



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی



ارزیابی سطح آلودگی و پتانسیل ریسک اکولوژیکی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی میدان نفتی اهواز

احد نظریور^۱، نوید فنواتی^{۲*}، تیمور بابایی نژاد^۲

۱- گروه زمین شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- گروه خاک شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله:	چکیده
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۰۷	زمینه و هدف: هدف از مطالعه حاضر بررسی فاکتور غنی‌شدگی (EF)، شاخص جامع آلودگی نمرو (NIPI) و پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Er) فلزات سنگین (سرب، نیکل، مس، روی، کادمیوم، وانادیوم و کروم) در خاک‌های سطحی میدان نفتی اهواز است.
تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۷/۰۱	روش بررسی: جهت دستیابی به این هدف، تعداد ۴۹ عدد نمونه خاک به صورت سیستماتیک برداشت و به روش جذب اتمی (AAS) آنالیز شده است.
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۰۴	یافته‌ها: میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه به ترتیب: $Pb (251/20)$ ، $Ni (94/06)$ ، Cu ، $Zn (132/84)$ ، $Cd (0/69)$ ، $V (4/97)$ و $Cr (141/48)$ (mg/kg) است. میانگین فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های خاک به صورت $Pb < Ni < Cu < Zn < Cr < V < Cd$ کاهش می‌یابد. شاخص جامع آلودگی نمرو نشان‌دهنده سطح آلودگی شدید برای کلیه فلزات به جز وانادیوم است. پتانسیل ریسک اکولوژیکی فلزات مورد مطالعه نشان‌دهنده ریسک پایین برای فلزات V ، Zn ، Cd ، Cr و Cu و ریسک قابل توجه برای فلزات Pb و Ni است. مقدار میانگین شاخص ریسک (RI) فلزات مورد مطالعه نشان داد که ۲۷ نمونه ۵۵/۱۰ درصد دارای ریسک متوسط، ۲۱ نمونه ۴۲/۸۵ درصد دارای ریسک قابل توجه و تنها ۱ نمونه ۲/۰۵ درصد دارای ریسک اکولوژیکی بالا است.
تاریخ انتشار: ۹۶/۰۹/۲۱	نتیجه‌گیری: نتایج بدست آمده از فاکتور غنی‌شدگی، پتانسیل ریسک اکولوژیکی و شاخص ریسک، نشان داد که منبع آلودگی فلزات مورد مطالعه فعالیت‌های انسان‌زاد از قبیل فعالیت‌های حفاری نفتی در منطقه مورد مطالعه است.
واژگان کلیدی: فلزات سنگین، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص جامع آلودگی نمرو، پتانسیل ریسک اکولوژیکی	
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: N.ghanavati@iauahvaz.ac.ir	

مقدمه

فعالیت‌های صنعت نفت از طریق عملیات اکتشاف و تولید، اثرات منفی بر محیط زیست مناطق نفت‌خیز دارد. اثرات زیان‌آور آنها ناشی از نشت نفت، گل حفاری و تخلیه پساب‌ها است (۱). میدان نفتی اهواز به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین میادین نفتی ایران، دارای بیشترین فعالیت‌های حفاری با گل پایه روغنی (Oil-based mud) و دارای یک سیستم پیچیده و گسترده از خطوط لوله در سراسر منطقه است و مقدار زیادی از نشت نفت از طریق خرابی‌های ایجاد شده در خطوط لوله رخ داده است. این شکستگی‌ها ناشی از نقص مواد، خوردگی خط لوله و فرسایش خاک است (۲). فعالیت‌های صنایع نفت باعث بی‌ثباتی اکوسیستم شده و تنوع زیستی را کاهش داده و در نتیجه بر محیط زیست عمومی این مناطق تأثیرگذار است (۳). واضح است که عملیات‌های اکتشاف و تولید نفت با تأثیر بر خاک‌های کشاورزی، اکوسیستم زمینی و خطرات بالقوه زیست محیطی بر سلامت انسان تأثیر گذاشته است (۴-۶). نفت خام، یک ترکیب پیچیده از اجزای آلی (هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای) و غیر آلی است (۷). در نفت خام غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین یافت می‌شود که با نوع نفت مورد بهره‌برداری در مناطق مختلف، دارای غلظت‌های متفاوتی از فلزات سنگین هستند. فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی و عامل آلودگی اکوسیستم‌های زمینی جوامع تولیدکننده نفت است (۸). خطر ناشی از فلزات سنگین سال‌ها باقی می‌ماند و این امر باعث ایجاد خطرات زیست محیطی بر سلامت انسان می‌شود (۹، ۱۰). فلزات سنگین از منابع ثابت و متحرک می‌توانند به آب، هوا و خاک منتقل شوند و حتی می‌توانند به گیاهان، حیوانات و بدن انسان وارد شوند. همچنین فلزات سنگین می‌توانند در سطوح شهری، خاک، گیاهان و سطوح ساختمانی انباشته شوند، و سپس با استفاده از نیروهای طبیعی و یا انسانی به مکان‌های مختلف حمل شوند (۱۱، ۱۲). با توجه به اثرات نامطلوب فلزات سنگین بر روی انسان و اکوسیستم، آلودگی ناشی از این فلزات توجه بسیاری از سازمان‌های دولتی و نظارتی که به دنبال جلوگیری از زوال

