

Status, Source and Environmental Pollution Assessment of Some Heavy Metals in Surface Soils of Khuzestan Province

Vaziri A^{1,2}, Ghanavati N^{*2}, Nazarpour A³, Babaenejad T²

1. Department of Soil Science, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2. Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

3. Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

**Corresponding author.* Tel: +989163721558, Fax: +986133348376, E-mail: Ghanavati.navid2014@gmail.com

Received: Jul 29, 2019

Accepted: Oct 19, 2020

ABSTRACT

Background & objectives: High concentrations of heavy metals in the soil are considered as a serious risk to human health and the environment. The aim of this study was to investigate the risk of heavy metals (Pb, Ni, Zn, Cu, Cd, Cr, As, V and Co) in surface soils of Khuzestan province (2018).

Methods: This research is an experimental-applied study. For this purpose, 87 samples of surface soils were collected from Khuzestan province and analyzed using Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). The level of heavy metals (Pb, Ni, Zn, Cu, Cd, Cr, As, V and Co) pollution was estimated based on environmental indicators. Also, the spatial pattern of metal concentrations in surface soils was prepared in GIS (10.2).

Results: The average concentration of heavy metals of As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V and Zn was 3.22, 0.31, 9.46, 42.67, 23.92, 66.34, 9.09, 35.56 and 46.66 (mg/kg) respectively. The average concentrations of all heavy metals other than cobalt were higher than the baseline value (concentration in the earth's crust). Based on the average value of the enrichment factor (EF), the heavy metals of Co, Cd and Zn have a high contamination. According to the comprehensive evaluation of Nemrow integrated pollution index (NIPI), 40.98% of the samples were in medium pollution and 19.54% of the samples had high pollution.

Conclusion: The results of environmental indicators showed that the source of pollution of studied metals was anthropogenic such as traffic, burning fossil fuels, and uncontrolled use of fertilizers, urban wastewater entering the soil, the presence of oil industries in the region and the presence of gases released from the metal industry like the steel industry in the study area.

Keywords: Heavy Metals; Surface Soil; Environmental Indicators; Khuzestan

ارزیابی ریسک اکولوژیک و تعیین منابع آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان خوزستان

آزاده وزیری^۱، نوید قنوازی^{۲*}، احد نظریور^۳، تیمور بابایی نژاد^۲

۱. گروه خاکشناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳. گروه زمین شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۶۳۷۲۱۵۵۸ فکس: ۰۶۱۳۳۴۸۳۷۶ ایمیل: Ghanavati.navid2014@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی خاک به فلزات سنگین به عنوان یک خطر جدی برای سلامت انسان و محیط زیست به شمار می‌آید. هدف از مطالعه حاضر بررسی خطر فلزات سنگین (سرب، نیکل، روی، مس، کادمیوم، کروم، آرسنیک، وانادیوم و کبالت) در خاک‌های سطحی استان خوزستان (سال ۱۳۹۲) بود.

روش کار: این تحقیق یک مطالعه تجربی- کاربردی بود. جهت نیل به هدف تعداد ۸۷ نمونه از خاک‌های سطحی استان خوزستان برداشت و با استفاده از طیف سنجی جرمی پلاسمایی جفت شده القایی (ICP-MS) آنالیز گردید. سطح آلودگی فلزات سنگین (سرب، نیکل، روی، مس، کادمیوم، کروم، آرسنیک، وانادیوم و کبالت) بر اساس شاخص‌های محیط زیستی برآورد شد. همچنین الگوی مکانی غلظت فلزات در خاک‌های سطحی در محیط GIS-10.2 تهیه شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، وانادیوم و روی به ترتیب ۳/۲۲، ۰/۳۱، ۰/۴۰، ۹/۴۰، ۴۲/۶۷، ۲۳/۹۲، ۶۶/۳۴، ۹/۰۹، ۳۵/۵۶ و ۴۶/۶۶ (mg/kg) بدست آمد. میانگین غلظت تمام فلزات سنگین به جز کبالت چندین برابر بیشتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) بود. بر اساس میانگین فاکتور غنی شدگی (EF) در منطقه مورد مطالعه، فلزات سنگین کبالت، کادمیوم و روی دارای آلودگی بسیار بالایی بودند. بر اساس ارزیابی شاخص جامع آلودگی نمر و (NIPI) ۴۰/۹۸ درصد نمونه ها در سطح آلودگی متوسط و ۱۹/۵۴ درصد نمونه‌ها دارای درجه آلودگی بالا گزارش شدند.

نتیجه‌گیری: نتایج بدست آمده از شاخص‌های محیط زیستی نشان داد که منبع آلودگی فلزات مورد مطالعه فعالیت‌های انسانی از قبیل ترافیک، سوختن سوخت‌های فسیلی، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، ورود فاضلاب‌های شهری به خاک، وجود صنایع نفتی در منطقه و حضور گازهای خارج شده از صنایع فلزی نظیر صنایع فولاد در منطقه مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، خاک سطحی، شاخص‌های محیط زیستی، خوزستان

پذیرش: ۹۹/۷/۲۸

دریافت: ۹۸/۵/۷

مقدمه

آلاینده‌های مختلف از قابلیت خودپالایی برخوردار می‌باشد، اما کثرت و فزونی مواد آلوده‌کننده در اغلب حالات این خودپالایی را از آن سلب نموده و سبب تغییرات اساسی در اکوسیستم و نابودی بسیاری از گونه‌های جانوری و غیرقابل استفاده شدن آب، هوا

خاک مجموعه با ثباتی است که با دیگر اجزای محیط زیست مانند هوا و آب در تماس است، از این رو آلودگی‌ها می‌توانند در آب‌های سطحی و زیرزمینی و هوا گسترش پیدا کنند (۱). گرچه طبیعت در مقابل

و خاک می‌شود (۲). یکی از مهمترین انواع آلودگی در خاک، آلودگی آن به فلزات سنگین است که به دلیل گسترش شهرنشینی و صنعتی‌شدن رو به فزونی بوده و توجه زیادی را در سراسر جهان به خود جلب کرده است (۳). حضور بیش از حد مجاز فلزات سنگین در خاک، آن را به یک آلاینده بسیار مهم تبدیل کرده است (۴). از طرفی منابع فلزات سنگین در محیط زیست متنوع بوده و عوامل مؤثر بر توزیع، جذب و واجذب، انتقال و سمیت آنها نیز متعدد است (۵). اما به طور کلی، منابع این فلزات عمدتاً ناشی از تجزیه مواد مادری خاک یا فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی هستند (۶). فلزات سنگین از آلاینده‌های پایدار و بادوام محیط زیست به‌شمار می‌آیند، چون نمی‌توانند مانند آلوده‌کننده‌های آلی از طریق شیمیایی یا فرایندهای زیستی در طبیعت تجزیه شوند. یکی از نتایج مهم پایداری این فلزات تجمع زیستی فلزات در زنجیره غذایی می‌باشد. در نتیجه این فرایند میزان فلزات در اعضای بالاتر در زنجیره غذایی می‌تواند تا چندین برابر آنهایی که در آب یا هوا یافت می‌شوند، برسد و در نتیجه تهدیدی بر سلامتی گیاهان و جانورانی که از این مواد غذایی استفاده می‌کنند، محسوب می‌شود (۷،۸). از مهمترین اختلالات و عوارض فلزات سنگین می‌توان به سرطان‌زایی، اثر بر سیستم اعصاب مرکزی و محیطی، اثر بر روی پوست، اثر بر روی سیستم خون‌ساز، اثر بر سیستم قلبی و عروقی، آسیب به کلیه‌ها و تجمع در بافت‌ها اشاره کرد (۹،۱۰). امروزه مطالعات زیادی در مورد غلظت و پراکندگی فلزات سنگین انجام شده است که تعداد اندکی از این مطالعات مربوط به کشورهای توسعه یافته است (۱۱،۱۲). مطالعات انجام شده بر روی خاک‌های استان مازندران نشان داد که غلظت فلزات سرب، روی و مس تحت تاثیر فعالیت‌های شهری و کادمیم و نیکل بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی مانند مواد مادری و نیز فعالیت‌های کشاورزی هستند. همچنین با توجه به کلاس‌های ارزیابی فاکتور آلودگی،

