مجله مهندسی بهداشت محیط، زمستان ۱۴۰۲، سال ۱۱، شماره ۲: ۱۴۶-۱۶۲

شاخص‌های خطر سلامت و بوم‌شناسی عناصر بالقوه سمی در خاک‌های سطحی میدان نفتی منصوری در جنوب شرق اهواز

محمد ولایت‌زاده[1]*، محمدرضا مودی[2]، مهدی میرنیا[3]

[1] گروه ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی کاسپین، قزوین، ایران
[2] کارشناس بهداشت کار و محیط زیست، واحد HSE، نیروگاه گازی زاهدان، زاهدان، ایران
[3] دانش آموخته مهندسی صنایع، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰

چکیده

زمینه و هدف: : عناصر بالقوه سمی[1] جزء آلاینده‌های خطرناک محیط‌زیست هستند و برای انسان سرطان‌زا می باشند. این تحقیق در سال ۱۳۹۹ با هدف برآورد و ارزیابی خطرات سلامتی انسان و بوم شناسی محیط زیست عناصر بالقوه سمی در خاک‌های سطحی میدان نفتی منصوری انجام شد.

مواد و روش ها: در این پژوهش در مجموع از هفت منطقه مورد مطالعه نمونه خاک تهیه گردید. در هر ایستگاه، پنج نمونه تصادفی از یک منطقه ۵ متر مربعی در یک نمونه مرکب مخلوط شدند و ۱ کیلوگرم خاک سطحی (عمق ۰ تا ۲۰ سانتیمتر) در کیسه‌های پلی‌اتیلن جمع‌آوری شد، بنابراین ۱۰۵ نمونه خاک تهیه گردید.

یافته ها: میانگین غلظت کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، وانادیوم، مس و روی در خاک های سطحی میدان نفتی منصوری به ترتیب ۱/۰۵، ۶۹/۱۱، ۸۶/۷۹، ۹۹/۱۴، ۲۳/۷۶، ۶۵/۳۴ و ۱۱۸/۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. بالاترین و پایین ترین مقادیر شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه، مربوط به کادمیوم (۱۵۷/۵۰) و وانادیوم (۰/۳۴) بود. شاخص خطر سرطان زایی برای عنصر کروم درمورد بزرگسالان ($5/25\times10^{-5}$) و کودکان ($3/91\times10^{-4}$) بالاتر از کادمیوم، سرب، نیکل و وانادیوم به دست آمد.

نتیجه گیری: شاخص های آلودگی عناصر سمی بالقوه نظیر مقادیر فاکتور آلودگی، فاکتور غنی شدگی و شاخص زمین انباشت نشان داد که سرب و کادمیوم بیشترین تاثیر را بر روی آلودگی خاک داشتند که سطوح عناصر بالقوه سمی غلظت بالایی را در مقایسه با مقادیر زمینه و میانگین جهانی داشت که این نشان دهنده این است که نشت نفت خام، تردد وسایل نقلیه سبک و سنگین و فعالیت های انسانی مرتبط در این منطقه به میزان قابل توجهی در افزایش سطوح عناصر بالقوه سمی در این خاک ها کمک کرده است. به نظر می رسد عناصر بالقوه سمی که سلامت انسان را تهدید نمی کنند و مشکلات بهداشتی و بیماری‌زایی را به وجود نمی آورند.

واژه های کلیدی: عناصر بالقوه سمی، فلزات سمی، آلودگی خاک، سلامت انسان، شاخص خطر سرطان‌زایی

* گروه ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی کاسپین، قزوین، ایران
نویسنده مسئول: mv.5908@gmail.com ، شماره تماس: ۰۹۱۶۶۱۶۵۸۴۵

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

مقدمه

پیشرفت صنایع و توسعه میادین نفت و گاز باعث افزایش آلودگی‌های محیطی شده و در دهه های اخیر به طور چشمگیری بر پوشش خاک تأثیر گذاشته و منجر به تغییرات قابل توجهی در خواص خاک‌های سطحی شده است[1]. یکی از مشکلات به وجود آمده برای خاک‌های شهری، کشاورزی و صنعتی عناصر بالقوه سمی هستند[2]، زیرا این آلاینده ها به راحتی در منابع خاک انباشته می شوند و بسیار سمی می باشند و تجزیه و حذف آن‌ها از محیط دشوار است[3]. عناصر بالقوه سمی پس از ورود به اکوسیستم، مستعد از بین بردن تعادل اکولوژیکی و تأثیرگذاری بر سلامت انسان از طریق زنجیره غذایی هستند و نگرانی های گسترده ای را در جهان ایجاد کردند[4]. عناصر بالقوه سمی خاک به طور عمده شامل منابع طبیعی و انسان‌ساز هستند که در میان آن‌ها منابع حاصل از فعالیت های انسانی عمدتاً مربوط به استخراج فلزات، ذوب و پردازش فلزات، انتشار اگزوز خودروها و فعالیت های استخراج و حفاری چاه نفت و گاز است[5]. انتشارات ناشی از منابع طبیعی مرتبط با فرآیندهای زمین شناسی منطقه است که در میادین نفتی به دلیل حفاری و استخراج نفت بسیار مهم می‌باشد[6]. مطالعات و تحقیقات نشان داده است که گزارش‌های کمی درمورد ارزیابی آلودگی و خطر عناصر سمی بالقوه خاک اطراف کارخانه‌های تولید نفت وجود دارد. نفت خام به طور کلی غنی از عناصر بالقوه سمی مختلف است و در فرآیند استخراج چاه های نفت، بهره برداری نفت و گاز، حمل و نقل نفت و گاز و نگهداری چاه های نفت و غیره می تواند باعث نشت نفت خام شود و منجر به تجمع عناصر بالقوه سمی در خاک اطراف کارخانه های تولید چاه نفت شود[7،8].

