

منشأیابی آلودگی فلزات سنگین خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان

ندا سیستانی^۱، مظاهر معین‌الدینی^{۲*}، محمدصالح علی‌طالشی^۳، نعمت‌اله خراسانی^۴،

امیرحسین حمیدیان^۵، رخساره عظیمی یانچشمه^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی - محیط زیست، آلودگی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، کرج، ایران
۲. استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳. دانشجوی دکتری مهندسی منابع طبیعی - محیط زیست، آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۴. استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ۵- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۱؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱)

چکیده

فعالیت‌های انسانی تجمع فلزات سنگین را در خاک افزایش خواهد داد. آلودگی خاک به طور قابل توجهی کیفیت محیط زیست را کاسته و بر سلامت انسان اثرگذار است. پژوهش حاضر با هدف تعیین غلظت برخی از فلزات سنگین (نیکل، سرب، آهن، روی، کروم، کادمیوم) و ارزیابی تأثیر فعالیت مجتمع فولاد کرمان بر غلظت فلزات سنگین خاک صورت گرفت. تعداد ۶۰ نمونه از خاک سطحی از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری، در فواصل متفاوتی از مجتمع فولاد کرمان جمع‌آوری و با دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (AAS) آنالیز شدند. برخی شاخص‌های آلودگی شامل فاکتور آلودگی (C_f Contamination factor)، شاخص آلودگی (PI Pollution index)، بار آلودگی (PLI Pollution load index)، شدت آلودگی ($Ipoll$ Pollution Intensity index)، آلودگی بالقوه (Cp Potential contamination index)، برای ارزیابی سطوح آلودگی خاک محاسبه شدند. همچنین از آزمون‌های آماری همبستگی پیرسون، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (HCA) جهت تعیین منشأ آلاینده‌ها استفاده شد. نتایج، روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در خاک محدوده مورد مطالعه را به ترتیب آهن < روی < سرب < نیکل < کروم < کادمیوم نشان داد. حداکثر میزان شاخص‌های مورد مطالعه مربوط به فلز سرب و پس از آن مربوط به روی بود. همبستگی پیرسون نشان داد که غلظت روی با کادمیوم و سرب با کروم رابطه مثبت معنی‌داری دارد. نتایج PCA شاخص C_f فلزات سنگین، فلزات سرب و کروم را در خوشه اول قرار داد و این نشانگر این است که این دو عنصر، بیشتر دارای منشأ انسانی هستند. پژوهش حاضر نشان داد که منطقه مورد مطالعه نیازی به اقدامات اصلاحی شدید ندارد، با این وجود پایش مداوم محیط ضروری است.

کلید واژگان: خاک، فلزات سنگین، شاخص آلودگی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، کرمان

۱. مقدمه

محصولاتی که در مکان‌های آلوده یا نزدیک به این مکان‌ها رشد می‌یابند می‌توانند این فلزات را جذب نموده و آن‌ها را در خود انباشته نمایند و باعث خطرات بالقوه‌ای برای انسان و جانوران شوند (Yalkin *et al.*, 2007). خاک عملکردهای فراوانی در جامعه ما به‌ویژه برای تولید غذا دارا است. بنابراین برای حفاظت از این منابع و اطمینان از پایداری آن‌ها، خاک نقش مهمی ایفا می‌کند. صنایع آهن و فولاد، معدن‌کاوی، حمل و نقل جاده‌ای، تولید سوخت، انتقال انرژی، کشاورزی متراکم، آبیاری با فاضلاب، انباشت لجن، سوزاندن پسماند و به‌ویژه استفاده از کودها و مواد شیمیایی در کشاورزی از منابع انسانی بسیار مهم ورود فلزات سنگین به اکوسیستم خاک هستند (Weber & karczewska, 2004; Shah *et al.*, 2010). این رو می‌توان بیان کرد که امروزه مشکلات آلودگی در کشور ایران نیز مانند سایر کشورهای در حال توسعه به‌واسطه پیشرفت تکنولوژی و فعالیت‌های امروزی بشر روزبه‌روز در حال افزایش است و نیازمند توجه بیشتری است (Rezvani *et al.*, 2014). در این بین صنایع فولاد غالباً دارای اثرات و پیامدهای ناسازگار زیست‌محیطی بیشتری هستند و در صورتی که ملاحظات زیست‌محیطی در طراحی و برنامه‌ریزی‌های اولیه به‌صورت گسترده، جامع و با دید همه‌سویگر مورد نظر قرار نگیرد، برنامه‌های توسعه و احداث این‌گونه طرح‌های بزرگ و پرهزینه، خسارات جبران‌ناپذیری بر پیکره محیط زیست تحت نفوذ این پروژه‌ها وارد می‌نمایند (Monavari, 2002). در مطالعات مختلفی در سراسر جهان به ارزیابی اثرات آلاینده‌های صنایع فولاد با روش‌های مختلف پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای که به ارزیابی آلودگی فلز سنگین و خطر بهداشت انسانی در خاک‌های شهری ناشی از شهرک صنعتی فولاد در شمال شرقی چین صورت گرفت، آزمون تحلیل مولفه‌های اصلی نشان داد که میزان زیاد انتشارات و دفع نامناسب مواد زائد می‌تواند سبب آلودگی محیط به کادمیوم، مس، سرب و روی در محیط پیرامونی بخش صنعتی فولاد گردد (Qing *et al.*, 2015). علاوه بر این در

در طی دو دهه اخیر توجه ویژه‌ای بر پیامدهای ناشی از آلودگی محیط‌زیست به دلیل نیازهای در حال رشد جمعیت و به دنبال آن توسعه زمین و منابع معدنی و ایجاد طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های شیمیایی از جمله فلزات سنگین شده است (El-Demerdash & Elgamy, 1999; Mico *et al.*, 2006). فلزات سنگین از هر دو طریق فعالیت‌های انسانی و طبیعی وارد محیط می‌گردند. همه فلزات سنگین در غلظت‌های بالاتر از سطوح نرمال در خاک سمی هستند. آلودگی خاک با فلزات سنگین همچون کادمیوم، مس، کروم، سرب، نیکل و روی در اکوسیستم‌های خشکی به عنوان یک بحران بهداشت محیطی جدی شناخته شده است که به علت عدم تجزیه‌پذیری زیستی و زمان ماند طولانی این فلزات سنگین تمایل به ورود به زنجیره‌های غذایی و در نهایت تجمع در بافت‌های گیاهان، حیوانات و انسان دارند (Lin *et al.*, 2004; Namuhani & Kimumwe, 2015; Sabouhi *et al.*, 2016). این امر به‌خصوص در مورد مناطقی با تراکم جمعیت بالا مطرح است که اغلب اراضی به شدت مورد بهره‌برداری قرار گرفته و در نتیجه یک مکان آلوده نمی‌تواند به آسانی کنار گذاشته شود (Van Straalen, 2002; Fent, 2004). علاوه بر این فلزات سنگین خاک ممکن است تکثیر میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی را تحت تأثیر قرار دهند، که می‌تواند منجر به کاهش در نرخ فرایندهای بیوشیمیایی در محیط خاک گردند (Abidemi, 2013). صنایع معدنی که مسئول استحصال مواد معدنی به‌خصوص فلزات از طبیعت هستند، به دلیل برداشت مستقیم مواد اولیه از طبیعت، دفع و انتشار ناخالصی‌های آن به‌صورت آلودگی و یا پسماند در محیط و به‌خصوص خاک، اغلب توجه عموم را به خود جلب کرده‌اند. در واقع خاک به عنوان مدفن نهایی برای فلزات سنگین تخلیه‌شده به محیط شناخته شده و بسیاری از فلزات سنگین با خاک پیوند دارند و