هرچه بیشتر محیط زیست هستند، را به خود جلب کرده است (۱۳، ۱۴). با توجه به شرایط جغرافیایی و محیط زیستی اهواز و حائز اهمیت بودن این منطقه از لحاظ صنعتی؛ این مهم را می‌طلبد که تحقیقی کاربردی و قابل استناد در این میدان نفتی انجام گیرد؛ بدین ترتیب هدف از پژوهش حاضر (۱) بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطراف دکل‌های حفاری و تاسیسات نفتی در منطقه میدان نفتی اهواز (۲) بررسی میزان آلاینده‌های فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی از جمله فاکتور غنی‌شدگی (EF)، شاخص بار آلودگی (NIPI) و پتانسیل ریسک اکولوژیک (Er) پیشرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، میدان نفتی اهواز و در محل سکوه‌های حفاری نفت در شرق اهواز، بین 48° و 46° تا 48° و 50° طول شرقی و 31° و 16° تا 31° و 20° عرض شمالی در سیستم جغرافیایی قرار دارد و مساحتی معادل 49 km^2 را در بر می‌گیرد. شایان ذکر است که شرکت بهره‌برداری نفت و گاز کارون، فرودگاه بین‌المللی اهواز، صنایع تبدیلی مختلف، کنار گذر شمالی اهواز و بزرگراه اهواز- امیدیه در این منطقه قرار دارند.

نمونه‌برداری خاک و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها

آب و هوای شهر اهواز گرم و مرطوب است به همین علت نمونه‌برداری در اواسط فروردین و اوایل اردیبهشت ماه صورت گرفت. نقشه پراکنده‌گی نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نمایش داده شده است. روش نمونه‌برداری براساس روش سیستماتیک تصادفی انجام گرفت. برای این کار ابتدا منطقه مورد نظر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه و نرم افزار GIS شبکه‌بندی گردید سپس مرکز هر شبکه به‌عنوان محل نمونه‌برداری تعیین گردید. پس از تعیین محل ابتدا با استفاده از ابزار تهیه نمونه و جداسازی $10 \times 10 \text{ m}^2$ اقدام به نمونه‌برداری شد. هر نمونه مرکب دارای ۶ زیر مجموعه بوده و در مجموع

Excel انجام شده است.

تحلیل آماری

به منظور بررسی چگونگی توزیع آماری داده‌های موجود، خلاصه وضعیت پارامترهای آماری، مقایسه غلظت زمینه و ترکیب پوسته فوقانی با میانگین فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت. همچنین خصوصیات دیگری از جمله دامنه، میانگین، انحراف معیار و چولگی با استفاده از نرم افزار SPSS20 انجام گرفت. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) استفاده گردید. برای تعیین رابطه بین فلزات، با توجه به عدم توزیع نرمال داده‌ها، از ضریب همبستگی اسپیرمن (Spearman) استفاده گردید (۱۶).

ارزیابی تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین

در این پژوهش جهت ارزیابی و تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین از شاخص‌های زیست محیطی متفاوتی استفاده شد. این شاخص‌ها عبارتند از:

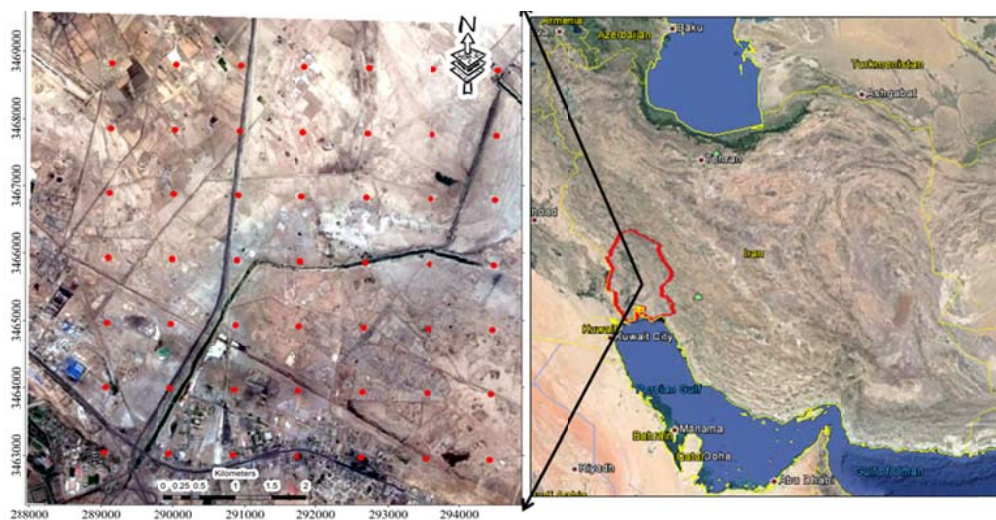
فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor):