مدل ریسک اکولوژیکی بالقوه[1] به طور کلی سطح سمیت عناصر بالقوه سمی، ارزش پس‌زمینه محیطی هر عنصر بالقوه سمی را در نظر می‌گیرد و از ضریب پاسخ سمیت و مقدار پس‌زمینه مربوطه برای ارزیابی جامع خطر اکولوژیکی عناصر بالقوه سمی استفاده می‌کند. این روش به طور گسترده برای ارزیابی ریسک اکولوژیکی بالقوه ناشی از عناصر بالقوه سمی در خاک استفاده می شود[9]. مدل ارزیابی خطر سلامت انسان[2] پیشنهاد شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده برای ارزیابی خطرات سلامتی بزرگسالان و کودکان استفاده می شود. مدل ارزیابی خطر سلامت انسان میانگین قرار گرفتن در معرض روزانه عناصر بالقوه سمی را در سه مسیر مصرف خوراکی، استنشاق دهان و بینی و تماس مستقیم با پوست محاسبه می‌کند و آن را با دوز مرجع و فاکتور شیب ترکیب می‌کند تا خطر سرطان زایی و غیرسرطان‌زا بودن ناشی از عناصر بالقوه سمی برای کودکان و بزرگسالان را تعیین کند[10،11]. مدل ارزیابی خطر سلامت انسان خطرات غیرسرطان‌زایی و خطرات سرطان‌زایی را که هر عنصر ممکن است ایجاد کند، کمّی می‌کند و سهم هر عنصر سمی بالقوه را در خطر سلامتی انسان نشان می‌دهد تا عناصر اصلی کمک کننده که منجر به خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی می‌شوند را تعیین کند[12].

عناصر بالقوه سمی به عنوان تهدیدهای خطرناک برای سلامت انسان در نظر گرفته می شوند و سلامت یک فرد مدرن در طول دوره بیماری به طور مستقیم با عناصر بالقوه سمی ورودی به بدن مرتبط است[13]. در تحقیقات متعددی مقادیر مختلف عناصر بالقوه سمی سرب، نیکل، وانادیوم، روی، کادمیوم، سرب، مس و کروم در خاک های سطحی و رسوبات موجود در میادین نفتی اهواز[6،14]، یادآوران[15]، یاران شمالی[16] و در استان خوزستان گزارش شده است.

عناصر بالقوه سمی روی، مس، آهن، کبالت و مولیبدن در غلظت های پایین تر به عنوان کوفاکتور در فرآیندهای متابولیکی و سایر فرآیندهای بیولوژیکی مختلف عمل می کنند[17]. بدن انسان

[1]- Potential Ecological Risk
[2]- Human Health Risk

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

به بیش از ٦٥ فلز، فلز سنگین، عناصر ضروری و عنصر کمیاب نیاز دارد، در حالی که تعدادی دیگر مانند سرب، جیوه، آرسنیک و کادمیوم برای بدن انسان سمی هستند. بدن انسان نمی تواند عناصر بالقوه سمی را متابولیزه کند و بنابراین می توانند در طبیعت بسیار سمی باشند[18]. آرسنیک و کادمیوم به عنوان عوامل شیمیایی سرطان زا برای انسان شناخته شده اند. علاوه بر این، آسیب پوست و کلیه به ترتیب با قرار گرفتن در معرض آرسنیک و کادمیوم مرتبط است. اثرات نامطلوب بر سلامت انسان شامل کم خونی ناشی از سرب، اختلالات کلیوی و کبدی ناشی از جیوه است. همچنین مس مسئول مشکلات معده در انسان می باشد[19،20].

نفت یکی از پر تقاضاترین منابع طبیعی زمین است. اگرچه کاربردهای متعددی دارد، اما تأثیر زیست محیطی صنعت نفت به نسبت گسترده است[15]. تمام فعالیت های مربوط به اکتشاف، تولید، ذخیره سازی و حمل و نقل نفت و گاز شامل تولید پسماندهای مرتبط با خطرات بالقوه برای محیط زیست است[6]. هنگامی که تجمع عناصر سمی بالقوه در خاک از محدوده آستانه ایمنی فراتر رود، تعادل اکولوژیکی و سلامت انسان به خطر می‌افتد. بنابراین، ارزیابی آلودگی و ارزیابی ریسک عناصر سمی بالقوه خاک در اطراف کارخانه‌های تولید نفت از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به اینکه میدان نفتی منصوری دارای تعداد زیادی چاه نفت بوده و تاکنون مطالعات آلودگی عناصر سمی بر روی خاک آن انجام نشده است، این تحقیق با هدف برآورد و ارزیابی خطرات سلامتی انسان و بوم شناسی محیط زیست عناصر بالقوه سمی در خاک های سطحی میدان نفتی منصوری انجام شد.

مواد و روش

معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

میدان نفتی منصوری با مختصات ″٠٦ ′٤٤ °٤٨ تا ″٤١ ′٥٩ °٤٨ طول جغرافیایی و ″١٦ ′٤٦ °٣٠ تا ″١٦ ′٠٤ °٣١ عرض جغرافیایی، یکی از میادین نفتی مناطق نفت‌خیر جنوب واقع در ٤٥ کیلومتری جنوب شرقی کلانشهر اهواز در استان خوزستان قرار دارد. میدان نفتی منصوری در مجاورت میادین نفتی اهواز، آب تیمور و رامشیر و تالاب شادگان واقع شده و دارای ٣٠ کیلومتر طول و حدود ٣/٥ کیلومتر عرض می باشد[21].