شود. علاوه بر این، اتخاذ رویکردهای مدیریتی در زمینه جلوگیری از ایجاد و ورود آلاینده‌های محیطی نه تنها نیازمند اطلاعات کمی در رابطه با میزان آلوده‌کننده مورد نظر است، بلکه دانستن درجه احتمال و ریسک آلودگی، کمک شایانی در این زمینه می‌نماید. با توجه به نتایج مطرح شده در رابطه با اثرات زیان بار حاصل از آلودگی فلزات سنگین صنایع بر خاک و عدم وجود مطالعات جامع آلاینده‌های منتشر شده از کارخانه‌ها همچون مجتمع فولاد کرمان و تأثیرات بالقوه‌ای که این مجتمع بر روی محیط اطراف، به‌خصوص شهر بردسیر (۱۷ کیلومتری کارخانه) دارد، پژوهش در این رابطه اطلاعات و راهکارهای مناسبی را در اختیار تصمیم‌گیران برای ایجاد سیاست‌های کاهش سطح آلودگی و بهبود اکوسیستم خاک قرار می‌دهد تا از گسترش آلودگی به محیط اطراف آن جلوگیری شود. به‌خصوص در سالیان اخیر بحث‌هایی مبنی بر آلاینده‌های این صنعت مطرح شده است. همچنین تحقیقات در زمینه ارزیابی مخاطرات آلودگی خاک و تعیین منشأ آلاینده‌ها در ایران هنوز در مراحل ابتدایی است. از این‌رو پژوهش حاضر با هدف تعیین غلظت برخی از فلزات سنگین (شامل نیکل، سرب، آهن، روی، کروم، کادمیوم) و ارزیابی تأثیر فعالیت مجتمع فولاد کرمان بر غلظت فلزات سنگین خاک صورت گرفت. نتایج این پژوهش، امکان شناسایی منشأ فلزات سنگین را فراهم و پیشنهادات مؤثری را جهت پایش محیط اطراف این صنایع به منظور جلوگیری از مخاطرات زیست محیطی در محدوده تحت تأثیر این صنایع ارائه می‌نماید.

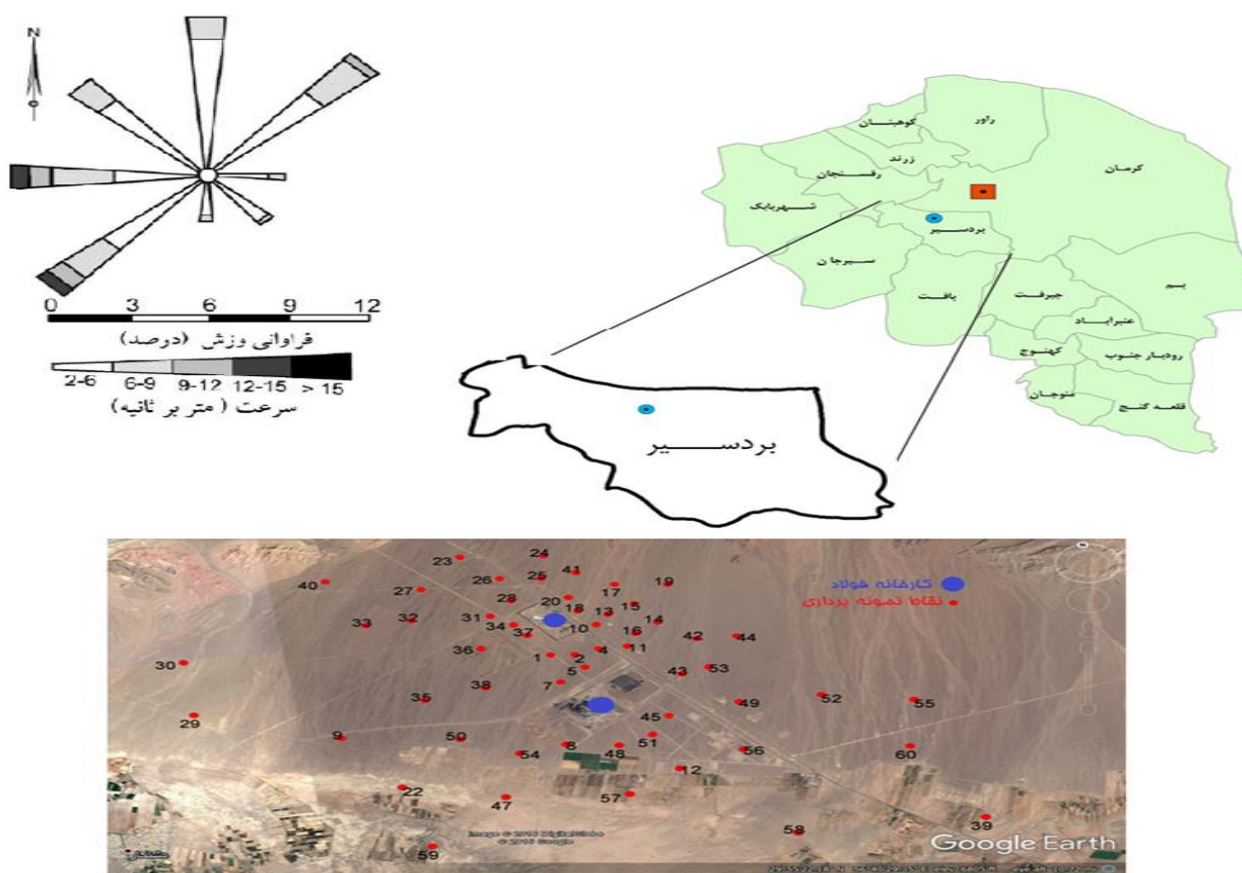
۲. مواد و روش‌ها

مجتمع فولاد کرمان در مسیر ارتباطی بردسیر، کرمان و بافت واقع شده است. مجتمع فولاد سازی بردسیر به روش احیا مستقیم نیز در کیلومتر ۴۵ جاده کرمان- بردسیر واقع شده است. در واقع این کارخانه‌ها در مرز

مطالعه‌ای که به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خاک در شهرک صنعتی قدیمی در چین پرداخته شد، تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که فلزات سنگین توسط فاکتورهای زیادی کنترل شده و فرایند جداسازی مؤلفه‌های فلزات سنگین نشانگر این بود که کروم و منگنز عمدتاً از منابع غیر انسانی ناشی شده‌اند (Li et al., 2013). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خاک در منطقه استراوا جمهوری چک به‌وسیله شاخص‌های انباشت ژئوشیمیایی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص بار آلودگی، شاخص آلودگی و شاخص آلودگی ادغام شده نشان دادند که خاک اطراف نواحی شهری در یک محدوده نسبتاً بالا توسط این فلزات آلوده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد آلاینده‌های خاک در نتیجه فعالیت‌های صنعتی در نواحی تحت مطالعه بوده است. همچنین این نتایج نشان دادند که عناصر کادمیوم، سرب، روی، مس، منگنز و جیوه از منابع انسانی مخصوصاً از فعالیت‌های صنعتی منتشر می‌شوند (Dolezalova et al., 2014). در پژوهشی میزان آلودگی خاک ناشی از صنایع فولاد خوزستان با استفاده از معیار فاکتور آلودگی و درجه آلودگی بررسی شد. بیشترین نمود آلودگی در این منطقه مربوط به آهن، سرب و آرسنیک بود. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری ضریب همبستگی بالا میان آرسنیک، منگنز، سرب و روی احتمالاً نشانگر منشأ مشترک آن‌ها در منطقه است (Rastmanesh et al., 2013). مطالعه آلودگی جیوه در خاک شهرک‌های صنعتی اراک در سال ۱۳۹۲ صورت گرفت. یافته‌ها نشان داد که مقادیر جیوه کل در خاک در مقایسه با مقادیر پوسته زمین بالاتر است اما در مقایسه با محدوده آن در خاک‌های جهان مقادیر کمی بالاتر است. همچنین در این تحقیق پیشنهاد شد کاربرد فن‌آوری سبز گیاه‌پالایی به عنوان روش جدید جهت رفع آلودگی خاک مورد استفاده قرار گیرد (Solgi et al., 2012). در تمامی این روش‌ها تلاش می‌گردد که براساس مقایسه مناطق، تحلیل‌های آماری و استفاده از غلظت مرجع، میزان و منشأ آلودگی مشخص

بارندگی سالیانه آن ۲۰۰ میلی‌متر است (Ghasemzadeh, 2010). کاربری‌ها و پوشش سرزمین در این محدوده مطالعاتی شامل مناطق کشاورزی، صنعتی، اراضی مرتعی و بایر است. یکی از کاربری‌های عمده منطقه، کاربری حفاظتی است که به منطقه حفاظت‌شده بیدوییه بردسیر اختصاص دارد.