فاکتور غنی‌شدگی (EF) یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه‌ای که نمونه مربوطه متعلق به آن است. این فاکتور از معادله ۱ محاسبه می‌شود (۱۵).

تعداد ۴۹ عدد نمونه به‌علت وسعت زیاد منطقه به‌صورت دست نخورده از عمق ۰-۳۰ cm برداشت گردید. نمونه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل و طی ۱۰ روز در دمای اتاق خشک شد و پس از جداسازی مواد زائد و عبور از الک با مش ۲۰۰ غربال شد. در نهایت نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین به آزمایشگاه منتقل شدند.

جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین از روش جذب اتمی (AAS) استفاده گردید. مقدار ۰/۳۵ g از هر نمونه در ۱۰mL تیزاب سلطانی (ترکیب سه اسید (HClO₄, HF, HNO₃) به نسبت ۳:۲:۵ هضم) و در ظروف تفلونی (PTFE) در دمای ۱۶۰ °C به مدت ۶ h هضم شد (۱۵) و سپس با آب دیونیزه به حجم ۵۰mL رسانده شد. خاک استاندارد SRM 2711 II Montana برای کنترل کیفیت و بررسی صحت اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین در نمونه‌ها استفاده شده است. حد تشخیص دستگاه برای عناصر Cr, Cd, Zn, Cu, Pb, Ni و V به ترتیب ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۰۲۵، ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۹، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۶ mg/kg بود.

در هنگام هضم به همراه هر گروه از نمونه‌ها یک نمونه شاهد تهیه شده و همراه سایر نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است. بازیابی قابل قبولی برای فلزات مورد بررسی به‌دست آمد (۹۸/۵-۸۱/۶ درصد). تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از بسته نرم افزار SPSS و محاسبات شاخص‌ها با استفاده از نرم افزار



شکل ۱- نقشه پراکنندگی نقاط نمونه‌برداری در میدان نفتی اهواز

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

در این معادله:

EF = فاکتور غنی شدگی

C_x = غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک

C_{ref} = غلظت عنصر مرجع

عنصر مرجع در تعیین فاکتور غنی شدگی، عنصری است که منشاء کاملاً زمین‌شناسی داشته باشد. در تحقیقات زیست محیطی معمولاً از Sr, Al, Fe, Ti, Zr به عنوان عناصر مرجع استفاده شده است (۱۶). درجه آلودگی فلزات سنگین را می‌توان به پنج دسته طبقه‌بندی کرد. سطح آلودگی کم ($EF < 2$)، سطح آلودگی متوسط ($2 \leq EF < 5$)، سطح آلودگی زیاد ($5 \leq EF < 20$) و سطح آلودگی به شدت زیاد ($EF \geq 20$).

شاخص جامع آلودگی نمر و Nemro Integrated (Pollution Index):

برای هر نقطه نمونه برداری شده به صورت معادله ۲ محاسبه شد:

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

که در آن: PI_{max} ، ماکزیمم مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین، PI_{ave} ، میانگین مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین است. براساس این شاخص کیفیت خاک در پنج سطح طبقه‌بندی شده است. خاک بدون آلودگی ($NIPI \leq 0.7$)، خط هشدار آلودگی ($0.7 < NIPI \leq 1$)، سطح آلودگی کم ($1 < NIPI \leq 2$)، سطح متوسط آلودگی ($2 < NIPI \leq 3$) و سطح بالای آلودگی ($NIPI > 3$) (۱۷).