نمونه‌برداری

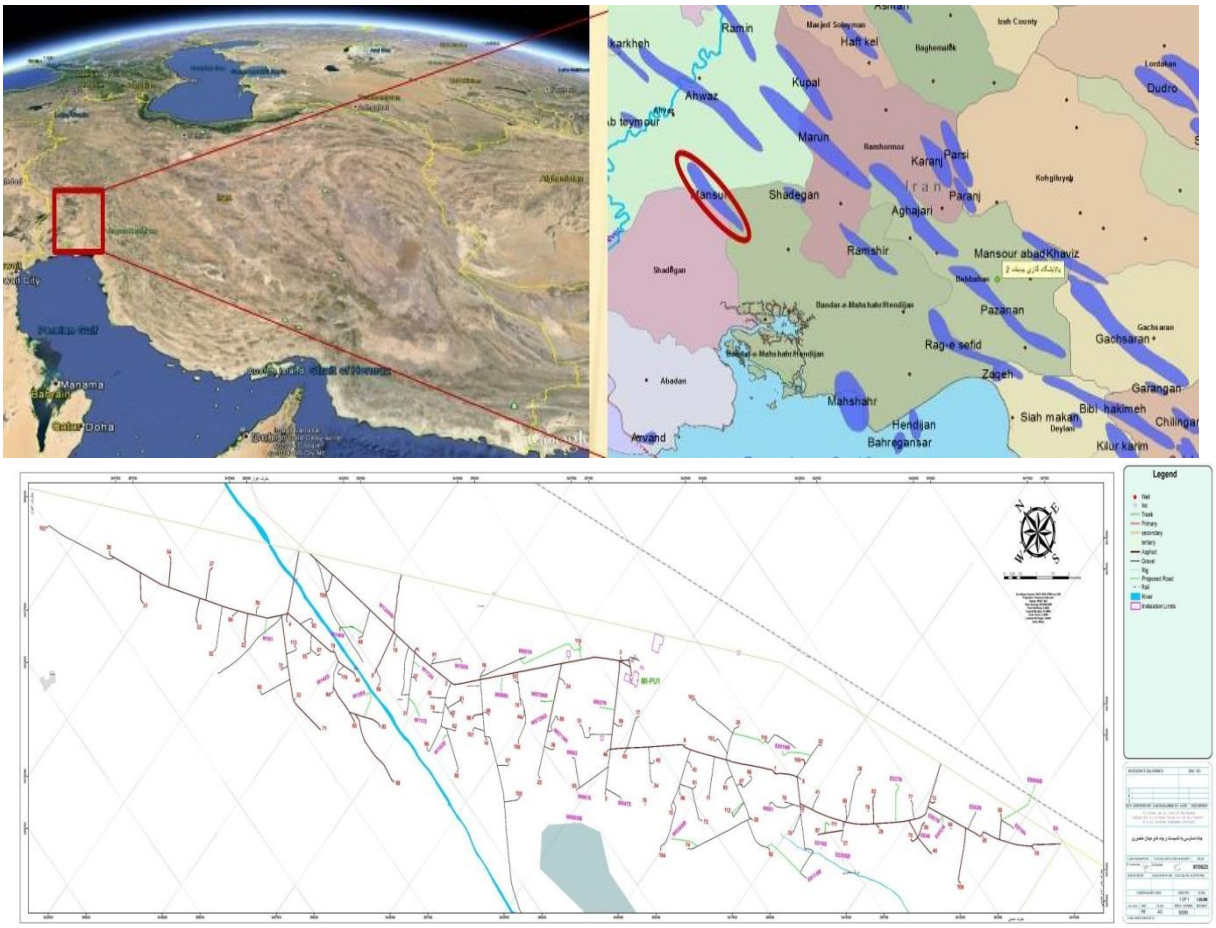
در این پژوهش با توجه به اینکه میدان نفتی منصوری ٣٠ کیلومتر طول دارد، هر ٥ کیلومتر یک ایستگاه تعیین شد و یک ایستگاه دیگر برای نمونه برداری خاک پاکیزه و بکر درنظر گرفته شد. در مجموع از هفت منطقه مورد مطالعه نمونه خاک تهیه گردید. در هر ایستگاه، پنج نمونه تصادفی از یک منطقه ٥ متر مربعی در یک نمونه مرکب مخلوط شدند و ١ کیلوگرم خاک سطحی (عمق ٠ تا ٢٠ سانتیمتر) در کیسه های پلی اتیلن جمع آوری شد، بنابراین ١٠٥ نمونه خاک تهیه گردید. اطلاعات مکان نمونه برداری با استفاده از سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) ثبت شد (جدول ١). تمام نمونه‌های خاک در هوا خشک شده، از پسماندها آزاد شده و از یک الک پلی اتیلن ١٠٠ مش عبور داده شدند. سپس نمونه ها قبل از تعیین در بطری های پلی اتیلن نگهداری شدند[22].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

جدول ۱. مختصات جغرافیایی محل های نمونه برداری خاک در میدان نفتی منصوری

شماره ایستگاه	نام محل و موقعیت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
اول	روستای خسروی	″۵۷/۱ ′۰۲ °۳۱	″۱۸/۲ ′۴۸ °۴۸
دوم	جاده دسترسی	″۳۸/۸ ′۵۷ °۳۰	″۰۰/۸ ′۴۹ °۴۸
سوم	واحد بهره برداری	″۲۵/۳ ′۵۵ °۳۰	″۳۰/۵ ′۵۱ °۴۸
چهارم	چاه نفت	″۳۹/۹ ′۵۳ °۳۰	″۰۸/۹ ′۵۰ °۴۸
پنجم	چاه نفت	″۲۳/۵ ′۵۷ °۳۰	″۰۹/۲ ′۴۸ °۴۸
ششم	چاه نفت	″۴۸ ′۵۲ °۳۰	″۲۱/۹ ′۵۲ °۴۸
هفتم	روستای منصوره	″۴۳/۸ ′۴۹ °۳۰	″۴۳/۴ ′۵۳ °۴۸



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی میدان نفتی منصوری در جنوب غرب ایران، استان خوزستان