سیاسی شهرستان بردسیر واقع شده‌اند. شهر بردسیر با ۶۱۳۶ کیلومتر مربع وسعت، در مرکز استان کرمان قرار دارد و با شهرستان‌های سیرجان، کرمان، رابر و رفسنجان همجوار است. این شهرستان از دو دشت متصل به هم یعنی بردسیر و قریه العرب و ارتفاعات اطراف این دشت‌ها تشکیل شده است. آب و هوای بردسیر معتدل کوهستانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم است و میزان



شکل ۱. نقشه منطقه نمونه برداری شده

۱۰۰، ۱۰۰ تا ۵۰۰ و بیشتر از ۵۰۰ متری نسبت به کارخانه‌ها، تعیین شدند. نمونه برداری به روش نمونه ترکیبی (پلات ۱۰۰ در ۱۰۰ متری) و از خاک سطحی (عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری) ۶۰ نمونه خاک در کیسه‌های پلاستیکی جمع‌آوری و بعد از شماره‌گذاری برای انجام آنالیزهای مربوط به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل و تا

در این مطالعه، انتخاب نقاط نمونه برداری بر اساس جهت باد غالب منطقه (داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک لاله‌زار)، موقعیت کارخانه، کاربری‌های اطراف، راه‌های ارتباطی و همچنین محدوده بین مجتمع فولاد کرمان و سایت احیای فولاد بردسیر صورت گرفته است. بنابراین نقاط نمونه برداری با تراکم‌های متفاوت در فواصل

ترتیب ۱۴، ۱۰۰، ۷۵، ۸۰، ۴۱۰۰۰ و $۰/۲ \text{ mgkg}^{-1}$ است (Wang et al., 2005; Niencheski, 2002). روش‌های متفاوتی برای تخمین درجه غنی‌شدگی خاک‌ها توسط فلزات سنگین وجود دارد که هر کدام از محققین یک مقیاس و طبقه‌بندی متفاوتی را برای تبدیل مقادیر عددی غلظت‌ها به یک حالت توصیفی ارائه کرده‌اند. در این پژوهش از شاخص‌های C_f ، I_{poll} ، C_p ، PLI و PI برای تعیین منشأ آلاینده‌ها استفاده شده است.

۲.۱. شاخص فاکتور آلودگی^۲

شاخص فاکتور آلودگی معمولاً برای ارزیابی درجه آلودگی استفاده می‌شود. این شاخص به صورت معادله ۱ تعیین می‌گردد:

$$C_f = \frac{C_{\text{metal}}}{C_{\text{background}}} \quad (1)$$

$C_{\text{background}}$ و C_{metal} به ترتیب غلظت فلز در نمونه خاک و در زمینه (میانگین پوسته زمین) است. $C_f < 1$ (آلودگی اندک)، $1 < C_f < 3$ (آلودگی متوسط)، $3 < C_f < 6$ (آلودگی قابل توجه) و $C_f > 6$ (آلودگی بسیار بالا) هستند (Hakanson, 1980).

با محاسبه و تعیین C_f می‌توان با استفاده از شاخص آلودگی نیز به ارزیابی درجه آلودگی پرداخت (Qingjie et al., 2008)

$$PI = \sqrt{\frac{C_{f_{\text{max}}}^2 + C_{f_{\text{mean}}}^2}{2}} \quad (2)$$

$C_{f_{\text{max}}}$ ماکزیمم مقدار C_f هر فلز سنگین و $C_{f_{\text{mean}}}$ متوسط مقدار C_f هر فلز سنگین است. PI به صورت زیر تعریف شده است: فاقد آلودگی ($PI \leq 0.7$)، خط هشدار آلودگی ($0.7 < PI \leq 1$)، سطح پایین آلودگی ($1 < PI \leq 2$)، سطح متوسط آلودگی ($2 < PI \leq 3$)، سطح بالای آلودگی ($PI > 3$).

زمان آنالیز در دمای پایین نگهداری شدند. به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین مورد نظر از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی استفاده گردید. همچنین pH ، هدایت الکتریکی (EC)، درصد مواد آلی، درصد رس، سیلت و شن در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. به منظور ارزیابی مخاطره آلاینده‌های خاک از استانداردهای آلودگی منابع خاک، راهنمای شماره ۲ (Soil resources quality standard and it's guidelines, 2016)، تحت عنوان تدوین شاخص‌های کمی و کیفی منابع خاک و نحوه ارزیابی خطر وضعیت محیط زیستی و کیفیت منابع خاک با توجه به انواع کاربری‌های موجود در منطقه و بررسی پارامترهای pH ، درصد رس و ماده آلی خاک و همچنین غلظت فلزات سنگین کل در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه استفاده شد. به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین مورد نظر از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی^۱ استفاده گردید. اساس کار دستگاه طیف‌سنج اتمی به این صورت است که نمونه‌های محلول به صورت مه به درون شعله‌ای از گاز استیلن پاشیده می‌شود. در اثر حرارت شعله، یون‌های عناصر فلزی به اتم تبدیل می‌شوند. تابش‌های با طول موج مرئی و فرابنفش متوسط منابع تابش به این عناصر اتمی شده در شعله تابانده شده و هر عنصر طول موج مربوط به خود را جذب می‌کند. میزان تابش جذب شده توسط یک آشکارساز نوری در طول موج مربوط به هر عنصر اندازه‌گیری می‌شود. شدت جذب اندازه‌گیری شده در طول موج وابسته به غلظت عنصر جذب کننده آن طول موج است. جهت ارزیابی اثرات محیط زیستی عناصر سنگین در خاک‌های یک منطقه، بایستی میزان غلظت عناصر در آن با یک استاندارد شناخته شده، مقایسه شود. در این تحقیق از میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به عنوان استاندارد درجه آلودگی و از فلز آهن به عنوان عنصر مرجع استفاده شده است (Wedepohl, 1995). براساس نتایج مطالعات میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین برای عناصر سرب، کروم، روی، نیکل، آهن و کادمیوم به

¹ Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

² Contamination factor (C_f)

صورت طبقه‌بندی $I_{poll} \leq 0$ (نسبتاً غیر آلوده)، $0 < I_{poll} < 1$ (غیر آلوده تا آلودگی متوسط)، $1 \leq I_{poll} < 2$ (آلودگی متوسط)، $2 \leq I_{poll} < 3$ (آلودگی متوسط تا شدید)، $3 \leq I_{poll} < 4$ (آلودگی شدید)، $4 \leq I_{poll} < 5$ (آلودگی شدید تا بسیار شدید) و $I_{poll} > 5$ (آلودگی بسیار شدید) مشخص می‌گردد.

۴.۲. شاخص آلودگی بالقوه^۳

ارزیابی مقدار عناصر فلزی قابل شناسایی از تحلیل رسوب با استفاده از شاخص آلودگی بالقوه (Cp) توسط Davaulter & Rognerud (2001) ارائه شد که در این مطالعه برای ارزیابی آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. شاخص آلودگی بالقوه می‌تواند توسط معادله ۵ محاسبه گردد (Aprile & Bouvy, 2008).

$$Cp = [C_n]_{max} / [C_n]_{Ba} \quad (5)$$

که در این معادله $[C_n]_{max}$ حداکثر غلظت فلز در خاک و $[C_n]_{Ba}$ میزان متوسط همان فلز در سطح زمینه است. برای داده‌های فراوانی پوسته از داده‌های میانگین پوسته زمین (Wang et al., 2005; Niencheski, 2002) استفاده گردید. با توجه به این شاخص، $Cp > 3$ نشانگر آلودگی شدید منطقه با فلزات سنگین است.