پتانسیل ریسک اکولوژیک (Potential Ecological Risk):

شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک برای ارزیابی خطرات بالقوه زیست محیطی فلزات در خاک استفاده شده است

(۱۸). در مطالعه حاضر برای به دست آوردن پتانسیل ریسک اکولوژیک فلزات سنگین از معادلات ۳، ۴ و ۵ استفاده شد.

$$C_j^i = C^i / C_j^i \quad (3)$$

$$E_j^i = T_n^i \times C_j^i \quad (4)$$

$$RI = \sum_i^n E_j^i \quad (5)$$

که در آن: C^i محتوای فلزی که اندازه‌گیری شده در نمونه خاک مورد مطالعه، مرجع C_j^i ارزش پس زمینه از این عنصر و T_n^i شاخص سمی بودن فلزات سنگین است که T_n^i به ترتیب برای کادمیوم، نیکل، مس، سرب، کروم، روی و وانادیوم اعداد ۳۰، ۵، ۵، ۲، ۱ و ۲ ارائه شده است (۱۹). E_j^i پتانسیل ریسک اکولوژیک هر عنصر مورد بررسی و RI ریسک اکولوژیک مجموع عناصر را نشان می‌دهد. سطح آلودگی براساس پتانسیل ریسک اکولوژیک در پنج سطح طبقه‌بندی می‌گردد. پتانسیل ریسک اکولوژیک کم ($Er < 40$)، پتانسیل ریسک اکولوژیک متوسط ($40 \leq Er < 80$)، پتانسیل ریسک اکولوژیک قابل توجه ($80 \leq Er < 160$)، پتانسیل ریسک اکولوژیک زیاد ($160 \leq Er < 320$)، پتانسیل ریسک اکولوژیک خیلی زیاد ($Er \geq 320$) همچنین سطح آلودگی براساس شاخص ریسکدر پنج سطح طبقه‌بندی می‌گردد. ریسک کم ($RI < 150$)، ریسک متوسط ($150 \leq RI < 300$)، ریسک قابل توجه ($RI < 600$) و ریسک زیاد ($RI \geq 600$).

یافته‌ها

بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه: خلاصه‌ای از پارامترهای آماری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک میدان نفتی اهواز در جدول ۱ گزارش شده است. غلظت عناصر سرب، نیکل، مس، روی، کادمیوم، وانادیوم و کروم به ترتیب بین: ۷۱۰-۳۳/۱۰، ۲۳-۱۴۰ و ۰/۰۱-۳۰۵، ۳۴/۹۷-۲۹۰، ۶۴/۸۷-۲۹۰، ۰/۱۰-۳/۵۷، ۲۵-۱/۳۳ و ۲۵۰-۱ mg/kg بود. میانگین غلظت این عناصر به ترتیب: ۲۵۱/۲۰، ۹۴/۰۶، ۷۵/۸۰، ۱۳۲/۸۴، ۰/۶۹، ۴/۹۷ و mg/kg

تحلیل همبستگی بین فلزات سنگین:

نتایج همبستگی پیرسون (Pearson's Correlation) بین فلزات سنگین در جدول ۳ ارائه شده است. ضریب همبستگی بدست آمده بین عناصر آلاینده نشان می‌دهد که عنصر سرب دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد با عناصر مس، روی، کروم و در سطح ۰/۰۵ درصد با کادمیوم دارد. همچنین عنصر روی دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد با مس (۰/۷۵) و عنصر وانادیوم دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد با کروم (۰/۳۵) هستند که در واقع ناشی از منشاء یکسان آزادسازی فلزات سنگین در محیط زیست است. عناصری مانند نیکل، کادمیوم، وانادیوم و کروم در واقع دارای همبستگی کمتری با دیگر عناصر است، که حاکی از وجود منشا دیگری برای عناصر مذکور است.

فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor):

مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای هر یک از فلزات سنگین در نمودار ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های خاک به صورت $Zn < Cr < Cu < Pb < Ni < Cd < V$ کاهش می‌یابد. مقدار میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) فلزات سنگین سرب (۴۰/۰۲)، نیکل (۱۵/۲۶)، مس (۱۱/۸۹)، کروم (۶/۸۵)، روی (۵/۷۱) و کادمیوم (۴/۲۰) به جز وانادیوم (۰/۲۹) بیشتر از ۱/۵ است که این امر نشان‌دهنده

۱۴۱/۴۸ بدست آمد. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان دادند همه فلزات مورد مطالعه دارای توزیع غیر نرمال هستند. همچنین غلظت تمام فلزات سنگین به جز وانادیوم در نمونه‌های خاک میدان نفتی اهواز چندین برابر بیشتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) است (جدول ۱).

استاندارد کیفیت منابع خاک ایران برای فلزات سنگین مورد مطالعه که توسط سازمان محیط زیست کشور ارائه شده است در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین غلظت روی، کادمیوم و وانادیوم در منطقه مورد مطالعه از حد مجاز ارائه شده در کاربری‌های کشاورزی و مرتع برای حفاظت انسان و استاندارد خاک ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور پایین‌تر است. میانگین غلظت نیکل و مس در منطقه مورد مطالعه از حد مجاز ارائه شده در کاربری‌های کشاورزی و مرتع برای حفاظت انسان کمتر و از استاندارد خاک ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور بیشتر است. میانگین غلظت سرب در منطقه مورد مطالعه از حدود مجاز ارائه شده در کاربری مرتع برای حفاظت انسان و استاندارد خاک ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور کمتر و از حد مجاز ارائه شده در کاربری کشاورزی بیشتر است. میانگین غلظت کروم در منطقه مورد مطالعه از حد مجاز ارائه شده در کاربری مرتع برای حفاظت انسان کمتر و از حد استاندارد خاک ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور و حد مجاز ارائه شده در کاربری کشاورزی برای حفاظت انسان بیشتر است.