غالب نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط به فلزات سنگین بودند (۱۲). مطالعات در اراضی مرکزی استان زنجان نشان داد که بالاترین میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات سنگین کادمیوم، روی، سرب و مس در کاربری شهری اتفاق افتاده است و همچنین بالاترین شاخص آلودگی مربوط به کادمیوم و روی به ترتیب در کاربری اراضی شهری، کشاورزی و مرتع بوده است (۱۳). ارزیابی سطح آلودگی و پتانسیل ریسک اکولوژیکی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی میدان نفتی اهواز نشان داد که شاخص جامع آلودگی نمره سطح آلودگی شدید برای کلیه فلزات به جز وانادیوم را نشان داد. همچنین در بررسی پتانسیل ریسک اکولوژیک فلزات مطالعه شده، وانادیوم، کادمیوم، روی و کروم دارای ریسک اکولوژیک پایین، مس دارای ریسک اکولوژیک متوسط و سرب و نیکل دارای ریسک اکولوژیک قابل توجه است (۲). بررسی خاک‌های استان خوزستان از نظر میزان آلودگی به فلزات سنگین از این جهت که این استان پتانسیل بسیار بالایی برای تولیدات کشاورزی و باغی داشته و کاربرد کودهای شیمیایی، کمپوست و لجن فاضلاب در این اراضی رو به افزایش است و از طرفی صنایع مختلف از جمله پتروشیمی، نفت، صنایع فولاد و صنایع مرتبط با آنها نیز در این استان در حال فعالیت و گسترش هستند، حائز اهمیت است.

لذا با توجه به مطالب فوق‌الذکر و اهمیت محیط زیستی این مساله لزوم بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در استان خوزستان احساس شده است. بدین‌ترتیب هدف از پژوهش حاضر: (۱) تعیین غلظت فلزات سنگین (سرب، نیکل، روی، مس، کادمیوم، کروم، آرسنیک، وانادیوم و کبالت) در خاک‌های سطحی استان خوزستان، (۲) ارزیابی خطر فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان خوزستان با استفاده از شاخص‌های محیط زیستی و تعیین منابع احتمالی آلودگی این فلزات و (۳) تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین موجود در خاک‌های سطحی استان

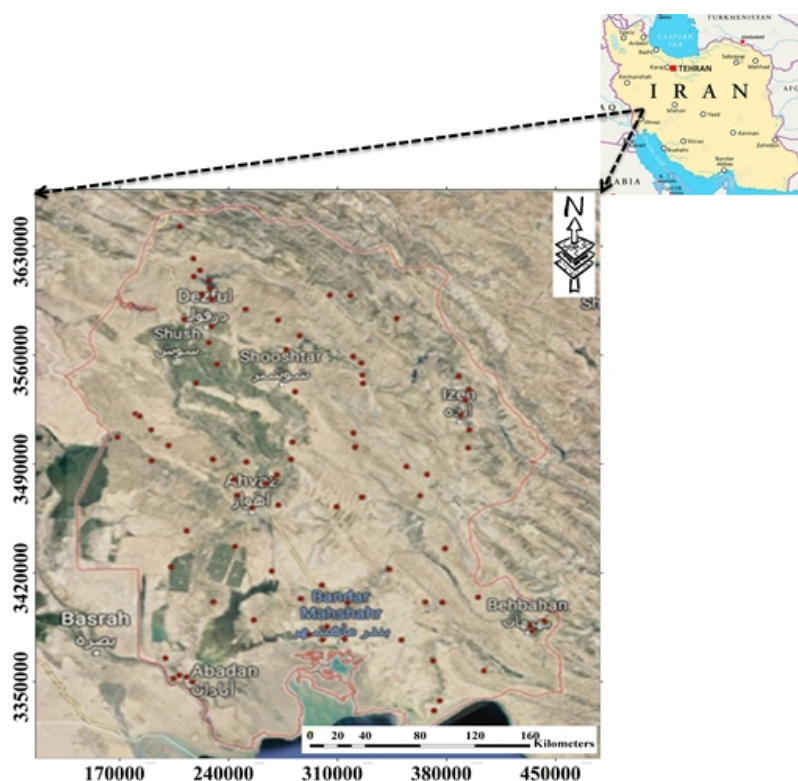
خوزستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بود.

روش کار

منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۰۵۷ کیلومتر مربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا، در جنوب غربی ایران و در شمال غربی خلیج فارس واقع شده است. استان خوزستان از شمال به استان لرستان، از غرب با کشور عراق، از جنوب با خلیج فارس، از شرق با استان کهگیلویه و بویراحمد، از

شمال شرق با استان چهارمحال و بختیاری، از جنوب شرق با استان بوشهر و از شمال غرب با استان ایلام هم مرز است. بر اساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ جمعیت استان برابر با ۴۷۱۰۵۰۹ نفر بوده است. این استان دارای ۲۷ شهرستان، ۷۶ شهر، ۶۷ بخش و ۱۴۴ دهستان می‌باشد. وجود منابع آب‌های سطحی فراوان (حدود ۳۳ درصد منابع آب سطحی کشور)، اراضی مسطح و مناسب توسعه کشاورزی (حدود ۱/۵ میلیون هکتار)، استقرار صنایع نفت و گاز، فولاد و پتروشیمی نقش کلیدی به این استان در عرصه ملی داده است (۱۴).



شکل ۱. نقشه پراکندگی نقاط نمونه برداری در خاک‌های سطحی استان خوزستان

نمونه برداری

این تحقیق یک مطالعه تجربی- کاربردی بود که در مقیاس صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفت. در این مطالعه به منظور ارزیابی ریسک اکولوژیک برخی از

فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان خوزستان، نمونه‌برداری در فصل خشک در خردادماه ۱۳۹۷ انجام شد. روش نمونه‌برداری بدین صورت بود که ابتدا با استفاده از توزیع نمونه‌برداری تصادفی در

سیستم اطلاعات جغرافیایی، محل‌های پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه تعیین شد. سپس با اصلاح موقعیت هر کدام از محل‌های نمونه‌برداری موقعیت جغرافیایی (UTM) هر کدام از نقاط به دستگاه سیستم موقعیت جغرافیایی (GPS) جهت دستیابی سریع به محل نمونه‌برداری استفاده شد. نقاط به گونه‌ای انتخاب شدند که بتواند کل منطقه مورد مطالعه را پوشش دهند. نمونه‌ها به صورت ترکیبی (مخلوط ۳ نمونه با هم، با فاصله ۵۰ m تا ۱۰۰) از عمق صفر تا ۲۰ سانتیمتری از سطح خاک و با وزن تقریبی ۵۰۰ گرم برداشت و در مجموع ۸۷ نمونه تهیه گردید. نمونه‌ها پس از خارج نمودن آلودگی‌های سطحی در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در هوای اتاق، خشک شدند، سپس کوبیده شده و از الک پلی اتیلنی مش ۲۰۰ گذرانده شدند (۱۵).

اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین

تمام نمونه‌های خاک با استفاده از هضم مایکروویو و با استفاده از محلول $\text{HCl-HNO}_3\text{-HF}$ انجام گرفت (۱۶). اندازه‌گیری فلزات سنگین با روش طیف سنجی جرمی پلاسمایی جفت شده القایی (ICP-MS) (ELAN9000, Perkin-Elmer, USA) پذیرفت. روش مورد استفاده برای تهیه محلول‌های مخلوط به شرح زیر بود: حدود ۰/۱ گرم نمونه خاک، حجم کافی از محلول هضم‌کننده مواد جامد که شامل: ۴ میلی لیتر HNO_3 ، ۰/۱ میلی لیتر HCl و ۱ میلی لیتر HF که به ظروف تفلون افزوده شد و هضم نمونه‌ها در سیستم مایکروویو انجام شد. پس از هضم نمونه، ظروف تفلون بر روی صفحه گرمایی سرامیکی قرار داده تا خشک شوند. مواد باقیمانده نهایی در HNO_3 ۰/۱۴ مولار حل شدند و سپس به بطری‌های ۵۰ میلی لیتری منتقل شدند و در نهایت در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. عنصر رودیوم (Rh) به عنوان استاندارد داخلی مورد استفاده قرار گرفت (۱۷). غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های محلول و

شاهد با استفاده از طیف‌سنجی جرمی پلاسمایی جفت شده القایی (ELAN9000, Perkin-Elmer, USA) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. تضمین کیفیت (QA) و کنترل کیفیت (QC) با استفاده از مواد مرجع استاندارد، GSS-1، GSS-2، GSS-3 و GSS-8 (خاک استاندارد ژئوشیمیایی) انجام شد. مقدار درصد بازیافت داده‌ها برای خاک استاندارد مورد استفاده برای عناصر As, Co, Cr, Cd, Zn, Cu, Pb, Ni و V به ترتیب ۱۰۲-۹۷، ۱۰۵-۹۵، ۱۰۶-۹۲، ۹۶-۱۰۸، ۹۵-۱۰۳، ۹۴-۱۰۷، ۹۷-۱۰۲، ۹۴-۱۰۳، ۹۶-۱۱۰ و ۹۷-۱۰۲ درصد بود. در هنگام هضم به همراه هر گروه از نمونه‌ها یک نمونه شاهد تهیه شده و همراه سایر نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. مقدار حد تشخیص برای فلز سرب، مس و کادمیم (۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم)، روی و نیکل (۰/۰۲ میلی گرم بر کیلوگرم)، کروم (۰/۰۱ میلی گرم بر کیلوگرم) و آرسنیک (۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم) بود.

تجزیه و تحلیل آماری

جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف (K-S) استفاده گردید. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از بسته نرم افزار SPSS-20 و محاسبات شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

تعیین سطح آلودگی

به منظور ارزیابی و تعیین سطوح آلودگی خاک به فلزات سنگین از شاخص‌های زیست محیطی مختلفی استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر از شاخص‌های زیر استفاده گردید:

- فاکتور غنی‌شدگی^۱

فاکتور غنی‌شدگی فرمولی جهان شمول و ابزاری ساده و آسان برای ارزیابی درجه غنی‌شدگی و مقایسه آلودگی‌های مختلف زیست محیطی است. این فاکتور، سطح آلودگی فلزات در خاک را نشان می‌دهد و شاخص مفیدی برای جداکردن منابع

¹ Enrichment Factor

طبیعی و انسانی فلزات از یکدیگر می‌باشد. به عبارت دیگر فاکتور غنی‌شدگی، برای بررسی آثار احتمالی فعالیت‌های انسانی بر غلظت فلزات سنگین استفاده می‌شود و از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (۲۰-۱۸).

$$EF = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right) Sample}{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right) Background} \quad (1)$$

که در معادله (۱) $\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right) Sample$ نسبت غلظت فلز مورد نظر (اندازه گیری شده در خاک) به غلظت فلز زمینه در نمونه مورد مطالعه، $\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right) Background$ نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مبنا در مقادیر زمینه می‌باشد. در این رابطه $EF =$ فاکتور غنی‌شدگی، $C_x =$ غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در نمونه خاک و $C_{ref} =$ غلظت عنصر مرجع است. در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی، عنصر مرجع می‌باید احتمال تغییرپذیری کمی داشته و منشأ کاملاً زمین‌شناسی داشته باشد. در تحقیقات زیست محیطی معمولاً از Al, Fe, Ti, Zr به عنوان عناصر مرجع استفاده می‌شود (۲۱). در تحقیق حاضر از عنصر Al به عنوان فلز مرجع استفاده شده است. درجه آلودگی فلزات سنگین، بر اساس فاکتور غنی‌شدگی در ۵ سطح تعریف می‌شود (۲۲). سطح آلودگی کم ($EF < 2$)، سطح آلودگی متوسط ($2 \leq EF < 5$)، سطح آلودگی زیاد ($5 \leq EF < 20$)، سطح آلودگی بسیار زیاد ($20 \leq EF < 40$) و سطح آلودگی به شدت زیاد ($EF \geq 40$).

- شاخص آلودگی^۱

شاخص آلودگی برای ارزیابی میزان آلودگی کاربرد دارد، فرمول آن در معادله ۲ اشاره شده است.

$$PI = \frac{C_n}{B_n} \quad (2)$$

C_n غلظت اندازه گیری شده در نمونه، B_n غلظت زمینه‌ای همان فلز سنگین در پوسته زمین، این شاخص در چهار گروه غیر آلوده ($PI \leq 1$)، آلودگی کم ($1 < PI \leq 2$)، آلودگی متوسط ($2 < PI \leq 3$) و آلودگی شدید ($PI > 3$) طبقه‌بندی می‌شود (۲۳).

- شاخص جامع آلودگی نمره^۲

این شاخص به صورت معادله ۳ بیان می‌شود:

$$NIPI = \sqrt{\frac{PI_{i \max}^2 + PI_{iave}^2}{2}} \quad (3)$$

$PI_{\max}$ ، ماکزیم مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین، و PI_{iave} ، میانگین مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین می‌باشد. مزیتی که این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر دارد این است که در این شاخص ریسک آلودگی برای همه فلزاتی که مورد مطالعه قرار می‌گیرد در منطقه مشخص می‌شود (۲۴). این شاخص در پنج سطح بدون آلودگی ($NIPI \leq 0.7$)، خطر هشدار آلودگی ($0.7 < NIPI \leq 1$)، سطح متوسط آلودگی (۳) $1 < NIPI \leq 2$ ، سطح بالای آلودگی ($NIPI > 3$) طبقه‌بندی می‌شود (۲۵).