در این پژوهش علاوه بر محاسبه شاخص‌های بالا، از آزمون‌های آماری همبستگی پیرسون، تحلیل عاملی (PCA) و تجزیه خوشه‌ای سلسله مراتبی نیز جهت شناسایی، تحلیل و ایجاد تمایز بهتر منابع آلودگی استفاده شد. در واقع میزان ارتباط بین متغیرها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون تعیین شد که متغیرهای مورد نظر در این مطالعه فلزات سنگین و سایر پارامترهای خاک بودند. علاوه بر این جهت تعیین تأثیرگذارترین فلزات سنگین با وجود تعداد زیاد متغیرهای مورد بررسی

۲.۲. شاخص بار آلودگی^۱

شاخص بار آلودگی (PLI) توسط Thomilson و همکاران (1980) برای ارزیابی سطوح آلودگی فلزی خاک در یک مکان نمونه‌برداری خاص ارائه شده است. این شاخص به صورت معادله ۳ ارائه شده است.

$$PLI = (Cf_1 * Cf_2 * Cf_3 * \dots * Cf_n)^{1/n} \quad (3)$$

n تعداد فلزات و Cf فاکتور آلودگی محاسبه شده به صورت معادله بالا است. ارزش‌های PLI به عنوان ابزاری مقایسه‌ای برای ارزیابی کیفیت مکان نمونه‌برداری برای سطوح آلودگی فلزی استفاده شده است، به طوری که ارزش ۱ به عنوان سطح زمینه آلودگی شناخته شده و ارزش بالاتر از ۱ نشان‌دهنده بدتر شدن کیفیت مکان نمونه‌برداری است. Selinus و همکاران (۲۰۰۵)، PLI را به عنوان روشی جهت ارزیابی شرایط آلودگی فلز و انجام اقدامات لازم ارائه دادند. Likuku و همکاران (۲۰۱۳) اقدامات را نشانگر لزوم بازبینی فوری برای کاهش آلودگی، $1 < PLI < 0.5$ را نشانگر انجام مطالعات جزئی برای پایش مکان و مقادیر $0.5 < 0$ را نشانگر عدم نیاز به اقدامات اصلاحی شدید بیان نمودند.

۲.۳. شاخص شدت آلودگی^۲

ارزیابی شدت آلودگی عناصر مورد مطالعه بر اساس یافته‌های جزءبندی شیمیایی می‌تواند منجر به معادله ۴ گردد (Karbasi et al., 2008).

$$I_{poll} = \text{Log}_2[B_c/L_p] \quad (4)$$

که I_{poll} ، B_c و L_p به ترتیب نشانگر شدت آلودگی، غلظت کل و بخش لیتوژنی (میانگین پوسته زمین) است. این معادله، در واقع معادله تغییر یافته Muller است که برای ارزیابی شدت آلودگی استفاده شده است. درجه‌بندی سطح آلودگی خاک‌ها در این شاخص مطابق درجه‌بندی ارائه شده توسط Muller (1969) است و به

¹Pollution load index (PLI)

²Pollution Intensity index

³Potential contamination index (Cp)

خوشه‌ها و سپس تعیین مربع فاصله اقلیدسی میانگین خوشه‌ها است، برای خوشه‌بندی مشاهدات استفاده شد. کلیه آنالیزها بر روی داده‌های حاصل، با استفاده از نرم‌افزارهای IBM SPSS statistics 23 و Excel 2013 انجام شد.

۳. نتایج

۳.۱. یافته‌های توصیفی سنجش غلظت فلزات

سنگین

اطلاعات توصیفی سنجش غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطراف مجتمع فولاد کرمان در قالب مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف استاندارد در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. داده‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ها و پوسته زمین

غلظت کل عناصر	نیکل (mgkg ⁻¹)	روی (mgkg ⁻¹)	آهن (mgkg ⁻¹)	سرب (mgkg ⁻¹)	کروم (mgkg ⁻¹)	کادمیوم (mgkg ⁻¹)	pH	EC (dSm ⁻¹)	درصد مواد آلی	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن
میانگین	۹/۹۸	۵۴/۳۸	۱۵۰۶۳/۳۳	۲۰/۸۶	۳/۵۴	۰/۰۳۸	۷/۵۳	۶/۱۶	۰/۷۲	۳/۶۶	۹/۹۰	۸۵/۲۳
حداقل	۴/۵۵	۲۹/۱۰	۱۹۵۶/۰۰	۰/۸۵	۱/۱۴	۰/۰۳	۶/۹۰	۰/۲۰	۰/۰۱	۱/۷۶	۳/۸۴	۲۴/۹۰
حداکثر	۱۵/۳۰	۲۴۷/۵۵	۲۱۱۸۰/۰۰	۱۰۹/۳۰	۲۴/۲۵	۰/۰۹	۸/۱۰	۴۶/۹۰	۲۷/۰۰	۱۲/۴۸	۲۳/۲۸	۹۴/۴۰
انحراف استاندارد	۲/۵۸	۴۱/۸۵	۳۰۰۹/۹۵	۱۴/۰۷	۲/۹۶	۰/۰۱۱	۰/۲۸	۹/۲۵	۳/۴۳	۲/۲۱	۴/۵۵	۹/۷۸

غلظت عناصر نیکل، روی، آهن، کروم و کادمیوم از میانگین پوسته زمین پایین تر بود و تنها میانگین غلظت عنصر سرب بالاتر از میانگین پوسته زمین بود. بیشترین انحراف استاندارد در غلظت عناصر سنگین مربوط به فلز آهن (۳۰۰۹/۹۵) و کمترین انحراف استاندارد در غلظت عناصر سنگین مربوط به فلز کادمیوم (۰/۰۱۱) بود. مقادیر زیاد انحراف استاندارد نشان دهنده گستره تغییرات وسیع غلظت‌های فلز در خاک‌های اطراف منطقه صنعتی است که این موضوع برای عنصر آهن در این مطالعه صدق می‌نماید.

و روابط ناشناخته بین آن‌ها از تحلیل عاملی استفاده شد. در این روش هر یک از متغیرها در عامل‌هایی قرار می‌گیرند، به طوری که از عامل اول به عامل‌های بعدی درصد واریانس کاهش می‌یابد. لذا فلزاتی که در عامل اول قرار گیرند، تأثیرگذارترین فلزات در ایجاد آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشند. سایر فلزات نیز در قالب گروه‌های دیگری خلاصه می‌گردند. تجزیه خوشه‌ای (CA) از دیگر آزمون‌هایی است که برای گروه‌بندی اشیاء مشابه استفاده می‌شود. هدف تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی در این پژوهش نیز تقسیم مشاهدات به گروه‌های متجانس بود تا مشاهداتی با بیشترین شباهت در یک گروه قرار گیرند. به عبارتی این گروه از مشاهدات دارای منشأ آلودگی یکسانی هستند و سایر گروه‌ها کمترین شباهت را با هم دارند. در این مطالعه از روش Ward که براساس میانگین‌های متغیرها در درون هر یک از

در میان ۶ فلز مورد سنجش، حداقل میانگین غلظت فلزات در خاک محدوده مورد مطالعه مربوط به فلز کادمیوم (۰/۰۳۸±۰/۰۱۱) و حداکثر میانگین غلظت فلزات مربوط به فلز آهن (۱۵۰۶۳/۳۳±۳۰۰۹/۹۵) است. روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در خاک محدوده مورد مطالعه به ترتیب آهن < روی < سرب < نیکل < کروم < کادمیوم کاهش یافت. با ملاحظه به شاخص‌های مطرح در این مطالعه و اهمیت میانگین غلظت کل عنصر آهن به عنوان عنصری مرجع برای سنجش غنی‌شدگی فلزی خاک منطقه مورد مطالعه، مشخص شد که میانگین