جدول ۱ - خلاصه‌ای از پارامترهای آماری غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

فلزات سنگین	واحد	دامنه	انحراف معیار \pm میانگین	چولگی	زمینه	Kolmogorov-Smirnov
Pb	(mg/kg)	۳۳/۱۰-۷۱۰	۲۵۱/۲۰ \pm ۱۷۹/۲۶	۰/۹۱	۲۱/۵	۰/۰۰۱
Ni	(mg/kg)	۰/۰۱-۱۴۰/۲۳	۹۴/۰۶ \pm ۲۱/۹۵	-۱/۲۶	۲۰	۰/۰
Cu	(mg/kg)	۳۴/۹۷-۳۰۵	۷۵/۸۰ \pm ۵۲/۱۸	۲/۳۸	۲۱/۸	۰/۰۱
Zn	(mg/kg)	۶۴/۸۷-۲۹۰	۱۳۲/۸۴ \pm ۶۳/۵۸	۰/۹۴	۷۸/۴	۰/۰۲
Cd	(mg/kg)	۰/۱۰-۳/۵۷	۰/۶۹ \pm ۰/۸۶	۱/۸۴	۰/۵	۰/۰۱
V	(mg/kg)	۱/۳۳-۲۵	۴/۹۷ \pm ۶/۹۹	۱/۷۹	۶۰	۰/۰۰
Cr	(mg/kg)	۱-۲۵۰	۱۴۱/۴۸ \pm ۸۱/۹۵	-۰/۶۶	۶۸/۳	۰/۰۳

جدول ۲- استاندارد کیفیت منابع خاک ایران (mg/kg) برای خاک‌های با pH > 7

آلاینده	انسان (mg/kg)		حفاظت از محیط زیست (mg/kg)
	کاربری کشاورزی	کاربری مرتع و جنگل	
Pb	۷۵	۲۹۰	۳۰۰
Ni	۱۱۰	۵۳۰	۵۰
Cu	۲۰۰	۵۰۰	۶۳
Zn	۵۰۰	۵۰۰	۲۰۰
Cd	۵	۸	۳/۹
V	۲۰۰	۲۰۰	۱۳۰
Cr	۱۱۰	۵۳۵	۶۴

جدول ۳- همبستگی بین غلظت فلزات سنگین

	Pb	Ni	Cu	Zn	Cd	V	Cr
Pb	۱						
Ni	-۰/۴۴	۱					
Cu	۰/۷۹	-۰/۵۷	۱				
Zn	۰/۶۲	-۰/۳۳	۰/۷۵	۱			
Cd	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۲۱	۱		
V	-۰/۴۰	۰/۱۳	-۰/۲۹	-۰/۰۸	-۰/۱۱	۱	
Cr	-۰/۷۶	۰/۲۴	-۰/۷۹	-۰/۶۳	-۰/۲۶	۰/۳۵	۱

نمرو (NIPI) در جدول ۴ ارائه شده است. شاخص جامع آلودگی نمرو (NIPI) همه نمونه‌ها از حداقل ۲/۷۹ تا حداکثر ۱۰/۱۳ متغیر است. براساس مقدار عددی میانگین شاخص جامع آلودگی نمرو (NIPI) (۴/۱۴)، به نظر می‌رسد که اکثر نمونه‌ها دارای سطح بالای آلودگی ($NIPI > 3$) هستند که این امر نشان‌دهنده آن است که عملیات اکتشاف نفت تاثیر معنی‌داری بر اکولوژی منطقه مورد مطالعه دارد.

پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Potential Ecological Risk):

در این تحقیق، پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Er) فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه براساس روش هاکانسون محاسبه شده است (۲۱). مقادیر پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Er)

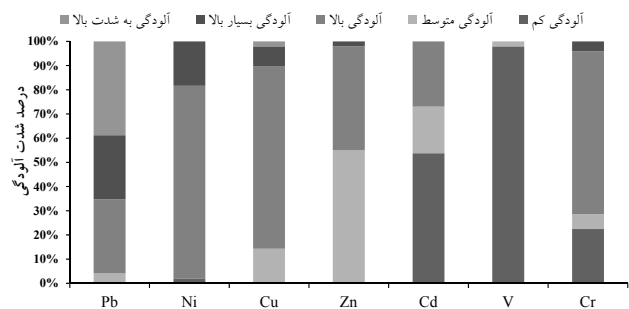
انسان‌زاد بودن منبع این فلزات سنگین در خاک است (۲۰). سطح آلودگی هر یک از عناصر در منطقه مورد مطالعه براساس میانگین این فاکتور بدین شرح است که وانادیوم دارای آلودگی کم ($EF < 2$)، کادمیوم دارای آلودگی متوسط ($2 \leq EF < 5$)، نیکل، کروم، روی و مس دارای آلودگی بالا ($20 < EF \leq 50$) است. به علاوه سرب به دلیل میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) بالاتر از ۴۰، دارای آلودگی به شدت بالا است. این نتایج نشان می‌دهد که خاک منطقه مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارد.

شاخص جامع آلودگی نمرو (Nemro Integrated Pollution Index):

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین براساس شاخص جامع آلودگی

بحث

بررسی غلظت فلزات سنگین نشان داد که غلظت بالای این عناصر مربوط به منابع انسان‌زاد (آلودگی ناشی از فعالیت‌های نفتی در منطقه) است. فعالیت‌های استخراج و بهره‌برداری نفت و نیز سوختن گازهای همراه نفت و هیدروکربن‌های نفتی در فلرهای واحد بهره‌برداری در میدان نفتی اهواز و رسوب آنها در خاک منطقه عامل اصلی آلودگی به فلزات سنگین در خاک‌های میدان نفتی مذکور است. نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که عناصری مانند نیکل، کادمیوم، وانادیوم و کروم در واقع دارای همبستگی کمتری با دیگر عناصر دارد، که حاکی از وجود منشأ دیگری برای عناصر مذکور است. سطح آلودگی هر یک از فلزات در منطقه مورد مطالعه براساس میانگین فاکتور غنی‌شدگی بدین شرح است که وانادیوم دارای آلودگی کم ($EF < 2$)، کادمیوم دارای آلودگی متوسط ($2 \leq EF < 5$)، نیکل، کروم، روی و مس دارای آلودگی بالا ($5 \leq EF < 20$) است. به علاوه سرب به دلیل میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) بالاتر از ۴۰، دارای آلودگی به شدت بالا است. این نتایج نشان می‌دهد که خاک منطقه مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارد. مقادیر شاخص آلودگی در بین فلزات متغیر است. براساس نتایج بدست آمده از شاخص $NIPI$ ، ارزیابی داده‌ها نشان داد که ۲ نمونه خاک ($4/09$ درصد) دارای سطح آلودگی متوسط ($3 \leq NIPI < 2$) و تعداد ۴۷ نمونه خاک ($95/91$ درصد) دارای سطح آلودگی بالا ($NIPI > 3$) هستند. از طرفی سطح آلودگی زیاد فلزات سنگین نشان‌دهنده وجود آلودگی فلزی شدید (۱۸، ۲۲) و انسان‌زاد بودن منبع این فلزات سنگین در خاک است (۱۹). فلزات سنگین نظیر سرب، نیکل و مس به‌عنوان عوامل موثر بر افزایش خطر پتانسیل ریسک اکولوژی در میدان نفتی اهواز هستند. این فلزات در



نمودار ۱- نمودار درصد شدت آلودگی فلزات مورد مطالعه

و شاخص ریسک (RI) در جدول ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین پتانسیل ریسک اکولوژیک (Er) برای فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های خاک به صورت $Pb < Ni < Cu < Cr < Zn < Cd < V$ کاهش می‌یابد. براساس مقدار میانگین پتانسیل ریسک اکولوژیک (Er) فلزات سنگین، به ترتیب $0/16$ ، $6/91$ ، $10/42$ ، $14/14$ مربوط به وانادیوم، کادمیوم، روی و کروم دارای پتانسیل ریسک اکولوژیکی کم ($Er < 40$)، $75/80$ مربوط به مس دارای پتانسیل ریسک اکولوژیکی متوسط ($40 \leq Er < 80$)، به ترتیب $94/05$ و $125/60$ مربوط به نیکل و سرب دارای پتانسیل ریسک اکولوژیکی قابل توجه ($80 \leq Er < 160$) است که نشان‌دهنده حضور منابع آلودگی مشهودی در خاک منطقه مورد مطالعه است. نتایج بدست آمده نشان داد که شاخص ریسک (RI) همه نمونه‌ها از حداقل $122/54$ تا حداکثر $671/48$ متغیر است. براساس مقدار میانگین شاخص ریسک (RI) ($321/11$)، نمونه‌ها دارای ریسک قابل توجه ($300 \leq RI < 600$) هستند. همچنین نتایج به‌دست آمده نشان داد که تعداد ۲۷ نمونه ($55/10$ درصد) دارای ریسک متوسط، تعداد ۲۱ نمونه ($42/85$ درصد) دارای ریسک اکولوژیک قابل توجه و تعداد ۱ نمونه ($2/05$ درصد) دارای ریسک زیاد است.