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

سنجش عناصر بالقوه سمی

هضم شیمیایی نمونه‌های خاک به کمک اسیدهای $HCl\text{-}HNO_3\text{-}HClO_4$ انجام شد. پنج گرم از نمونه‌های خاک جمع‌آوری‌شده در اسید HNO_3 و هیدروفلوئوریک بسیار خالص شده در اسیدهای کلریک (۵ میلی‌لیتر HNO_3 و ۵ میلی‌لیتر HCl و $HClO_4$) مخلوط شدند تا نمونه‌ها برای اندازه‌گیری غلظت عناصر بالقوه سمی تجزیه شوند. پس از هضم شیمیایی، محتویات عناصر کادمیوم، سرب، نیکل، وانادیوم، کروم، روی و مس خاک با استفاده از طیف سنجی جرمی پلاسمایی جفت القایی (ICP-MS)[1] اندازه گیری شد. نمونه ها با یک اسید کلریدریک معمولی به داخل یک بالون ۵۰ سی سی پمپ شده و به دستگاه ICP Varian 710-ES از پیش کالیبره شده تزریق شدند و مقدار عناصر در هر نمونه تعیین شد[۲۳]. نتایج تجزیه و تحلیل زمانی قابل اعتماد بود که خطای تجزیه و تحلیل نمونه تکراری زیر ۵ درصد بود و دقت تحلیلی برای نمونه های تکراری در محدوده ۱۰± بود. بازیابی عناصر از ۸۵ تا ۱۱۰ درصد متغیر بود و مقادیر انحراف استاندارد نسبی (RSD)[2] کمتر از ۵ درصد بود. علاوه بر این، محدودیت های تشخیص عناصر به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۲، ۲، ۰/۲، ۲، ۲ و ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای عناصر کادمیوم، سرب، کروم، مس، روی، نیکل و وانادیوم می‌باشد. رویه های کنترل کیفیت (QC)[3] و تضمین کیفیت[4] (QA) انجام شد. برای هر گروه ۵ نمونه، یک نمونه خالی و یک نمونه ماتریسی برای محاسبه دقت استفاده می شود. هر نمونه خاک در سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

شاخص های سلامت انسان

در این مطالعه، خطرات سلامت برای بزرگسالان و کودکان از طریق مدل ارزیابی خطر سلامت انسان پیشنهاد شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده محاسبه شد. کسب پارامترهای مواجهه بر اساس دستورالعمل ها و تحقیقات میدانی بود. عناصر سمی بالقوه خاک ممکن است از سه راه بلع مستقیم، استنشاق از طریق دهان و بینی و تماس مستقیم پوستی وارد بدن انسان می شوند. میانگین دوزهای مواجهه روزانه[5] عناصر سمی بالقوه را می توان به صورت زیر محاسبه کرد[۲۴]:

رابطه ۱

$$\mathbf{ADD_{ing}} = \frac{\mathbf{C \times IngR \times CF \times EF \times ED}}{\mathbf{BW \times AT}}$$

رابطه ۲

$$\mathbf{ADD_{inh}} = \frac{\mathbf{C \times InhR \times EF \times ED}}{\mathbf{PEF \times BW \times AT}}$$

رابطه ۳

$$\mathbf{ADD_{dermal}} = \frac{\mathbf{C \times SA \times CF \times AF \times ABF \times EF \times ED}}{\mathbf{BW \times AT}}$$

که در این رابطه‌ها، ADD_{dermal}, ADD_{inh}, ADD_{ing} به ترتیب مقدار میانگین جذب روزانه فلزات (mg/kg-day) از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی است. C غلظت فلزات در خاک (mg/kg)، IngR و InhR به ترتیب نرخ بلع و نرخ تنفس عناصر بالقوه سمی از خاک (mg/day و m^3/day)، EF فراوانی قرارگیری در معرض فلزات (day/year)، ED مدت قرارگیری در معرض فلزات (year)، BW وزن بدن شخص قرار گرفته در معرض فلزات (Kg)، AT مدت زمان قرارگیری در معرض هر مقدار از فلزات به‌طور میانگین (day)، EF فاکتور انتشار فلزات از خاک به هوا (m^3/kg)، SA ناحیه-ای از سطح پوست قرار گرفته در معرض فلزات (cm^2)، AF فاکتور چسبندگی خاک به پوست (mg/cm^2-day)

[1]- Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
[2]- Relative Standard Deviation
[3]- Quality Control
[4]- Quality Assurance
[5]- Average daily exposure doses (ADDs)

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

و ABF فاکتور جذب سطحی پوست (بدون واحد) است[۲۴].

شاخص کل ضریب خطر غیر سرطان‌زایی به شرح زیر محاسبه شد (رابطه ٤) که در آن HI کل شاخص خطر غیر سرطانی، HQi یک شاخص خطر غیر سرطانی یک مسیر برای عنصر سمی است. R_fDi دوز مرجع برای کادمیوم، سرب، نیکل، وانادیوم، کروم، روی و مس است. اگر مقادیر HI بالاتر از یک باشد، اثرات منفی احتمالی بر سلامتی وجود دارد، اگر HI پایین تر از ۱ باشد، هیچ اثری وجود ندارد[۲۵].

رابطه ٤

$$\mathbf{HI = \Sigma HQ_i = \sum \frac{ADD_i}{R_fD_i}}$$

شاخص خطر کل سرطان زایی به شرح رابطه ۵ محاسبه شد که در آن CR ضریب خطر کل سرطان زایی است. CRi یک ضریب خطر سرطان یک مسیر برای هر عنصر سمی است. SFi ضریب شیب می باشد که برای عناصر کادمیوم، سرب، نیکل و کروم به ترتیب ۱۵، ۰/۸۵، ۰/۹۱ و ۰/۵ است. اگر مقادیر خطر سرطان بالاتر از $۱۰^{-٤}$ باشد، سلامت انسان می تواند به طور منفی تحت تاثیر قرار گیرد. اگر بین $۱۰^{-٤}$ تا $۱۰^{-٦}$ باشد، سلامت انسان می تواند سطح قابل قبولی داشته باشد. اگر کمتر از $۱۰^{-٦}$ باشد، هیچ تاثیری بر سلامت انسان ندارد[۲۵].