۳،۲. یافته‌های شاخص آلودگی

مقادیر شاخص‌های آلودگی (C_f) و (I_{poll}) به صورتمیانگین، حداکثر و حداقل و مقادیر (PI) و (C_p) کل در جدول ۲ برای فلزات سنگین ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

متغیرها	سرب	آهن	روی	نیکل	کروم	کادمیوم
میانگین	۱/۴۸	۰/۳۷	۰/۷۱	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۱۹
فاکتور آلودگی (C_f)	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۳۸	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱۴
حداکثر	۷/۸۰	۰/۵۱	۳/۳۰	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۴۷
میانگین	۰/۳۷	-۱/۴۹	-۰/۶۷	-۳/۰۵	-۵/۰۲	-۲/۴۲
شدت آلودگی (I_{poll})	-۴/۰۴	-۴/۳۸	-۱/۳۶	-۴/۱۳	-۶/۴۵	-۲/۸۸
حداکثر	۲/۹۶	-۰/۹۵	۱/۷۲	-۲/۳۹	-۲/۰۴	-۱/۱۰
درجه آلودگی (PI)	۵/۷۰	۰/۵۷	۳/۳۳	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۴۸
آلودگی بالقوه (C_p)	۷/۸۱	۰/۵۲	۳/۳۰	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۴۷

هستند. میانگین شاخص (PLI) نمونه‌های خاک مورد مطالعه نیز ۰/۲۴ محاسبه شد. با توجه به اینکه این میزان پایین‌تر از ۰/۵ است، می‌توان عنوان نمود که محیط منطقه مورد مطالعه نیازی به اقدامات اصلاحی شدید ندارد. حداکثر و حداقل میزان این شاخص به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۱۲ بود.

۳،۳. یافته‌های آماری (همبستگی پیرسون^۱،تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۲، خوشه‌بندی سلسله مراتبی^۳)

در جدول ۳ ضرایب همبستگی پیرسون متغیرهای مورد مطالعه در خاک محدوده مورد مطالعه و سطوح معنی‌داری‌شان ($p < 0.01$) ارائه شده است.

غلظت فلز روی رابطه مثبت معنی‌دار قابل توجهی با کادمیوم و رابطه منفی معنی‌داری با درصد شن موجود در خاک نشان داد ($P < 0.01$). پیش از این نیز وجود رابطه مثبت معنی‌دار عناصر روی با کادمیوم به دلیل ارتباط تنگاتنگ ژئوشیمیایی گزارش شده بود، به طوری که خاک‌های آلوده به روی در عمل به کادمیوم نیز آلوده

همان‌گونه که در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد، حداکثر میزان شاخص فاکتور آلودگی (C_f) مربوط به فلز سرب (۷/۸۰) و حداقل مربوط به فلز کروم (۰/۰۱) بود. با توجه به طبقه‌بندی این شاخص، به جز برای عنصر سرب که میزان C_f آلودگی متوسطی را در ۸۶/۶۶ درصد از نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه نشان داد، مقادیر این شاخص برای سایر عناصر آلودگی اندکی را در خاک نشان داد. علاوه بر این، حداکثر شاخص شدت آلودگی (I_{poll}) نیز مربوط به عنصر سرب (۰/۳۷) و حداقل مربوط به عنصر کروم (-۶/۴۵) بود. با توجه به طبقه‌بندی این شاخص نیز تنها از نظر عنصر سرب، محیط غیر آلوده تا با آلودگی متوسط معرفی شد و مقادیر سایر عناصر نشانگر محیط غیر آلوده بود. حداکثر مقدار شاخص درجه آلودگی (PI) نیز در این مطالعه مربوط به فلز سرب (۵/۷۰) و پس از آن مربوط به روی (۳/۳۳) بود که با توجه به طبقه‌بندی (PI)، سطح بالای آلودگی را نشان دادند. این در حالی است که سایر عناصر در طبقه ۱ قرار گرفته که نشان‌دهنده عدم آلودگی محیط مطالعه به این عناصر است. نتایج مشابهی نیز برای شاخص آلودگی بالقوه مشاهده شد، به این معنا که عناصر سرب و روی، به طور بالقوه سبب آلودگی در خاک منطقه مورد مطالعه

¹Pearson Correlation²Principal Component Analysis (PCA)³Hierarchical Cluster Analysis (HCA)

مثبت معنی‌داری بین سرب با کروم به دست آمد. همچنین درصد سیلت و رس خاک با EC رابطه مثبت معنی‌داری نشان داد. با این وجود، غلظت کادمیوم با درصد شن و درصد سیلت خاک با درصد شن و pH رابطه منفی معنی‌دار بالایی را نشان داد.

هستند (Erfanmanesh & Afyouni, 2008). همچنین این موضوع نیز اثبات شده است که مقادیر روی به میزان زیادی با بافت خاک همبسته است و معمولاً در خاک شنی سبک در پایین‌ترین مقدار هستند (Kabata-Pendias, 2011). علاوه بر این، همبستگی

جدول ۳. ضرایب همبستگی پیرسون متغیرهای مورد مطالعه

عناصر	نیکل	روی	آهن	سرب	کروم	کادمیوم	pH	EC	درصد مواد آلی	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن
نیکل	۱											
روی	۰/۱۱۲	۱										
آهن	۰/۳۲۷*	-۰/۱۱۸	۱									
سرب	۰/۰۸۹	۰/۲۹۵*	-۰/۲۳۸	۱								
کروم	۰/۱۱۲	-۰/۰۵۷	۰/۰۹۹	۰/۷۵۱**	۱							
کادمیوم	-۰/۰۵۳	۰/۳۴۹**	-۰/۰۵۶	۰/۰۳۶	-۰/۰۰۵	۱						
pH	-۰/۰۷۳	-۰/۰۶۲	-۰/۰۹۲	-۰/۱۰۴	-۰/۲۳۳	-۰/۰۷۸	۱					
EC	۰/۲۴۵	۰/۰۱۲	۰/۱۷۶	-۰/۰۸۱	۰/۰۸۸	-۰/۱۰۳	۰/۵۴۲	۱				
درصد مواد آلی	۰/۲۸۶**	۰/۰۵۰	۰/۱۰۰	۰/۰۸۷	-۰/۰۶۴	-۰/۰۸۱	-۰/۰۱۸	-۰/۰۳۴	۱			
درصد رس	-۰/۰۵۸	-۰/۰۳۲	-۰/۱۳۶	-۰/۱۶۱	-۰/۰۸۴	-۰/۰۴۳	-۰/۱۱۲	۰/۳۰۶**	-۰/۱۱۲	۱		
درصد سیلت	۰/۰۲۶	۰/۰۵۶	-۰/۰۹۵	-۰/۰۴۳	-۰/۰۵۸	۰/۰۶۷	-۰/۲۶۵**	۰/۲۸۹**	-۰/۰۵۵	۰/۴۴۶**	۱	
درصد شن	-۰/۰۵۵	-۰/۴۲۴**	۰/۰۷۶	۰/۰۲۷	۰/۰۷۰	-۰/۵۴۹**	۰/۱۷۰	-۰/۱۷۴	۰/۰۶۷	-۰/۳۶۵**	-۰/۴۹۹**	۱

** ضریب همبستگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. * ضریب همبستگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

شده است. علت استفاده از شاخص C_f در این مطالعه برای تحلیل PCA است که این شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها، شاخص جامع‌تری است، به طوری که حتی شاخص‌های PI و PLI نیز از این شاخص مشتق گردیده‌اند، با این حال یافته‌های سایر شاخص‌ها مکمل این شاخص هستند.