جدول ۴- نتایج آماری شاخص جامع آلودگی نمر (NIPI) فلزات در منطقه مورد مطالعه

سطح آلودگی	سطح بالای آلودگی	سطح متوسط آلودگی	سطح پایین آلودگی	خط هشدار آلودگی	فاقد آلودگی
تعداد نمونه	۴۷ (۹۵/۹۱٪)	۲ (۴/۰۹٪)	۰	۰	۰

جدول ۵- نتایج آماری ریسک اکولوژیک (Er) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

ریسک اکولوژی (Er)					
فلزات سنگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف معیار	چولگی
Pb	۱۶/۵۵	۳۵۵	۱۲۵/۶۰	۹/۶۲	۰/۹۰
Ni	۰/۰۱	۱۴۰/۲۳	۹۴/۰۵	۵/۴۹	-۱/۲۵
Cu	۳۴/۹۶	۳۰۵	۷۵/۸۰	۱۱/۹۶	۲/۳۷
Zn	۲/۱۶	۹/۶۶	۱۰/۴۲	۲/۱۱	۰/۹۴
Cd	۱/۰۰	۳۵/۶۶	۶/۹۱	۸/۵۶	۱/۸۳
V	۰/۰۴	۰/۸۳	۰/۱۶	۰/۲۳	۱/۷۸
Cr	۰/۱	۲۵	۱۴/۱۴	۸/۲۰	-۰/۶۵

جدول ۶- نتایج آماری شاخص ریسک (RI) فلزات در منطقه مورد مطالعه

ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک قابل توجه	ریسک زیاد	پتانسیل ریسک اکولوژیک
۰	۲۷ (%۵۵/۱۰)	۲۱ (%۴۲/۸۵)	۱ (%۲/۰۵)	تعداد نمونه

خاک است. نیکل، کروم، روی و مس دارای آلودگی بالا و سرب دارای آلودگی به شدت بالا است. براساس مقدار میانگین شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI)، ۹۵/۹۱ درصد نمونه ها دارای سطح بالای آلودگی است که این امر نشان دهنده آن است که عملیات اکتشاف نفت تاثیر معنی داری بر اکولوژی منطقه مورد مطالعه دارد. براساس مقدار میانگین شاخص ریسک (RI)، نمونه ها دارای ریسک قابل توجه است.

تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح درون دانشگاهی تحت عنوان "ارزیابی زیست محیطی فلزات سنگین در خاک حاشیه بزرگراه های کلان شهر اهواز" استخراج شده و هزینه آن توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز تامین گردیده است که بدین وسیله قدردانی می گردد.

مواد تشکیل دهنده نفت خام وجود دارند که بسیار خطرناک هستند. مطالعات متعدد نشان داد که نیکل، سرب و کروم مسئول بیماری های خاص در انسان مانند مشکلات کلیوی، کبدی و سرطان هستند (۲۳). این فلزات و به خصوص سرب می تواند عملکرد اکولوژیکی منطقه ای را که دارای غلظت بالایی هستند را تحت تاثیر قرار دهند (۲). بنابراین کاهش سطوح فلزات سنگین به منظور جلوگیری از خطر بالقوه این فلزات در محیط زیست بایستی مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه گیری

غلظت تمام فلزات سنگین به جز وانادیوم در نمونه های خاک میدان نفتی اهواز چندین برابر بیشتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) است. مقدار میانگین فاکتور غنی شدگی (EF) تمام فلزات سنگین به جز وانادیوم بیشتر از ۱/۵ است که این امر نشان دهنده انسان زاد بودن منبع این فلزات سنگین در