رابطه ۵

$$\mathbf{CR = \sum ADD_i \times SF_i}$$

شاخص‌های آلودگی خاک

فاکتور آلودگی (C_f) به عنوان اولین شاخص آلودگی عناصر بالقوه سمی استفاده شد که در این معادله C_n غلظت هر عنصر در خاک مورد مطالعه و C_o متوسط غلظت عنصر در زمینه بود (رابطه ٦). متوسط غلظت هر عنصر در زمینه برای عناصر سرب، کادمیوم، کروم، مس، وانادیوم، نیکل و روی به ترتیب ۱۳، ۰/۲، ۱۰۰، ۵۵، ۱۳۵، ۷۵ و ۷۰ درنظر گرفته شد. فاکتور آلودگی کمتر از ۱ رده آلودگی کم، دامنه ۳–۱ رده آلودگی متوسط، دامنه ٦–۳ رده آلودگی زیاد و بالاتر از ٦ رده شدیدا آلوده را نشان می‌دهد. مجموع فاکتور آلودگی عناصر بالقوه سمی نشان دهنده درجه آلودگی عناصر سمی (Cdeg) بود که بر اساس رابطه ۷ محاسبه شد. درمورد درجه آلودگی نیز مقادیر کمتر از ۸ رده آلودگی کم، دامنه ١٦–۸ رده آلودگی متوسط، دامنه ۳۲–١٦ رده آلودگی زیاد و بالاتر از ۳۲ رده شدیدا آلوده را نشان می-دهد[۲٦]. با توجه به محدودیت‌های رابطه ۷ که درخصوص درجه آلودگی (Cdeg) بود، Abrahim (۲۰۰۵) درجه آلودگی اصلاح شده (mCd)[1] را معرفی کرد که از رابطه ۸ به دست آمد. مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده کمتر از ۱/۵ غیرآلوده تا آلودگی بسیار اندک، درجه آلودگی بین ۱/۵ تا ۲ آلودگی اندک، درجه آلودگی بین ۲ تا ٤ آلودگی متوسط، درجه آلودگی بین ٤ تا ۸ آلودگی زیاد، درجه آلودگی بین ۸ تا ١٦ آلودگی بسیار زیاد، درجه آلودگی بین ١٦ تا ۳۲ آلودگی فوق العاده زیاد و درجه آلودگی بیشتر از ۳۲ آلودگی بی نهایت زیاد توصیف آلودگی محیط بر اساس درجه آلودگی اصلاح شده را نشان می‌دهد[۲۷]. شاخص بار آلودگی بر اساس رابطه ۹ محاسبه شد. در این معادله CF فاکتور آلودگی بوده که از معادله فاکتور آلودگی برای هر عنصر سمی به دست آمد. مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر (غیرآلوده) تا ۱۰ (بسیار آلوده) تغییر می‌کند. به‌طور معمول مقادیر کوچکتر از ۱ نشان دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگتر از ۱ نشان دهنده آلودگی نسبت به فلزات

[1]- modified Contamination Degree

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

سنگین است[۲۶]. فاکتور غنی شدگی شدت تاثیر انسان‌زاد (آنتروپوژنیک) عناصر بالقوه سمی می‌باشد که بر اساس رابطه ۱۰ محاسبه شد. در این معادله EF فاکتور غنی شدگی، C_i غلظت عنصر اندازه گیری شده در نمونه‌های خاک، C_n غلظت آهن سنجش شده در نمونه‌های خاک، C_x غلظت عنصر موردنظر در زمینه و C_{Ref} غلظت عنصر مرجع (آهن) در زمینه است. در این پژوهش عنصر آهن به عنوان عنصر مرجع درنظر گرفته شد که در نمونه های خاک بکر و دور از فعالیت های انسانی ۲۵۹۸۰/۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم بود و غلظت زمینه آهن ٤١٠٠٠ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. همچنین متوسط غلظت هر عنصر در زمینه برای عناصر سرب، کادمیوم، کروم، مس، وانادیوم، نیکل و روی به ترتیب ۱۳، ۰/۲، ۱۰۰، ۵۵، ۱۳۵، ۷۵ و ۷۰ درنظر گرفته شد. دامنه تغییرات کمتر از ۲ غنی شدگی کم، در دامنه ۵-۲ غنی شدگی متوسط، ۲۰-۵ غنی شدگی زیاد، ٤٠-۲۰ غنی شدگی بسیار زیاد و بالاتر از ٤٠ غنی شدگی به شدت زیاد را بر اساس فاکتور غنی شدگی نشان می-دهد[۹]. برای تحلیل درجه آلایندگی عناصر بالقوه سمی خاک از شاخص زمین انباشت استفاده می شود که از رابطه ۱۱ محاسبه شد. در این رابطه Igeo شاخص زمین انباشتگی، Cn غلظت فلز سنگین موجود در خاک، Bn غلظت زمینه (متوسط شیل) می‌باشد. اساس طبقه‌بندی مولر بر مبنای هفت کلاس آلودگی، ۰>Igeo غیرآلوده، ۱-۰ غیر آلوده تا کمی آلوده، ۲-۱ کمی آلوده، ۳-۲ کمی آلوده تا خیلی آلوده، ٤-۳ خیلی آلوده، ۵-٤ خیلی آلوده تا شدیداً آلوده و ۵ < شدیدا آلوده بوده است[۲۸].

رابطه ٦:

$$C_f = C_n \div C_o$$

رابطه۷:

$$C_{deg} = \Sigma C_f$$

رابطه۸:

$$mCd = \Sigma Cf \div n$$

رابطه ۹:

$$PLI = \sqrt[7]{CFCd \times CFNi \times CFPb \times CFCu \times CFZn \times CFV \times CFCr}$$

رابطه ۱۰:

$$EF = (C_i / C_n)_{Sample} \div (C_x / C_{Ref})_{Background}$$

رابطه ۱۱:

$$Igeo = Log_2 (Cn/1.5*Bn)$$

شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه

شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه بر اساس رابطه‌های ۱۲ و ۱۳ محاسبه شدند. در این رابطه CF فاکتور آلودگی، Er ریسک اکولوژیکی هر عنصر مورد مطالعه، RI ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد. Hakanson (۱۹۸۰) مقدار TR شاخص سمی بودن عناصر بالقوه سمی است و برای عناصر سرب، کادمیوم، کروم، مس، وانادیوم، نیکل و روی به ترتیب ۵، ۳۰، ۲، ۵، ۲، ۵ و ۱ می باشد. مقدار ریسک اکولوژیک کمتر از ۱۵۰ خطر اکولوژیکی کم، دامنه ۳۰۰-۱۵۰ خطر اکولوژیکی متوسط، ٦۰۰-۳۰۰ خطر اکولوژیکی شدید و بالاتر از ٦۰۰ خطر اکولوژیکی خیلی شدید را نشان می‌دهد. ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر (RI) رده‌بندی کمتر از ٤۰ خطر کم، دامنه ۸۰-٤۰ خطر متوسط، ۱٦۰-۸۰ خطر بالا، ۳۲۰-۱٦۰ خطر شدید و بالاتر از ۳۲۰ خطر خیلی شدید را دارد[۲٦].