یافته‌ها

بررسی غلظت فلزات سنگین

نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلز سنگین مورد بررسی در نمونه‌های خاک برداشت شده به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، محدوده غلظت عناصر آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، وانادیوم و روی به ترتیب بین: $50/6-2/40$ ، $43/2-0/25$ ، $16-5/5$ ، $26-75$ ، $12-122$ ، $38-120$ ، $5-41$ ، $5-56$ ، $24-165$ میلی گرم بر کیلوگرم بود. میانگین غلظت این عناصر به ترتیب: $3/22$ ، $0/31$ ، $9/40$ ، $42/67$ ، $23/92$ ، $66/34$ ، $9/09$ و $35/56$ میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد. کمترین و بیشترین میانگین غلظت فلزات مورد بررسی به ترتیب مربوط به کادمیوم و نیکل $0/31$ و $66/34$ میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد. غلظت تمام عناصر مورد مطالعه به غیر از کبالت

² Nemerow Integrated Pollution Index

¹ Pollution Index

مقادیری بیشتر از غلظت زمینه (غلظت در پوسته زمین) را نشان دادند.

جدول ۱. خلاصه‌ای از پارمترهای آماری غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم)

غلظت زمینه	کشیدگی	چولگی	حداکثر	حداقل	میانگین	فلزات سنگین
۲/۱	۰/۵۸	۲/۲۳	۶/۵۰	۲/۴۰	۳/۲۲	آرسنیک
۰/۰۲	۰/۰۴	۱/۰۹	۰/۴۳	۰/۲۵	۰/۳۱	کادمیوم
۱۰	۲/۶۹	۰/۷۴	۱۶/۰۰	۵/۰۰	۹/۴۰	کبالت
۹۸	۱۱/۸۹	۱/۰۳	۷۵/۰۰	۲۶/۰۰	۴۲/۶۷	کروم
۳۳	۱۳/۹۴	۴/۵۷	۱۳۲/۰۰	۱۲/۰۰	۲۳/۹۲	مس
۲۰	۲۰/۶۴	۰/۹۸	۱۲۰/۰۰	۳۸/۰۰	۶۶/۳۴	نیکل
۱۵	۶/۸۰	۳/۶۱	۴۱/۰۰	۵/۰۰	۹/۰۹	سرب
۶۰	۷/۰۸	۰/۵۶	۵۶/۰۰	۲۴/۰۰	۳۵/۵۶	وانادیوم
۲۸	۲۷/۰۸	۲/۹۳	۱۶۵/۰۰	۲۲/۰۰	۴۶/۶۶	روی

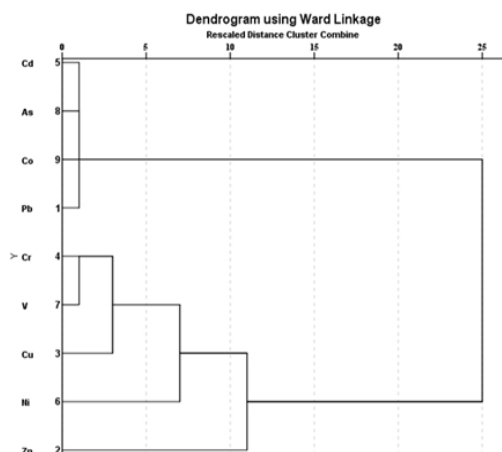
تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)

در این پژوهش، تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) به منظور درک رابطه بین فلز سنگین در خاک‌های سطحی استان خوزستان و تعیین منابع احتمالی آنها به کار گرفته شد. PCA برای تشخیص منابع احتمالی ۹ نوع فلز سنگین آلاینده در استان خوزستان انجام گرفته است نتایج حاصل از تحلیل مولفه‌های اصلی PCA برای غلظت فلزات سنگین نشان داد که دو عامل اصلی PC ۸۰ درصد از کل واریانس را تشکیل می‌دهند. شکل ۲ آنالیز مولفه‌های اصلی PCA را نشان می‌دهد. اولین مولفه اصلی (PC1) ۴۱ درصد از واریانس کل را در بر گرفته و شامل فلزات Cr, Co, Ni و V می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که منشأ این فلزات سنگین احتمالاً منابع طبیعی است. دومین جزء اصلی (PC2) برای ۳۹ درصد از کل واریانس را در بر گرفته و شامل As, Cd, Pb و Cu و Zn می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که منشأ این فلزات سنگین احتمالاً از منابع انسان‌زاد مانند سایش لاستیک

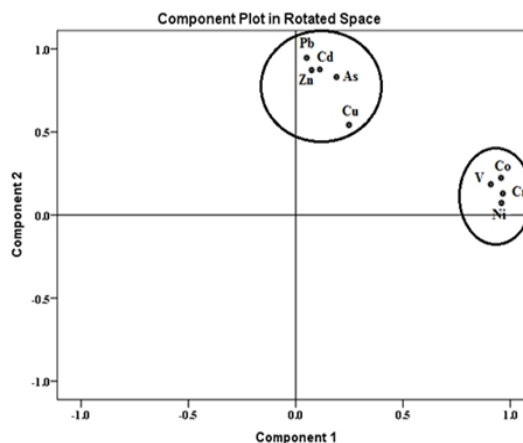
خودروها، خوردگی فلزات، سوختن زباله و گازهای صنعتی می‌باشد.

تحلیل خوشه‌ای (CA)

این روش برای استانداردسازی حجم غلظتی از فلزات سنگین آلاینده با استفاده از روش وارد و مفاهیم فاصله‌ای است. در این مطالعه از آنالیز خوشه‌ای (CA) برای شناسایی منابع فلزات سنگین در نمونه‌های خاک سطحی استفاده شد. از آنالیز خوشه‌ای (CA) برای صحت سنجی منابع شناسایی‌شده استفاده شد که در نهایت با نتیجه PCA مقایسه گردید. نتایج CA و PCA برای بدست آوردن اطمینان بیشتر از منابع شناسایی‌شده نهایی مقایسه شده است. آنالیز خوشه - ای (CA) بر اساس مفاهیم فاصله‌ای و تشابه داده‌ها به گروه‌های متجانس تقسیم شده که در هر گروه داده‌ها دارای بیشترین تشابه با هم و کمترین تشابه با دیگر گروه‌ها است. شکل ۳، نتایج آنالیز خوشه‌ای (CA) فلزات سنگین در نمونه‌های خاک‌های سطحی در استان خوزستان را نشان می‌دهد. این شکل نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) را تایید می‌کند.