این آزمون با استفاده از داده‌های شاخص C_f غلظت فلزات سنگین صورت گرفت. ۳ مؤلفه اصلی (PCs) با value eigen بزرگتر از ۱ استخراج شد. به عبارتی PCA منجر به کاهش ابعاد اولیه مجموعه داده‌ها به ۳ جزء گردید که ۷۵/۷۹٪ تغییر داده‌ها را نشان داد؛ بنابراین، این ۳ فاکتور نقش مهمی در بیان چگونگی توزیع آلودگی

وجود رابطه معنی‌دار اندک غلظت آهن با نیکل و عدم وجود رابطه معنی‌دار با سایر عناصر نشان‌دهنده این است که احتمالاً این عنصر دارای منشأ انتشار متفاوتی نسبت به سایر عناصر است. علاوه بر این، در این پژوهش، آزمون PCA توسط چرخش واریماکس صورت گرفت. چرخش واریماکس به این علت استفاده می‌شود که چنین چرخش متعامدی، تعداد متغیرها با خاصیت بارگذاری بالا روی هر جزء را به حداقل می‌رساند؛ بنابراین تفسیر نتایج PCA را تسهیل می‌نماید. این روش متغیرها را در گروه‌هایی خوشه‌بندی نموده، به طوری که متغیرهایی که به یک گروه تعلق دارند با یکدیگر همبستگی بالایی دارند. نتایج PCA شاخص C_f فلزات سنگین در جدول ۴ نشان داده

سرب و کروم بر روی آن بارگذاری شده‌اند، ۲۹/۵۴٪ از واریانس را تفسیر و مؤلفه مهمی به حساب می‌آید.

فلزی در منطقه مورد مطالعه دارند. ضرایب مؤلفه‌های اصلی با دارا بودن همبستگی بالاتر از ۰/۷ معنی‌دار بود (قوی). به طور جزئی، مؤلفه اصلی ۱ (PC1) که دو عنصر

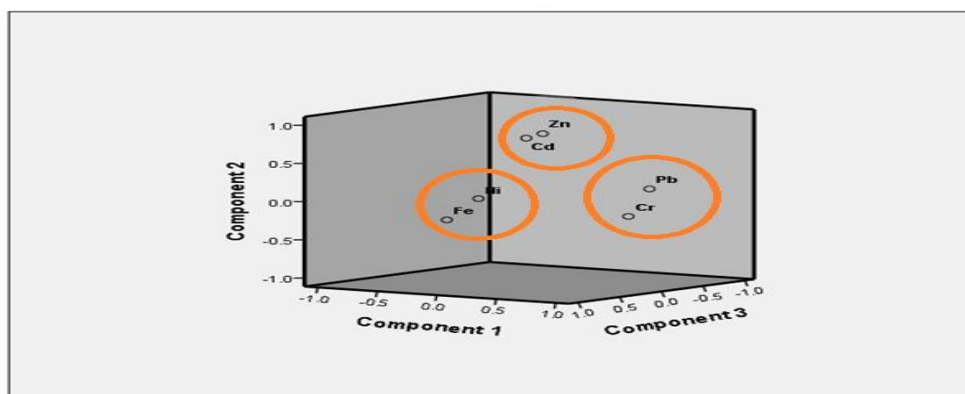
جدول ۴. بارگذاری PCA شاخص C_f فلزات سنگین بر اساس چرخش واریانس مؤلفه‌های اصلی

متغیرها	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم
سرب	۰/۹۳۹	۰/۱۹۹	-۰/۱۰۰
آهن	-۰/۱۲۱	-۰/۱۸۱	۰/۸۱۷
روی	۰/۱۲۰	۰/۸۵۵	۰/۰۱۰
نیکل	۰/۱۳۸	۰/۱۲۲	۰/۸۰۸
کروم	۰/۹۱۶	-۰/۱۳۲	۰/۱۱۹
کادمیوم	-۰/۰۶۲	۰/۷۶۹	-۰/۰۵۲
Eigen values	۱/۸۳	۱/۴۷	۱/۲۳
Explained variance (%)	۲۹/۵۴	۲۳/۷۹	۲۲/۴۵
Cumulative variance (%)	۲۹/۵۴	۵۳/۳۳	۷۵/۷۹

مقادیر بولد شده نشانگر بارگذاری‌های مثبت مؤلفه اصلی است.

PC3 که دارای بارگذاری مثبتی از نیکل و آهن است، ۲۲/۴۵٪ از واریانس را تفسیر می‌نماید. همبستگی بالای شاخص آلودگی C_f برای این دو فلز دلیلی بر منشأ مشترکشان است که از سنگ منشأ مادری است. به عبارتی دارای منشأ انسانی نیستند. نمودار سه بعدی چگونگی پراکنش متغیرها نسبت به عامل‌های استخراجی در شکل ۲ نشان داده شده است.

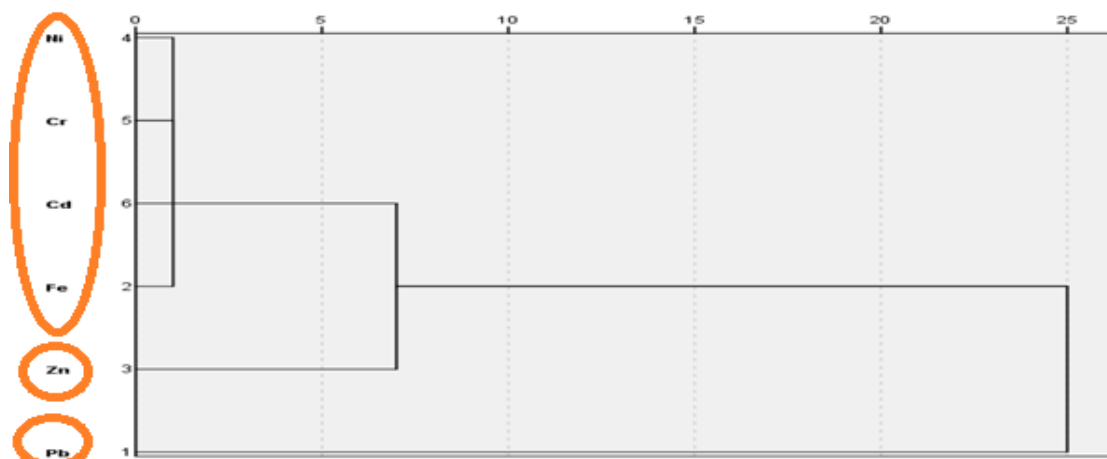
PC1 و شاخص آلودگی C_f فلزات سنگین کروم و سرب احتمالاً ناشی از فعالیت‌های انسانی هستند. PC2 که بارگذاری مثبتی از کادمیوم و روی را دارد، برای تفسیر ۲۳/۷۹٪ از واریانس به کار می‌رود. PC2 می‌تواند به عنوان مؤلفه انسانی و طبیعی در نظر گرفته شود، به طوری که در مطالعات مختلف این دو عنصر ناشی از تخلیه صنایع فولاد نیز معرفی شده‌اند. (Krishna & Govil, 2008; Yaylali-Abanuz, 2011).



شکل ۲. پراکنش متغیرها نسبت به عوامل استخراج شده

شبهات را با هم دارند. کمینه نمودن متوسط فاصله بین تمام زوج متغیرها (فلزات سنگین) در این پژوهش جهت این آزمون مدنظر قرار گرفت (شکل ۲).

علاوه بر این، در این پژوهش جهت تقسیم متغیرها به گروه‌های متجانس از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (HCA) استفاده شد. به طوری که متغیرهای هر گروه بیشترین شبهات و متغیرهای گروه‌های مختلف کمترین



شکل ۳. نمودار درختی تجزیه خوشه‌ای شاخص C_f فلزات سنگین

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف مجتمع فولاد کرمان نشان داد که میانگین غلظت همه فلزات سنگین به جز فلز سرب پایین‌تر از میانگین پوسته زمین است. بالاتر بودن غلظت فلز سرب در منطقه مورد مطالعه می‌تواند به علت فعالیت‌های انسانی و منشأ آنتروپوژنیک این فلز باشد. همچنان‌که Dai و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی خصوصیت و شناسایی منبع فلزات سنگین در ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر ($PM_{2.5}$) و ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرومتر (PM_{10}) ناشی از یک مجتمع فولاد و آهن در چین، سرب را به عنوان یکی از فلزات شاخص موجود در ذرات معرفی نمودند. در ایران نیز با بررسی تأثیر صنعت فولاد خوزستان در آلودگی خاک نواحی اطراف توسط Rastmanesh و همکاران (۲۰۱۳) همچنین تجزیه و تحلیل زمین آماری غلظت فلزات سنگین خاک‌های حومه سپاهان شهر توسط Dayani

با توجه به شکل ۲ در گام اول براساس شاخص (C_f)، عنصر سرب، در گام دوم عنصر روی و در گام سوم عناصر آهن، کادمیوم، کروم و نیکل جدا شدند. با توجه به این خوشه‌بندی مشخص شد که عناصر آهن، کادمیوم، کروم و نیکل بیشتر دارای منشأ طبیعی بوده، عنصر روی دارای منشأ انسانی و طبیعی و عنصر سرب دارای منشأ انسانی است.