منابع

1. Ize-Iyamu O, Bernard AE. The effects of petroleum exploration and production operations on the heavy metals contents of soil and groundwater in the Niger Delta. *International Journal of Physical Sciences*. 2007;2(10):271-75.
2. Ogunkunle CO, Fatoba PO. Pollution loads and the ecological risk assessment of soil heavy metals around a mega cement factory in southwest Nigeria. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2013;22(2):487-93.
3. Kamalu O, Wokocha C. Land Resource Inventory and Ecological Vulnerability: Assessment of Onne Area in Rivers State, Nigeria. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*. 2011;3(5):438-47.
4. Zabbey N, Olsson G. Conflicts – Oil Exploration and Water. *Global Challenges*. 2017;1(5):1600015.
5. Ite AE, Ibok UJ, Ite MU, Petters SW. Petroleum exploration and production: past and present environmental issues in the Nigeria's Niger Delta. *American Journal of Environmental Protection*. 2013;1(4):78-90.
6. 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*. 2017:1-12.
7. Cram S, Siebe C, Ortíz-Salinas R, Herre A. Mobility and persistence of petroleum hydrocarbons in peat soils of southeastern Mexico. *Soil & Sediment Contamination*. 2004;13(5):341-60.
8. Fatoba PO, Ogunkunle CO, Ihaza CO. Assessment of Metal Pollution of Soil and Diagnostic Species Associated with Oil Spills in the Niger Delta, Nigeria. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2015;71(3):13-22.
9. Ebenezer A, Eremasi Y. Determination of heavy metals in water sediments and tilapia zilli from kolo-creek, Ogbia local government area, Bayelsa state, Nigeria. *Scientia Africana*. 2012;11(1):44-52.
10. Ravankhah N, Mirzaei R, Masoum S. Evaluation of geoaccumulation index, contamination factor, and principal component analysis for estimating soil contamination. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2015;8(3):345-56. (in Persian)
11. Moradi Q, Mirzaei R. Spatial variability analysis of heavy metals in street dusts of Kashan City. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2017;9(4):443-56. (in Persian)
12. Baldacchini C, Castanheiro A, Maghakyan N, Sgrigna G, Verhelst J, Alonso R, et al. How does the amount and composition of PM deposited on *Platanus acerifolia* leaves change across different cities in Europe? *Environmental Science and Technology*. 2017;51(3):1147-56.
13. Benhaddya ML, Boukhelkhal A, Halis Y, Hadjel M. Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2016;70(3):556-71.
14. Simon E, Vidic A, Braun M, Fábíán I, Tóthmérész B. Trace element concentrations in soils along urbanization gradients in the city of Wien, Austria. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20(2):917-24.
15. Lu X, Wang L, Lei K, Huang J, Zhai Y. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;161(2):1058-62.
16. 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.
17. Yu L, Zhang B, Zhang S-q. 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.
18. Yang Z, Lu W, Long Y, Bao X, Yang Q. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 2011;108(1):27-38.
19. Lu A, Wang J, Qin X, Wang K, Han P, Zhang S. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and origin of heavy metals in the agricultural soils in Shunyi, Beijing, China. *Science of the Total Environment*. 2012;425:66-74.
20. Zhang J, Liu C. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China—weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2002;54(6):1051-70.
21. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*. 1980;14(8):975-1001.
22. Mmolawa K, Likuku A, Gaboutloeloe G. Assessment of heavy metal pollution in soils along major roadside areas in Botswana. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 2011;5(3):186-96.
23. Bada BS, Olarinre TA. Characteristics of soils and heavy metal content of vegetation in oil spill impacted land in Nigeria. *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, sediments, Water and Energy*; 2012. USA: The Berkeley Electronic Press; 2012.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Evaluation of the level of pollution and potential ecological risk of some heavy metals in surface soils in the Ahvaz oil-field

A Nazarpour¹, N Ghanavati^{2,*}, T Babaenejad²

1- Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

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

ARTICLE INFORMATION:

Received: 29 July 2017

Revised: 23 September 2017

Accepted: 26 September 2017

Published: 12 December 2017

Key words: Heavy metals, Enrichment factor, Nemrow-integrated pollution index, Potential ecological risk

***Corresponding Author:**
N.ghanavati@iauahvaz.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: The aim of the present study was to investigate the concentration, enrichment factor, Nemrow integrated pollution index, and potential ecological risk of heavy metals including (Pb, Ni, Cu, Zn, Cd, V and Cr) in surface soils of Ahvaz oil field.

Materials and Methods: For this purpose, 49 soil samples with a systematic scheme from Ahvaz oil field were analyzed by atomic absorption method.

Results: The mean concentration of heavy metals was as follow: Pb (251.20), Ni (94.6), Cu (75.80), Zn (132.84), Cd (0.69), V (4.97) and Cr (141.48) (mg/kg). The average value of enrichment factor in the soil samples decreased as Pb>Ni>Cu>Cr>Zn>Cd>V. Nemrow integrated pollution index (NIPI) indicated high level of pollution for the studied heavy metals except V. The Potential ecological risk of the studied heavy metals showed a low potential ecological risk for V, Cd, Zn and Cr; Cu showed a moderate risk and Ni and Pb indicated a considerable ecological risk. The mean value of the risk index indicated that 27 (55.10%) of the soil samples with a moderate risk, 21 (42.85%) with a considerable risk and one sample (2.05%) with a high ecological risk.

Conclusion: The obtained results from the enrichment factor, Potential ecological risk, and risk index indicated that the main source of heavy metals in the study area were anthropogenic sources such as oil drilling activities.