شکل ۳. آنالیز خوشه‌ای (CA) فلزات سنگین موجود در نمونه‌های خاک سطحی استان خوزستان



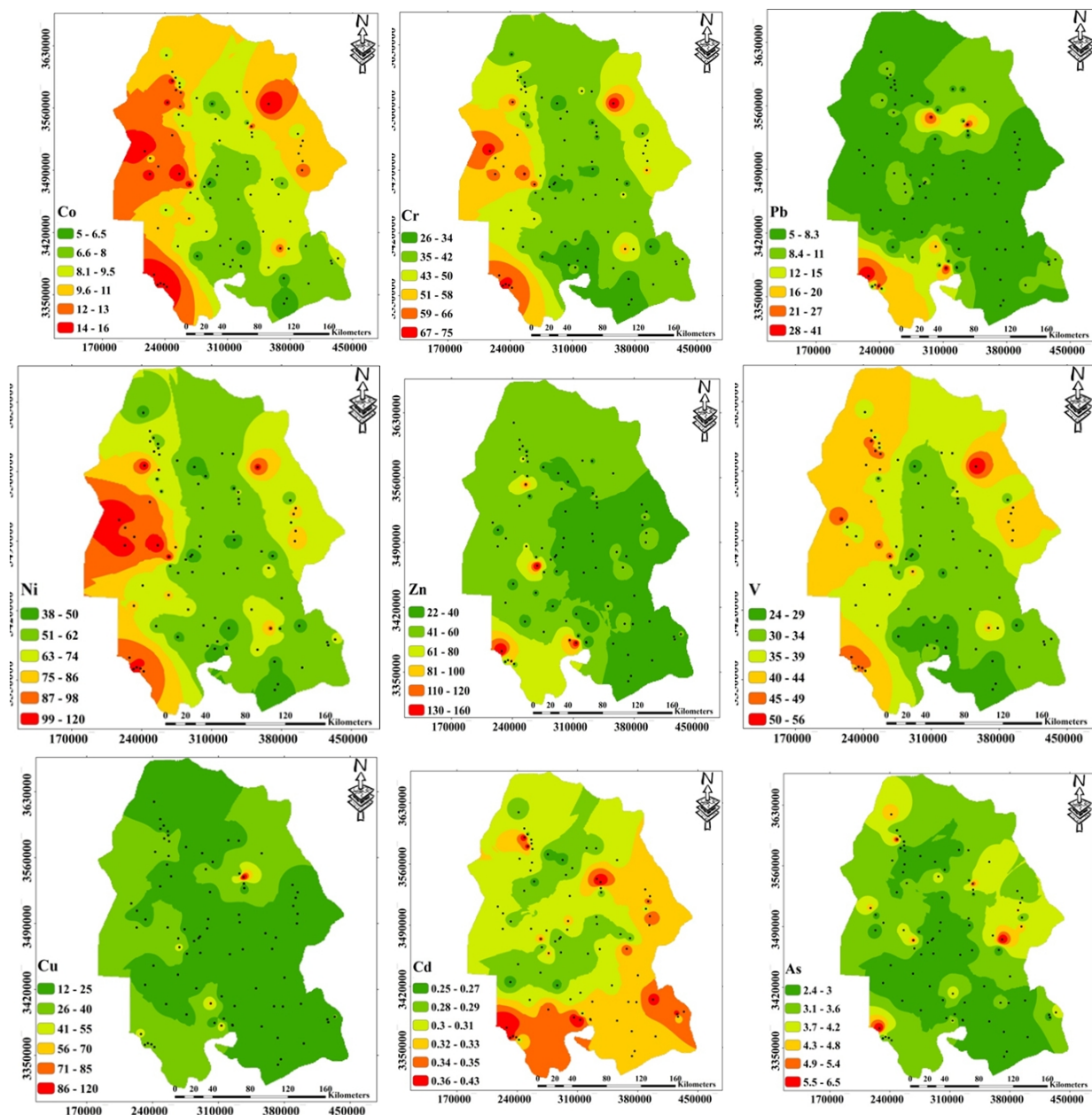
شکل ۲. آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) فلزات سنگین موجود در نمونه‌های خاک سطحی استان خوزستان

لکه‌ای در شمال شرقی استان، در منطقه دشت بزرگ دیده شد. بیشترین آلودگی به فلز وانادیوم در شمال شرق استان به صورت لکه‌ای دیده شده است. مناطق با غلظت بالای آلودگی به فلز سرب، در قسمت‌های جنوب غربی استان خوزستان، محدوده شهرستان آبادان، قسمتی در منطقه شمالی، محدوده شهرستان شوشتر و یک لکه در نیمه شمال شرقی استان، محدوده شهرستان مسجدسلیمان مشاهده می‌شود. منطقه جنوب غربی خوزستان و محدوده شهرستان مسجدسلیمان، منطقه‌ای صنعتی است و صنایع عمده در این مناطق صنایع نفتی، اکتشافی، حفاری، پتروشیمی و غیره است. کاربری اراضی در این مناطق کشاورزی آبی و مرتع می‌باشد. کود و سموم شیمیایی به صورت غیراصولی و بی‌رویه در اراضی کشاورزی مصرف می‌شود. آلودگی به فلز روی به صورت لکه‌ای در قسمت مرکزی استان در محدوده شهرستان اهواز و در نیمه جنوب غربی استان در محدوده شهرستان آبادان و هندیجان مشاهده شده است. آلودگی به فلز آرسنیک به صورت نقطه‌ای در سطح استان خوزستان پراکنده است و به صورت لکه‌های کوچکی در جنوب غربی و شمال شرقی استان دیده می‌شود. آلودگی به فلز کادمیوم به صورت گسترده در نیمه جنوبی استان و شمال شرق آن به وضوح دیده می‌شود. شدت آلودگی در جنوب غربی در شهرستان‌های خرمشهر،

توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین با استفاده از روش سیستم اطلاعات جغرافیایی

توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین، ابزار بصری بسیار مفیدی است که به بررسی منابع احتمالی و شناسایی نقاط با غلظت بالا کمک می‌کند. در این مطالعه توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان خوزستان با استفاده از روش سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۴). آلودگی به فلز کروم، در نیمه غربی استان خوزستان تجمع بیشتری دارد. بیشترین تجمع کروم در این منطقه در شهرستان آبادان در جنوب غربی و بستان در شمال غربی دیده می‌شود. همچنین آلودگی به این فلز در محدوده شهرستان مسجدسلیمان واقع در شمال شرقی استان خوزستان نیز دیده می‌شود. بیشترین تجمع فلز سنگین کبالت در نیمه غربی استان خوزستان (شهرستان‌های سوسنگرد و بستان و آبادان) دیده می‌شود. بعد از آن در شمال شرقی خوزستان و لکه‌ای نیز در جنوب شرقی منطقه آلودگی به کبالت را نشان می‌دهد. وسعت آلودگی به نیکل در منطقه غرب استان و اندکی در محدوده شهرستان مسجدسلیمان به چشم می‌خورد. آلودگی به سرب نیز در محدوده جنوب غربی و شهرستان آبادان به وضوح مشهود است. آلودگی به فلز مس در استان خوزستان به صورت

آبادان، مینوشهر، در جنوب در شهرستان هندیجان،
در جنوب شرقی در شهرستان بهبهان و اطراف آن و
در شمال شرقی در شهرستان مسجدسلیمان دیده
می‌شود.