نتایج ارزیابی مخاطره آلاینده‌های خاک با مقایسه استانداردهای آلودگی منابع خاک و راهنمای شماره ۲ با یافته‌های این مطالعه نیز نشان داد که در تمامی ۶۰ نقطه نمونه‌برداری شده اطراف مجتمع فولاد کرمان که پس از آمایش سرزمین مشخص شده بود تنها برای کاربری کشاورزی و مرتع قابل استفاده‌اند، مقادیر آلاینده‌های فلز سنگین خاک مورد بررسی بدون خطر یا با احتمال خطر است.

برای خاک‌های اطراف هستند.

نتایج آنالیز تحلیل مؤلفه‌های اصلی نیز شاخص فاکتور آلودگی این دو عنصر را در یک خوشه قرار داد؛ بنابراین می‌توان عنوان کرد که منشأ مشترک و یکسانی همچون صنایع فولاد کرمان عامل غنای این دو فلز است و منشأ طبیعی نقش اندکی دارد. با این حال این دو عنصر هم منشأ انسانی و هم منشأ طبیعی دارند. همچنین بر طبق این تحلیل، فلزات سرب و کروم در یک خوشه قرار گرفتند. با توجه به اینکه پیش از این نیز در مطالعه حاضر، فلز سرب یکی از آلاینده‌های صنایع فولاد معرفی شده بود و همچنین وجود همبستگی بالای این فلز با کروم، می‌توان بیان کرد که احتمالاً این دو عنصر دارای منشأ انسانی هستند. Li و همکاران (۲۰۱۳) و Qing و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مطالعات ارزیابی آلودگی فلزات سنگین، این عنصر را با منشأ انسانی معرفی کردند که نتیجه مطالعه حاضر، همسو با این نتایج است. لازم به ذکر است که مطالعات مختلفی نیز بر نقش فعالیت‌های انسانی در ایجاد کروم تأکید کرده‌اند. ارزیابی اثرات محیط‌زیستی و خطرات بهداشتی انسانی مکان-ویژه کروم در مجاورت یک کارخانه تولید فروآلیاژ در چین توسط Wang و همکاران (۲۰۱۱)، کروم را به‌عنوان یکی از آلاینده‌های شاخص این کارخانه معرفی کرد. همچنین آلودگی فلز سنگین خاک سطحی اطراف منطقه صنعتی گبز، ترکیه توسط Yaylali-Abanuz (۲۰۱۱) بر نقش فلز کروم در آلودگی خاک تأکید کرد. کروم پایدار در محیط‌زیست به صورت فرم‌های ۳ ظرفیتی Cr(III) یا شش ظرفیتی Cr(VI) وجود دارد. Cr(III) دارای حلالیت و در نتیجه سمیت اندک است، در حالی که Cr(VI) برای موجودات زنده به شدت سمی است. علاوه بر این، Cr(VI) به عنوان یک ماده سرطان‌زا شناخته شده است و شواهد کافی از سرطان‌زایی آن وجود دارد (Wang *et al.*, 2011). بنابراین پیشگیری از ورود این عنصر سنگین به خاک‌های اطراف منطقه مورد مطالعه ضروری است. بارگذاری مثبت نیکل و آهن در یک خوشه

همکاران (۲۰۰۶)، فلز سرب بیش از میزان استاندارد موجود در خاک یافت شد. همه این یافته‌ها تأیید کننده نتیجه پژوهش حاضر است. در این مطالعه حداکثر میزان شاخص‌های فاکتور آلودگی (C_f)، شدت آلودگی (I_{poll})، حداکثر درجه آلودگی (PI) و آلودگی بالقوه (Cp) نیز مربوط به عنصر سرب بود که بر نقش صنایع فولاد کرمان بر غنی‌شدگی فلز سرب در خاک محدوده تأکید دارد. سرب از طریق زنجیره غذایی یا توسط جذب از غبار خاک به سیستم متابولیسمی انسان و حیوان وارد می‌شود. در مطالعات مختلف، صنایع آهن- فولاد به عنوان یکی از منابع سرب معرفی شده‌اند (Krishna & Govil, 2008) که مؤید اهمیت پیشگیری از ورود عنصر سرب به محیط پیرامون صنایع فولاد کرمان است. البته لازم به ذکر است که میزان آلودگی حاصل از سرب با توجه به بررسی همه شاخص‌های مورد مطالعه در خاک متوسط بود. نتایج ارزیابی ریسک نیز مخاطره آلاینده‌های فلزی خاک و به‌طور ویژه سرب را در سطح بدون خطر یا با احتمال ایجاد خطر تعیین کرد. نتایج بیان شده نشان می‌دهد که علی‌رغم این که غلظت فلز سرب بالاتر از میانگین پوخته زمین است، ولی نیازی به اقدامات اصلاحی شدید ندارد. با این وجود با افزایش فعالیت این مجتمع، احتمال بالا رفتن سطح آلودگی وجود دارد. مطالعه حاضر نشان داد که بین غلظت روی و کادمیوم همبستگی وجود دارد. این موضوع می‌تواند دلیلی بر منشأ مشترک این دو فلز باشد. به‌طوری که در مطالعات مختلفی نیز به نقش صنایع فولاد در ایجاد این دو آلاینده فلزی اشاره شده است (Namuhani & Kimumwe, 2015; Li *et al.*, 2013; Dayani *et al.*, 2009). Doushanov (۲۰۰۳) با بررسی کنترل آلودگی در صنعت فولاد و آهن و Li و همکاران (۲۰۱۴) با مروری بر آلودگی فلزات سنگین معادن چین، آلودگی و مخاطرات بهداشتی، بیان نمودند که فرایند تولید فولاد می‌تواند منجر به انتشار وسیع گرد و غبار و مواد زائد جامد حاوی فلزات سنگین سمی گردد که منابع مهمی از آلاینده‌های فلزی به‌خصوص روی و کادمیوم

تا حدودی مناسب بوده است، با این حال پایش آلاینده‌های محیطی بایستی در بازه‌های زمانی مشخصی به طور مداوم ادامه یابد. علاوه بر این، بررسی تعداد بیشتری از عناصر که احتمال انتشارشان از این صنایع وجود دارد، ضروری است. سایر پیشنهادات کاربردی عبارتند از: ۱- استفاده از گاز طبیعی و انرژی الکتریکی به عنوان منابع انرژی پاک جهت کلیه قسمت‌های آلاینده هوا (ذوب، انبارهای مواد اولیه، اتاقک‌های برش)، ۲- بررسی وضعیت فلزات سنگین در پوشش گیاهی منطقه، ۳- استفاده از روش‌های کمی برای تعیین منشأ آلاینده‌ها، ۴- استفاده از سیستم‌های کنترل آلودگی هوا به ویژه سیستم‌های مرطوب مانند اسکرابرها به همراه سایر سیستم‌ها نظیر الکترو فیلترها، فیلترهای کیسه‌ای و سیکلون‌ها.