رابطه۱۲:

$$Er = TR \times CF$$

رابطه۱۳:

$$RI = \sum Er$$

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS24 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. آزمون کولموگراف ـ اسمیرنوف برای نرمال بودن داده به کاربرده شد. از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA-oneway) برای تعیین اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها و برای بررسی میانگین مربعات از آزمون توکی (Tukey) استفاده شد. همچنین برای رسم جداول و محاسبات شاخص‌های آلودگی از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده گردید. برای منشایابی فلزات سنگین برای بررسی ارتباط داده‌های فلزات سنگین از همبستگی Pearson و برای منشایابی فلزات از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد.

یافته‌ها

پارامترهای آماری عناصر بالقوه سمی سرب، کادمیوم، کروم، مس، وانادیوم، نیکل و روی شامل میانگین، انحراف معیار، خطای استاندارد، چولگی و کشیدگی در خاک‌های سطحی میدان نفتی منصوری در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر کشیدگی و چولگی نشان داد که داده‌های مربوط به فلزات سنگین در نمونه‌های خاک نرمال است، زیرا مقادیر به‌دست آمده بین ۲- و ۲ به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل آزمون‌های کولموگراف ـ اسمیرنوف در خاک‌های سطحی نشان داد که مقادیر به‌دست آمده نرمال بودند و مقادیر آماری در بازه ۲- و ۲ به‌دست آمدند. تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که بین کادمیوم، وانادیوم، سرب، نیکل، روی، مس و کروم در خاک های سطحی میذان نفتی منصوری ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P<0.05$) (جدول ۳).

جدول ۲. میانگین غلظت عناصر سمی بالقوه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های سطحی میدان نفتی منصوری

منطقه	کادمیوم	سرب	نیکل	وانادیوم	کروم	مس	روی
ایستگاه اول	۰/۷۵	۵۱/۲۵	۸۱/۶۸	۱۸/۱۳	۹۵/۰۵	۷۱/۶۹	۹۱/۵۰
ایستگاه دوم	۰/۶۱	۶۸/۱۲	۸۲/۲۵	۱۹/۶۲	۹۷/۱۰	۵۳/۲۷	۹۰/۵۰
ایستگاه سوم	۱/۴۲	۸۵/۳۵	۹۴/۴۵	۲۵/۶۲	۱۱۱/۴۲	۶۹/۴۲	۱۱۹/۶۸
ایستگاه چهارم	۱/۱۲	۸۰/۰۹	۹۸/۱۸	۲۲/۶۱	۸۹/۱۸	۶۱/۲۸	۱۲۵/۳۲
ایستگاه پنجم	۰/۵۶	۴۷/۵۱	۷۹/۷۹	۲۹/۱۲	۱۰۰/۹۶	۷۱/۴۵	۱۵۱/۴۲
ایستگاه ششم	۲/۶۸	۱۱۲/۶۹	۹۹/۸۶	۳۶/۸۹	۱۲۹/۶۹	۷۸/۴۵	۱۶۸/۲۵
ایستگاه هفتم	۰/۲۷	۳۸/۷۵	۷۱/۳۶	۱۴/۳۸	۷۰/۵۹	۵۱/۸۲	۸۰/۸۹
میانگین	۱/۰۵	۶۹/۱۱	۸۶/۷۹	۲۳/۷۶	۹۹/۱۴	۶۵/۳۴	۱۱۸/۲۲
انحراف معیار	۰/۸۱	۲۵/۷۹	۱۰/۷۴	۷/۵۵	۱۸/۳۶	۱۰/۰۹	۳۲/۹۹
خطای استاندارد	۰/۰۷	۵/۴۵	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۴
چولگی	-۰/۱۵۱	-۰/۰۲۳	۱/۶۵۱	-۰/۲۵۱	-۱/۷۶۸	۰/۹۸۷	-۰/۵۵۵
کشیدگی	۰/۲۹۵	۱/۶۷۵	-۰/۰۴۵	۰/۹۷۸	۰/۶۶۶	-۱/۱۲۳	۰/۶۵۱
میانگین پوسته زمین[۲۹]	۰/۲	۱۳	۷۵	۱۳۵	۱۰۰	۵۵	۷۰
میانگین خاک‌های جهان[۳۰]	۰/۳۵	۳۵	۵۰	۹۰	۷۰	۳۰	۹۰

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

جدول ۳. تحلیل واریانس غلظت عناصر سمی بالقوه در خاک‌های سطحی میدان نفتی منصوری

پارامتر	نوع مقایسه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه F	سطح معنی‌داری
کادمیوم	میان گروهی	۱/۷۷۰	۱	۲/۲۲۵	۹/۱۱۱	۰/۰۱۲
	درون گروهی	۱۳/۶۹۳	۱۰۴	۰/۳۲۲		
	مجموع	۱۵/۴۶۳	۱۰۵			
سرب	میان گروهی	۲۵۶۵/۴۳۲	۱	۲۰۳۲/۵۶۷	۱/۶۶۵	۰/۰۳۵
	درون گروهی	۱۸۶۵۴/۳۲۲	۱۰۴	۳۷۸/۴۷۸		
	مجموع	۲۱۲۱۹/۷۵۴	۱۰۵			
نیکل	میان گروهی	۲۱/۳۵۵	۱	۲/۷۲۱	۷/۱۳۹	۰/۰۴۱
	درون گروهی	۳۲/۶۸۷	۱۰۴	۰/۶۷۷		
	مجموع	۵۴/۰۴۲	۱۰۵			
مس	میان گروهی	۳۴۵۰/۲۲۲	۱	۲۴۵/۱۲۰	۱/۴۴۴	۰/۰۲۲
	درون گروهی	۲۹۸۰/۴۳۰	۱۰۴	۳۷۸۰/۲۲۵		
	مجموع	۶۴۳۰/۶۵۲	۱۰۵			
روی	میان گروهی	۱۲۷۸۰/۹۸۰	۱	۵۶۷۸/۱۲۸	۴/۶۷۸	۰/۰۳۱
	درون گروهی	۳۷۸۹/۱۲۵	۱۰۴	۳۲۱۴/۹۹۰		
	مجموع	۵۰۷۰/۱۰۵	۱۰۵			
کروم	میان گروهی	۰/۲۷۸	۱	۰/۳۳۳	۰/۹۸۸	۰/۰۳۲
	درون گروهی	۰/۹۸۷	۱۰۴	۰/۰۲۶		
	مجموع	۱/۲۶۵	۱۰۵			
وانادیوم	میان گروهی	۶۷۸/۱۳۶	۱	۹۸۷/۵۶۷	۳/۸۷۶	۰/۰۰۱
	درون گروهی	۹۸۷۰/۴۵۰	۱۰۴	۲۳/۲۵۰		
	مجموع	۱۰۵۴۸/۵۸۶	۱۰۵			