شکل ۴. توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در استان خوزستان

فاکتور غنی‌شدگی (EF)

نتایج آماری مربوط به فاکتور غنی‌شدگی عناصر سنگین مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های خاک به صورت روی (۹/۶۱) <

کادمیوم (۹/۱۲) < کبالت (۵/۲۸) < مس (۴/۱۳) < نیکل (۳/۸) < وانادیوم (۳/۳۹) < سرب (۳/۰۹) < کروم (۲/۴۵) < آرسنیک (۴/۷۰) کاهش می‌یابد. سطح آلودگی هر یک از فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین این فاکتور بدین‌شرح می‌باشد که آرسنیک دارای سطح آلودگی کم

($EF < 2$)، کروم، سرب، وانادیوم، نیکل و مس دارای آلودگی متوسط ($2 \leq EF < 5$)، کبالت، کادمیوم و روی دارای آلودگی زیاد ($EF \geq 5$) می‌باشند. این نتایج نشان می‌دهد که خاک منطقه مورد مطالعه به طور معنی‌داری تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارد. از طرف دیگر آرسنیک (100%) و نیکل (95%) به ترتیب بیشترین فراوانی را در سطح آلودگی کم دارند. وانادیوم (100%)، کروم (95%)، مس (94%) و

سرب (79%) به ترتیب دارای بیشترین فراوانی در سطح آلودگی متوسط هستند. روی (94%)، کادمیوم (99%) و کبالت (60%) به ترتیب بیشترین فراوانی را در سطح آلودگی زیاد دارند. تعداد ۱ نمونه (1%) در سطح آلودگی به شدت زیاد به عنصر روی را نشان دادند. نتایج به‌دست‌آمده معنی‌دار بودن تاثیر و نقش فعالیت انسانی بر میزان آلودگی خاک منطقه را به‌خوبی نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج آماری فاکتور غنی‌شدگی (EF) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

سطح آلودگی نمونه‌ها				فاکتور غنی‌شدگی (EF)				
به شدت زیاد	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	فلزات سنگین
.	.	.	.	۸۷ (100%)	۰/۵۶	۱/۷۵	۰/۸۸	آرسنیک
.	.	۸۶ (99%)	۱ (1%)	.	۴/۶۷	۱۶/۰۲	۹/۱۲	کادمیوم
.	.	۵۲ (60%)	۳۵ (40%)	.	۴/۰۶	۶/۸۴	۵/۲۸	کبالت
.	.	.	۸۳ (95%)	۴ (5%)	۱/۷۸	۳/۲۴	۲/۴۵	کروم
.	.	۶ (7%)	۸۱ (93%)	.	۲/۴۶	۱۷/۷۴	۴/۱۳	مس
.	.	.	۴ (5%)	۸۳ (95%)	۲/۳۷	۵/۷۶	۳/۸۰	نیکل
.	.	۷ (8%)	۶۹ (79%)	۱۱ (13%)	۱/۶۵	۱۳/۵۱	۳/۰۹	سرب
.	.	.	۸۷ (100%)	.	۲/۶۰	۴/۷۷	۳/۳۹	وانادیوم
۱ (1%)	۴ (5%)	۸۲ (94%)	.	.	۵/۳۸	۴۱/۳۱	۹/۶۱	روی

شاخص آلودگی (PI)

برای بررسی بهتر کیفیت خاک از شاخص آلودگی PI استفاده شد که نتایج آماری آن در جدول ۳ ارائه شده است. مقدار میانگین شاخص آلودگی (PI) فلزات سنگین به ترتیب، $As < (1/54) Cd < (3/32) Ni$ ، $Pb < (1/53) Co < (0/94) Cu < (0/72) V < (0/59)$ ، $Zn < (0/44) Cr < (0/53)$ است. سطح آلودگی هر یک از عناصر در منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین این شاخص بدین شرح است که روی، کروم، سرب، وانادیوم، مس و کبالت بدون آلودگی ($p \leq 1$)، آرسنیک و کادمیوم دارای سطح آلودگی کم

($1 < PI \leq 2$) و نیکل دارای سطح آلودگی زیاد ($PI > 3$) می‌باشند. همچنین طبق نتایج نشان داده شده در جدول ۳ کروم، وانادیم و روی با فراوانی (100%) و سرب (93%)، مس (88%)، کبالت (69%) دارای بیشترین فراوانی در سطح بدون آلودگی هستند. کادمیوم (98%)، آرسنیک (78%) بیشترین فراوانی را در سطح آلودگی کم نشان دادند. نیکل (51%) بیشترین فراوانی را در سطح آلودگی متوسط نشان دادند. همچنین نیکل (47%) بیشترین فراوانی را در سطح آلودگی نشان داد.

جدول ۳. نتایج آماری شاخص آلودگی (PI) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

شاخص آلودگی (PI)				سطح آلودگی نمونه‌ها			
فلزات سنگین	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	بدون آلودگی	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی زیاد
آرسنیک	۱/۵۳	۳/۱۰	۱/۱۴	۰	۷۷ (۸۹٪)	۸ (۹٪)	۲ (۳٪)
کادمیوم	۱/۵۴	۲/۱۵	۱/۲۵	۰	۸۵ (۹۸٪)	۲ (۳٪)	۰
کیالت	۰/۹۴	۱/۶	۰/۵۰	۶۰ (۶۹٪)	۲۷ (۳۱٪)	۰	۰
کروم	۰/۴۴	۰/۷۷	۰/۲۷	۸۷ (۱۰۰٪)	۰	۰	۰
مس	۰/۷۲	۳/۷۰	۰/۳۶	۷۷ (۸۸٪)	۹ (۱۱٪)	۰	۱ (۱٪)
نیکل	۳/۳۲	۶/۰۰	۱/۹۰	۰	۲ (۳٪)	۴۴ (۵۱٪)	۴۱ (۴۷٪)
سرب	۰/۵۳	۲/۴۱	۰/۲۹	۸۱ (۹۴٪)	۳ (۳٪)	۳ (۳٪)	۰
وانادیوم	۰/۵۹	۰/۹۳	۰/۴۰	۸۷ (۱۰۰٪)	۰	۰	۰
روی	۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۰۳	۸۷ (۱۰۰٪)	۰	۰	۰

شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI)

شاخص آلودگی نمره محاسبه شده برای فلزات سنگین مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. مزیتی که این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر دارد این است که در این شاخص ریسک آلودگی برای همه فلزات سنگین مورد مطالعه به هم‌دیگر بررسی می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، میانگین شاخص جامع آلودگی نمره همه نمونه‌ها از حداقل ۱/۴۳ تا حداکثر ۴/۳۹ متغیر است. مقدار میانگین این

شاخص (۲/۴۸) است. همچنین بر اساس میزان میانگین شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI) همه نمونه‌ها دارای سطح متوسط آلودگی ($3 \leq NIPI < 4$) می‌باشند. از نظر سطح آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه، تعداد ۳۰ نمونه (۳۴٪) در سطح آلودگی کم، ۴۰ نمونه (۴۶٪) در سطح آلودگی متوسط و تعداد ۱۷ نمونه (۲۰٪) در سطح بالای آلودگی قرار دارند.

جدول ۴. نتایج آماری شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

سطح آلودگی نمونه‌ها					(NIPI)		
خط هشدار آلودگی	سطح آلودگی کم	سطح متوسط آلودگی	سطح بالای آلودگی	بدون آلودگی	مینیمم	ماکزیمم	میانگین
۰	۳۰ (۳۴٪)	۴۰ (۴۶٪)	۱۷ (۲۰٪)	۰	۱/۴۳	۴/۳۹	۲/۴۸

بحث

با توجه به نتایج به دست آمده، میانگین غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، کیالت، کروم، مس، نیکل، سرب، وانادیوم و روی به ترتیب ۳/۲۲، ۰/۳۱، ۰/۴۰، ۰/۹۴، ۲۳/۹۲، ۶۶/۳۴، ۹/۰۹، ۳۵/۵۶ و ۴۶/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد. غلظت تمام فلزات سنگین مورد مطالعه به غیر از کیالت مقادیری بیشتر از غلظت زمینه (غلظت در پوسته زمین) را نشان دادند. غلظت‌های بالای فلزات سنگین و میانگین‌های بالاتر از مقدار زمینه، نشان‌دهنده تأثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی در منطقه می‌باشد. بررسی