به عنوان مؤلفه‌های اصلی، نیز تأکیدی بر منشأ مشترک این دو فلز است. در مطالعه حاضر منشأ این دو فلز طبیعی معرفی شد. دلیل این موضوع، میزان اختلاف بالای بین غلظت این دو عنصر در نمونه‌ها با میانگین استاندارد پوسته زمین است. به عبارتی میانگین غلظتی این دو عنصر بسیار پایین‌تر از میانگین پوسته زمین است. نتایج آزمون خوشه‌بندی سلسله مراتبی نیز در مطالعه حاضر همسو با نتایج آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی بود. نتایج حاصل از این آنالیز نیز نشان داد که مجتمع فولاد کرمان اثر اندکی بر غنای فلزات سنگین در خاک محدوده مورد مطالعه دارد. در واقع این صنعت سطوح آلودگی کم تا متوسطی را ایجاد کرده و منطقه مورد مطالعه نیازی به اقدامات اصلاحی شدید ندارد. این نتیجه نشان می‌دهد که اقدامات کنترل آلودگی مجتمع صنعتی فولاد کرمان

References

- Abidemi, O.O., 2013. Accumulation and contamination of heavy metals in soil and vegetation from industrial area of IKIRUN, OSUN State, Nigeria. *Global Journal of Pure and Applied Chemistry Research* 1(1): 25-34.
- Aprile, F.M., Bouvy, M., 2008. Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the Tapacurá river basin, Northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Aquatic Sciences and Technology* 12, 1-8.
- Dai, Q.L., Bi, X.H., Wu, J.H., Zhang, Y.F., Wang, J., Xu, H., et al., 2015. Characterization and source identification of heavy metals in ambient PM10 and PM2.5 in an Integrated Iron and Steel Industry Zone Compared with a Background site. *Aerosol and Air Quality Reserch* 15: 875-887.
- Davaulter, V., Rognerud, S., 2001. Heavy metal pollution in sediments of the Pasvik River drainage. *Chemosphere* 42, 9-18.
- Dayani, M., Mohammadi, J., Naderi, M., 2009. Geostatistical analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Esfahan). *Journal of Water and Soil* 23(4): 67-76 (in Persian).
- Dolezalova Weissmannova, H., Pavlovsky, J., Chovanec, P. 2014. Heavy metal contamination on Urban soil in Ostrva, Czech Republic: Assessment of metal pollution and using principal component analysis, *Journal Environment Research* 9(2):683-696.
- El-Demerdash, F.M., Elgamy, E.J., 1999. Biological effects in Tilapia nitotica Fish as indicator of pollution by cadmium and mercury. *Int. J. Environ. Health Res* 9: 173.
- Erfanmanesh, M., Afyuni, M. Environmental pollution. 1th edition: Arkan pub. 318 p. (in Persian).
- Fent, K., 2004. Ecotoxicological effects at contaminated sites. *Toxicology* 205:223-240.
- Ghasemzadeh, H., 2010. Understanding the iron and steel industry. 1th edition: Thinking pub. 340 p. (in Persian).
- Hakanson, L., 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimento logical approach. *Water Research* 14: 975-1001.
- Kabata-Pendis, A. Trace elements in soils and plants. 4th edition: CRC Press, Taylor & Francis Group pub. 534 p.

- Karbassi, A. R., Monavari, S. M., Nabi Bidhendi, Gh. R., Nouri, J., and Nematpour, K. 2008. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environmental Monitoring and Assessment* 147, 107-116.
- Krishna, A.k., Govil, P.K., 2008. Assessment of heavy metal contamination in soils around Manali industrial area, Chennai, Southern India. *Environ Geol* 54: 1465-1472.
- Li X, Liu L, Wang Y, Luo G, Chen X, Yang X, et al. Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China. *Geoderma*. 2013; 192: 50-58.
- Likuku, A.S., Mmolawa, K.B., Gaboutloeloe, G.K., 2013. Assessment of heavy metal enrichment and degree of contamination around the Copper- Nickel mine in the Selebi Phikwe Region, Eastern Botswana. *Environmental and Ecology Research* 1(2): 32-40.
- Lin, H., Wong, S., Li, G., 2004. Heavy metal content of rice and shellfish in Taiwan. *J. Food Drug Anal* 12: 167-174.
- Mico, C., Recatala. L., Peris, M., Sanchez, J., 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere* 65: 863-872.
- Monavari, M., 2002. An evaluation of environmental impact assessment in steel industry. Isfahan, Isfahan Zob Ahan Co. (in Persian).
- Müller, G., 1969. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108–118.
- Namuhani, N., Kimumwe, C. 2015. Soil contamination with heavy metals around Jinja steel Rolling mills in Jinja municipality, Uganda. *J Health Pollution* 9: 61-67.
- Niencheski, L.F.H., Baraj B, Franca, R.G., Mirlean, N., 2002. Lithium as a normalizer for the assessment of an thropogenic metal contamination of sediment of the southern area of patos lagoon. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 5: 473- 483.
- Qing, X., Yutong, Z., Shenggao, L., 2015. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 120: 377-385.
- Qingjie, G., Jun, D., Yunchuan, X., Qingfei, W., Liqiang, Y., 2008. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a casstudy in parks of Beijing. *J. China Univ. Geosci* 19, 230–241.
- Rastmanesh, F., Zarosvandi, A., Hormozinejad, F. 2013. An investigation on Khuzestan steel industry in soil pollution around it. 32th meeting of the first International Congress of Earth Sciences: Tehran, Iran; (in Persian).
- Rezvani, M., Ghorbanian, A.A., Nojavan, M., Sahba, M. 2014. Evaluation of heavy metal pollution (Cd, Co, Pb, Zn and Mn) in Eshtehard watershed. *Environmental science and technology* 1(1) (in Persian).
- Sabouhi, M., Nejadkoorki, F., Azimzadeh, H.R., Ali-Taleshi, M.S., 2016. Heavy metal pollution in the floor dust of Yazd Battery Repairing workshops in 2014. *Iran J. Health & Environ* 9(1): 127-138 (in Persian).
- Selinus, O., 2005. *Essentials of Medical Geology Impacts of the Natural Environment on Public Health*. Elsevier Academic Press, 826 pp.
- Shah, M.T., Begum, S., Khan, S., 2010. Pedo and biogeochemical studies of mafic and ultramfic rocks in the Mingora and kabal areas, Swat, Pakistan. *Environment earth Science* 60: 1091-1102.
- Soil resources quality standard and it's guidelines. 2016. Deputy of Human Environment. Office Soil and Water. 166 p.
- Solgi, E., Esmaili-Sari, A., Riyahi Bakhtiari A. 2013. Evaluation of mercury contamination in soils of industrial estates of Arak city. *Journal of Health in The Field* 1(2), 1-8.
- Thomilson, D.C., Wilson, D.J., Harris, C.R., Jeffrey, D.W., 1980. Problem in heavy metals in estuaries and the formation of pollution index. *Helgol. Wiss. Meeresunlter* 33 (1–4), 566–575.
- Van Straalen, N.M., 2002. Assessment of soil contamination: a functional perspective. *Biodegradation* 13:41–52.
- Wang, Y.Q., Zhang, X.Y., Arimoto, R., Cao, J.J., shen, Z.X., 2005. Characteristics of carbonate content and carbon and oxygen isotopic composition of northern china soil and dust aerosol and its application to tracing dust sources. *Atmos. Environ* 39: 2631- 2642.
- Wang, Z., Chen, J., Chai, L., Yang, Z., Huang, S., Zheng, Y., 2011. Environmental impact and site-specific human health risks of chromium in the vicinity of a ferro-alloy manufactory, China 190: 989-985.

Weber, J., karczewska, A., 2004. Biogeochemical processes and cycling of elements in the environment. *Geoderma* 122: 2-4.

Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochemical et Cosmochimica Acta* 59 (7): 1217-1232.

Yalcin, M.G., Battaloglu, R., Ilhan, S., 2007. Heavy metal sources in sultan marsh and its neighborhood, kayseri, Turkey. *Environment Geol* 53: 399-415.

Yaylalı-Abanuz., 2011. Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey. *Microchemical Journal* 99: 82-92.