114(3): 313-324.
- Giteypour, S., Nabi Bidehendy, G.H., Gorje, M.A. (2004). Soil contamination in southern part of Tehran refineries by leaking petroleum. *Journal of Ecology*, 34(34): 39-45. [in Persian]
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research*, 14(8): 975-1001.
- Hernandez, L., Probst, A., Probst, J.L., et al. (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. 413 pp.
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B. (2007). Trace elements from soil to Hhuman. Springer-Verlag Berlin Heidelberg Pub., 550 pp.
- Karimi Bavandpour, A.R., Sahandi, M.R. (1999). Geological map of Kermanshah, 1:100000 Scale. Geological Survey of Iran. [in Persian]
- Khan, A.G. (2005). Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18: 355-364.
- Lasat, M.M. (2002). Phytoextraction of toxic metals– A review of biological mechanisms. *Journal of Environmental Quality*, 31: 109-120.
- Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J., Giller, K.E. (2007). Uptake of heavy metals by vegetables irrigated using wastewater and the subsequent risks in Harare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32: 1399-1405.
- Megharaj, M., Singleton, I., McClure, N., Naidul, R. (2000). Influence of petroleum hydrocarbon contamination on microalgae and microbial activities in long-term contaminated oil. *Environ. Contamin. Toxicol. Journal*, 38: 439-445.
- Mohammad, A., Bhuiyana Lutfar, H., Parvezb, M.A., Islamc, A., Samuel, B., Dampare, Shigeyuki, S. (2010). Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in thenorthern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1-3): 384-392.
- Momeni, M. (2009). Statistical analysis with SPSS. Ketab-e- Now Pub., 302 pp. [in Persian]
- Moreno J., Bastida F., Ros M., Hernandez T., 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.*, No.45 (3), PP. 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. *Bulletin of Geological Survey of Japan*, 51(8): 371-382.
- Sutherland, R.A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39(6): 611-627.
- Tomlinson, D.L, Wilson, J.G. Harris, C.R. Jeffrey, D.W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Environ. Pollut.*, 33(1): 566-575.
- Webster, R., Burges, T.M. (2002). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties III-changing drift and universal kriging. *J. Soil Sci.*, 31: 505-524.