تغییرات مکانی سرب و روی در خاک‌های سطحی بخشی از استان همدان نشان داد که عامل مؤثر بر روند افزایشی این عناصر را نوع کاربری (شهری) دانستند که دود ناشی از اتومبیل‌ها، سایش لاستیک اتومبیل‌ها و ترافیک شهری از عوامل اصلی افزایش سرب و روی در منطقه می‌باشد (۲۶). همچنین مطالعات انجام شده بر روی خاک‌های مرکزی استان زنجان نشان داد که مقدار میانگین غلظت برخی از فلزات از مقدار زمینه محاسبه شده خیلی بالاتر است، از جمله کادمیم، روی، سرب و مس که به ترتیب تقریباً ۴، ۲، ۱/۶ و ۱/۵ برابر مقدار زمینه می‌باشند. از

نظر میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) به ترتیب $Zn < Cd < Co < Cu < Ni < V < Pb < Cr < As$ بودند. عنصر روی بیشترین آلودگی را در سطح آلودگی به‌شدت زیاد را نشان داد. همچنین دو عنصر کادمیوم و روی به ترتیب در سطح آلودگی زیاد بیشترین فراوانی را داشتند (۱۳). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که فلز روی می‌تواند از طریق فرسایش ترمز وسایل نقلیه، فرسایش تایلر اتومبیل‌ها، نشت روغن از خودروها و واش‌های سرسیلندر موتور وسایل نقلیه وارد خاک شود (۲۷). منبع مهم دیگر آلودگی به فلز روی می‌تواند انواع کودهای شیمیایی، مواد تجزیه شده و آفت‌کش‌ها باشد. روی همچنین عنصری است که در ساخت رنگ‌ها، قارچ‌کش‌ها، باتری‌ها و تعدادی از آلیاژها مانند برنج و برنز استفاده می‌شود (۲۸). چنانچه در جدول ۱ مشاهده می‌شود فلز کادمیم دارای میانگین غلظت $0/31$ میلی‌گرم در کیلوگرم در کل نمونه‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد، میانگین غلظت کادمیم در خاک‌های شمال غرب ترکیه $0/2$ میلی‌گرم در کیلوگرم است در صورتی که میانگین غلظت این عنصر در خاک‌های شمال لهستان $0/8$ میلی‌گرم در کیلوگرم است که به‌طور چشمگیری از مقدار متوسط کادمیم در خاک‌های استان خوزستان بالاتر است (۲۹). کادمیم فلزی نسبتاً متحرک است و مقدار آن در محیط نسبتاً کم است و می‌تواند منشأ انسان‌زاد و طبیعی داشته باشد. منابع محتمل کادمیم می‌تواند مصرف کودهای فسفاته و یا فعالیت‌های صنایع ذوب فلزی و پساب فاضلاب‌ها باشد (۳۰). احتراق سوخت و فیوم‌های ناشی از لحیم‌کاری نیز می‌تواند منبع ورود کادمیم باشند (۳۱). بر اساس گزارش سازمان حفاظت از محیط زیست، کروم بعد از سرب دومین فلز یافت شده در مناطق آلوده است و سالانه حدود 170000 تن از پساب‌های این فلز، به محیط سرازیر می‌شود. این فلز در پساب صنایع مرتبط با کروم مانند تهیه آلیاژهای

کرومی، آبتکاری کروم، ترکیبات بازدارنده خوردگی، شیشه‌سازی، تهیه رنگ، صنعت نساجی، صنایع چوب، عکاسی، دباغی، تولید سیمان، فرش، نوارهای مغناطیسی و ساخت اجزای ماشین و هواپیما وجود دارد (۲). نیکل در غلظت‌های بالا موجب سمیت می‌شود و ممکن است در خاک نیز مشکل ایجاد کند در اغلب موارد غلظت زیاد نیکل در خاک مربوط به فعالیت انسان می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده، در سنگ بستر ماسه سنگ و شیل به طور طبیعی مقدار غلظت سرب بالا است. بنابراین عامل مؤثر بر افزایش غلظت سرب در منطقه مورد مطالعه، فعالیت‌های نفتی، ساختار زمین‌شناسی، فعالیت‌های کشاورزی و همچنین آلودگی شهری وسایل نقلیه می‌باشد (۱۴). با بررسی منطقه، عامل اصلی آلودگی خاک به فلز کادمیوم در استان خوزستان را می‌توان انسان‌زاد دانست که علت آن می‌تواند مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی نظیر کودهای فسفاته و سولفات روی، ورود فاضلاب‌های شهری به خاک و وجود صنایع نفتی در منطقه و حضور گازهای خارج شده از صنایع فلزی نظیر صنایع فولاد است. میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای فلزات سنگین کادمیوم، کبالت و روی بزرگتر از ۵ است که نشان می‌دهد منشأ آلودگی فلز سنگین مورد نظر می‌تواند هم منشأ طبیعی و هم منشأ انسان‌زاد داشته باشد. همچنین میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای سایر فلزات سنگین کمتر از ۵ است که نشان می‌دهد منبع انسان‌زاد سهم معنی‌داری در میزان آن فلز سنگین ندارد (۳۲). بر اساس مقدار میانگین شاخص آلودگی نمره (NIPI)، $40/98$ درصد نمونه‌ها در سطح آلودگی متوسط و $19/54$ درصد نمونه‌ها در سطح آلودگی بالا قرار دارند که این امر اثرات صنایع آلوده‌کننده از جمله اکتشافات و صنایع مرتبط با نفت را بر محیط زیست منطقه به خوبی نشان می‌دهد. نقشه پراکنش شاخص آلودگی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که نگرانی ناشی از فلزات سنگین در

بخش‌های غرب و جنوب غربی استان بیش از مناطق دیگر است. علت اصلی این موضوع می‌تواند حضور بیشتر واحدهای صنعتی و کشاورزی در این بخش باشد. در مناطقی که شاخص آلودگی بالا می‌باشد باید گام‌هایی برای کاهش ورود عناصر سنگین به خاک برداشته شود. به طور کلی خاک در مکان‌های صنعتی می‌تواند گروه‌های متمایزی از آلاینده‌های سنگین داشته باشد که وابسته به صنایع مربوطه و مواد خام و محصولات آنها می‌باشد (۳۳). در بسیاری از کشورها حذف سرب از بنزین و رنگ، تغییر نوع و ساختار صنایع و مقررات سختگیرانه در مورد انتشار گازهای اتمسفری و دفع استاندارد فاضلاب به‌طور کلی موجب کاهش ورود فلزات سنگین در خاک شده است (۱).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج، میانگین غلظت کل عناصر سنگین در نمونه‌های خاک سطحی به ترتیب به صورت $Ni < Zn < Cr < V < Cu < Co < Pb < As < Cd$ به دست آمد. غلظت تمام عناصر مورد مطالعه به غیر از کبالت مقادیری بیشتر از غلظت زمینه (غلظت در پوسته زمین) را نشان دادند. در بررسی شاخص آلودگی PI، میانگین غلظت فلزات مورد بررسی به ترتیب به صورت $Ni < Cd < As < CO < Cu < V < Zn < Cr < Pb$ به دست آمد. همانگونه که مشاهده

می‌شود، نیکل بیشترین میانگین غلظت را نشان داده و ۴۱ نمونه از ۸۷ نمونه در سطح آلودگی زیاد به نیکل قرار دارند.