مقادیر شاخص های آلودگی عناصر سمی بالقوه (میلی-گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های سطحی میدان نفتی منصوری در جدول ٤ ارائه شده اند. نتایج محاسبه شاخص های آلودگی عناصر سمی بالقوه نشان داد که الگوی مقادیر فاکتور آلودگی، فاکتور غنی شدگی و شاخص زمین انباشت به ترتیب مربوط به عناصر سرب، کادمیوم، روی، مس، نیکل، کروم و وانادیوم به دست آمد. بالاترین و پایین ترین مقادیر شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه، مربوط به کادمیوم (۱۵۷/۵۰) و وانادیوم (۰/۳٤) بوده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

جدول ٤. مقادیر شاخص های آلودگی عناصر سمی بالقوه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های سطحی میدان نفتی منصوری

شاخص های آلودگی	کادمیوم	سرب	نیکل	وانادیوم	کروم	مس	روی
میانگین	۱/۰۵	۶۹/۱۱	۸۶/۷۹	۲۳/۷۶	۹۹/۱۴	۶۵/۳۴	۱۱۸/۲۲
میانگین پوسته زمین[۲۹]	۰/۲	۱۳	۷۵	۱۳۵	۱۰۰	۵۵	۷۰
فاکتور آلودگی	۵/۲۵	۵/۳۱	۱/۱۵	۰/۱۷	۰/۹۹	۱/۱۸	۱/۶۸
فاکتور غنی شدگی	۸/۲۹	۸/۳۹	۱/۸۲	۰/۲۷	۱/۵۶	۱/۸۷	۲/۶۶
شاخص زمین انباشت	۱/۸۰	۱/۸۲	-۰/۳۷	-۳/۰۹	-۰/۵۹	-۰/۳۳	۰/۱۶
شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه	۱۵۷/۵۰	۲۶/۵۵	۵/۷۵	۰/۳۴	۱/۹۸	۵/۹۰	۱/۶۸
مجموع ریسک اکولوژیکی بالقوه				۱۹۹/۷۰			
درجه آلودگی				۱۵/۷۳			
درجه آلودگی اصلاح شده				۲/۲۴			
شاخص بار آلودگی				۱/۴۰			

شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) کروم، نیکل و سرب از راه بلع برای کودکان به ترتیب ۰/٤۲۲۵، ۰/۳۱۷۰ و ۰/۲۵۲٤ نسبت به راه تنفس و پوست بالاتر بود. پایین ترین شاخص خطر غیرسرطان‌زایی مربوط به عنصر روی برای بزرگسالان از راه تنفس ($٦/٣٦\times١٠^{-٧}$) به دست آمد. درمورد جذب عناصر بالقوه سمی از راه پوست، بالاترین و پایین ترین شاخص خطر غیرسرطان‌زایی مربوط به عناصر کروم (۰/۰۸٦۳) و روی ($٤/٠٣\times١٠^{-٤}$) برای بزرگسالان و کودکان بود (جدول ۵).

جدول ۵. شاخص خطر غیرسرطان زایی (HQ) بزرگسالان و کودکان مسیرهای قرار گرفتن در معرض عناصر سمی بالقوه

عناصر	بلع		تنفس		پوست	
بالقوه سمی	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان
کادمیوم	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۹۸	$۳/۷۶\times۱۰^{-۶}$	$۱/۶۹\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۵۴
سرب	۰/۲۵۲۴	۰/۰۳۳۸	$۷/۰۴\times۱۰^{-۵}$	$۳/۱۶\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۶۸
نیکل	۰/۳۱۷۰	۰/۰۴۲۵	$۸/۸۴\times۱۰^{-۵}$	$۳/۹۸\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۸۶
وانادیوم	۰/۱۰۱۲	۰/۰۱۳۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۸۱	۰/۰۲۰۶
روی	۰/۰۰۵۰	۰/۰۰۰۶	$۱/۴۱\times۱۰^{-۶}$	$۶/۳۶\times۱۰^{-۷}$	$۴/۰۳\times۱۰^{-۴}$	۰/۰۰۰۱
مس	۰/۰۲۰۸	۰/۰۰۲۸	$۵/۸۲\times۱۰^{-۶}$	$۲/۶۲\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲
کروم	۰/۴۲۲۵	۰/۰۵۶۶	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۳۳۸	۰/۰۸۶۳

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

شاخص کل خطر غیرسرطان زایی (HI) کروم و نیکل برای کودکان و بزرگسالان بالاتر از سایر عناصر سمی بالقوه به دست آمد. عنصر روی پایین ترین مقادیر شاخص کل خطر غیرسرطان زایی (HI) را داشت. شاخص خطر سرطان زایی برای عنصر کروم درمورد بزرگسالان ($۵/۲۵\times۱۰^{-۵}$) و کودکان ($۳/۹۱\times۱۰^{-۴}$) بالاتر از کادمیوم، سرب، نیکل و وانادیوم به دست آمد (جدول ٦).