شایان ذکر است که مطالعه حاضر دارای کاستی‌ها و محدودیت‌هایی بود. برای تحلیل دقیق‌تر باید خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک و فاکتورهای اقلیمی نیز اندازه‌گیری شود؛ اما به دلیل نبود امکانات کافی و هزینه زیاد انجام آنالیز در این پژوهش میسر نبود. در مورد هوادیدگی که یک فرآیند طبیعی است کار چندانی نمی‌توان انجام داد، بنابراین باید با کاهش مقدار مصرف کودهای شیمیایی و استفاده از استانداردهای محیط زیستی در فعالیت‌های صنعتی و تولیدی وضعیت عناصر سنگین در منطقه را کنترل نمود.

تشکر و قدردانی

این تحقیق قسمتی از رساله دکتری با عنوان «تعیین غلظت زمینه فلزات سنگین با استفاده از مدل‌های فرکتالی و بررسی میزان همبستگی عوامل ژئوشیمیایی خاک بر میزان غلظت این عناصر در استان خوزستان» با شماره ۹۵۰۶۱۳ می‌باشد که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز انجام گرفت. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی خود را به عمل آورند.

References

- 1-Alloway BJ. Sources of heavy metals and metalloids in soils. Heavy metals in soils: Springer; 2013: 11-50.
- 2-Nazarpour A, Ghanavati N, Babaenejad T. Evaluation of the level of pollution and potential ecological risk of some heavy metals in surface soils in the Ahvaz oil-field. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;10(3):391-400.[In Persian]
- 3-Ghanavati N, Nazarpour A, De Vivo B. Ecological and human health risk assessment of toxic metals in street dusts and surface soils in Ahvaz, Iran. Environmental geochemistry and health. 2019;41(2):875-91.
- 4-Babaei H, Ghanavati N, Nazarpour A. Contamination level of mercury in the street dust of ahvaz city and its spatial distribution. JWSS-Isfahan University of Technology. 2018;22(3):249-59. [In Persian]

- 5-Barzin M, Kheirabadi H, Afyuni M. An investigation into pollution of selected heavy metals of surface soils in Hamadan province using pollution index. JWSS-Isfahan University of Technology. 2015;19(72):69-80.
- 6-Ghanavati N. Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;11(1):63-74. [In Persian]
- 7-Ghanavati N, Nazarpour A, Watts MJ. Status, source, ecological and health risk assessment of toxic metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust of Abadan, Iran. Catena. 2019;177:246-59.
- 8-He Z, Shentu J, Yang X, Baligar VC, Zhang T, Stoffella PJ. Heavy metal contamination of soils: sources, indicators and assessment. Journal of Environmental Indicators. 2015; 9:17-18.
- 9-Belpomme D, Irigaray P, Sasco A, Newby J, Howard V, Clapp R, et al. The growing incidence of cancer: role of lifestyle and screening detection. International journal of oncology. 2007;30(5):1037-49.
- 10-Brown R, Kerr K, Haoudi A, Darzi A. Tackling cancer burden in the Middle East: Qatar as an example. The lancet oncology. 2012;13(11):e501-e8.
- 11-Nazarpour A, Ghanavati N, Watts MJ. Spatial distribution and human health risk assessment of mercury in street dust resulting from various land-use in Ahvaz, Iran. Environmental geochemistry and health. 2018;40(2):693-704.
- 12-Rashed M. Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. Journal of Hazardous Materials. 2010;178(1-3):739-46.
- 13-Afshari A, Khademi H, Hojati S. Assessment of heavy metals pollution risk in soils of central Zanjan province based on pollution indices. Journal of Water and Soil Conservation. 2016; 22(6):21-40. [In Persian]
- 14-Lu S, Bai S. Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: relationship with different land uses. Environmental Earth Sciences. 2010;60(7):1481-90.
- 15-Jiang Y, Zeng X, Fan X, Chao S, Zhu M, Cao H. Levels of arsenic pollution in daily foodstuffs and soils and its associated human health risk in a town in Jiangsu Province, China. Ecotoxicology and environmental safety. 2015;122:198-204.
- 16-Wysocka I, Vassileva E. Determination of cadmium, copper, mercury, lead and zinc mass fractions in marine sediment by isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry applied as a reference method. Microchemical Journal. 2016;128:198-207.
- 17-Yongming H, Peixuan D, Junji C, Posmentier ES. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. Science of the total environment. 2006;355(1-3):176-86.
- 18-Addo M, Darko E, Gordon C, Nyarko B, Gbadago J. Heavy metal concentrations in road deposited dust at Ketu-south district, Ghana. Environmental Monitoring and Assessment. 2012;4(3):483-95.
- 19-Ye C, Li S, Zhang Y, Zhang Q. Assessing soil heavy metal pollution in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China. Journal of hazardous materials. 2011;191(1-3):366-72.
- 20-Wei B, Jiang F, Li X, Mu S. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. Environmental monitoring and assessment. 2010;160(1-4):33.
- 21-Abraham G, Parker R. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environmental monitoring and assessment. 2008;136(1-3):227-38.
- 22-Atiemo MS, Ofosu GF, Kuranchie-Mensah H, Tutu AO, Palm N, Blankson SA. Contamination assessment of heavy metals in road dust from selected roads in Accra, Ghana. Research Journal of Environmental and Earth Sciences. 2011;3(5):473-80.
- 23-Brown JN, Peake BM. Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. Science of the total environment. 2006;359(1-3):145-55.
- 24-Nazzal Y, Rosen MA, Al-Rawabdeh AM. Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. Environmental Monitoring and Assessment. 2013;185(2):1847-58.

- 25-Yu L, Zhang B, Zhang S. Heavy metal elements pollution evaluation on the ecological environment of the Sanjiang Plain based on GIS. *Chinese Journal of Soil Science*. 2004;35(5):529-32.
- 26-Taghipour M, Khademi H, Ayoubi SA. Spatial variability of Pb and Zn concentration and its relationship with land use and parent materials in selected surface soils of Hamadan province. *Journal of Water and Soil*. 2010. 24(1): 132-144. [In Persian]
- 27-Chen X, Xia X, Zhao Y, Zhang P. Heavy metal concentrations in roadside soils and correlation with urban traffic in Beijing, China. *Journal of Hazardous Materials*. 2010; 181(1-3): 640-646.
- 28-Batjargal T, Otgonjargal E, Baek K, Yang JS. Assessment of metals contamination of soils in Ulaanbaatar, Mongolia. *Journal of Hazardous Materials*. 2010; 184(1-3): 872-876.
- 29-Yaylal A. Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey. *Microchemical Journal*, 2011; 99(1): 82-92.
- 30-Matkan AA, Azadeh-kazemi MR, Ashourlou D. Using RS and GIS for considering cadmium distribution and polluted vegetation in Esfahan province. *Environmental Sciences*. 2009; 6(2): 65-76. [In Persian]
- 31-Sayadi M, Sayyed MRG. Comparative assessment of baseline concentration of the heavy metals in the soils of Tehran (Iran) with the comparable reference data. *Environmental Earth Sciences*, 2011; 63(6): 1179-1188.
- 32-Rashki A, Eriksson PG, Rautenbach CDW, Kaskaoutis DG, Grote W, Dykstra J. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*. 2013;90(2):227-36.
- 33-Tóth G, Hermann T, Szatmári G, Pásztor L. Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. *Science of the Total Environment*. 2016;565:1054-62.