جدول ٦. شاخص کل خطر غیرسرطان زایی (HI) و خطر سرطان زایی (CR) بزرگسالان و کودکان عناصر سمی بالقوه

شاخص-خطر	عناصر بالقوه سمی	کودکان	بزرگسالان
HI	کادمیوم	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷
	سرب	۰/۲۵۵	۰/۰۴۰
	نیکل	۰/۳۲۰	۰/۰۵۱
	وانادیوم	۰/۱۰۹	۰/۰۳۴
	روی	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۷
	مس	۰/۰۲۰	۰/۰۰۳
	کروم	۰/۴۵۷	۰/۱۴۳
CR	کادمیوم	$۶/۲۱\times۱۰^{-۷}$	$۸/۳۴\times۱۰^{-۸}$
	سرب	$۲/۷۲\times۱۰^{-۷}$	$۳/۶۶\times۱۰^{-۸}$
	نیکل	$۳/۴۲\times۱۰^{-۷}$	$۴/۵۹\times۱۰^{-۸}$
	وانادیوم	$۹/۳۸\times۱۰^{-۵}$	$۱/۲۵\times۱۰^{-۵}$
	کروم	$۳/۹۱\times۱۰^{-۴}$	$۵/۲۵\times۱۰^{-۵}$

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

بحث

میزان عناصر بالقوه سمی سرب، کادمیوم، کروم، مس، وانادیوم، نیکل و روی در ایستگاه ششم بالاتر از سایر ایستگاه های مورد مطالعه بود و در ایستگاه هفتم غلظت عناصر مورد مطالعه پایین ترین مقادیر را داشتند. می توان چنین بیان کرد که دلیل بالا بودن مقادیر عناصر بالقوه سمی در ایستگاه ششم این است که نمونه های خاک این ایستگاه مربوط به چاه شماره ۱۲۶ میدان نفتی منصوری بوده است. همچنین نمونه های خاک ایستگاه هفتم مربوط به منطقه روستایی منصوره علیا بوده که مسافت زیادی تا مرکزیت منطقه بهره برداری میدان نفتی منصوری دارد. نمونه های خاک ایستگاه های سوم، چهارم و پنجم نیز به ترتیب از مجاورت مناطق بهره برداری و چاه های نفت موجود در این میدان نفتی تهیه شدند. نمونه‌های خاک ایستگاه اول نیز از مجاورت روستای خسروی که در ابتدای میدان نفتی منصوری قرار دارد تهیه گردید و در ادامه نمونه های خاک ایستگاه دوم از مجاورت جاده دسترسی میدان نفتی به دست آمده است. در تحقیقی درنمونه های خاک میدان نفتی اهواز مقادیر مختلف عناصر سرب، کادمیوم، کروم، مس، وانادیوم، نیکل و روی گزارش شده است[۱۴] که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. در مطالعات دیگری نیز غلظت های مختلف عناصر بالقوه سمی در خاک های سطحی میدان نفتی یادآوران و یاران شمالی در غرب رودخانه کارون گزارش شده است[۱۵،۱۶] که با نتایج این تحقیق هم خوانی دارد. ترکیبات، مشتقات و هیدروکربن های نفتی حاوی عناصر بالقوه سمی مانند نیکل، کادمیوم، کبالت، مس، سرب، آهن، روی، کروم، منگنز، آرسنیک و بسیاری از فلزات هستند که برخلاف بسیاری از آلاینده ها مانند هیدروکربن های نفتی نمی توانند تجزیه شوند و در نتیجه جذب قوی بسیاری از یون های فلزی بر روی کلوئیدهای هیومیک و رسی در خاک، اثرات طولانی مدتی در خاک دارند[۳۱]. با توجه به اینکه در این تحقیق از مناطق مختلف میدان نفتی منصوری نمونه های خاک تهیه شدند می توان چنین استنباط کرد که منابع مختلف بر روی انتشار عناصر بالقوه سمی در خاک تاثیرگذار بوده است. انتشارات ناشی از وسایل نقلیه، دفع ضایعات صنعتی و پساب های روستایی، خاکستر ناشی از فرآیندهای سوزاندن و احتراق، از جمله منابع عناصر بالقوه سمی در خاک هستند[۳۲]. مطالعات دیگر در میادین نفتی در کشورهای چین[۱]، نیجریه[۳۳] و مصر[۸] نیز آلودگی عناصر بالقوه سمی در خاک را تایید کردند و با نتایج تحقیق حاضر در میدان نفتی منصوری هم‌خوانی دارند.

در این پژوهش تفسیر شاخص فاکتور آلودگی نشان داد که سرب و کادمیوم در خاک آلودگی زیاد، مس، نیکل و روی آلودگی متوسط و کروم و وانادیوم آلودگی کم داشتند. به عبارت دیگر فاکتور آلودگی نشان دهنده میزان آلودگی توصیفی خاک می باشد که نتایج این شاخص نشان می دهد که سرب و کادمیوم سبب آلودگی بالایی شده اند. فاکتور غنی شدگی سرب و کادمیوم نیز نشان داد که این دو عنصر تحت تاثیر فعالیت های انسان‌زاد هستند و خاک این منطقه درمورد عناصر سرب و کادمیوم بیشتر از منشا انسانی تاثیر می پذیرند. شاخص زمین انباشت عناصر بالقوه سمی در این تحقیق نشان از آلایندگی بالای سرب و کادمیوم در خاک های میدان نفتی منصوری دارد. پژوهشگران سرب و کادمیوم را به عنوان مهمترین و خطرناک-ترین عناصر بالقوه سمی معرفی می کنند، زیرا نیم عمر زیستی طولانی در بدن انسان و موجودات زنده دارند و دارای سمیت بالایی می باشند[۳،۳۴]. غلظت های پایین کادمیوم و سرب در خاک می‌تواند ناشی از چندین منبع زمین زایی مانند هوازدگی مواد مادری که خاک را تشکیل می دهند، رخ می دهد. درحالی که سطوح بالای کادمیوم و سرب نشان دهنده عوامل انسان‌زاد صنعتی، کشاورزی و فعالیت های شهری و روستایی می باشد[۳۵]. کادمیوم و سرب می توانند به طور طبیعی در انواع مختلف خاک ها وجود داشته باشند که به موادی نسبت داده می شود که هزاران سال پیش خاک را تشکیل داده اند، با این وجود در اکثر مطالعات و تحقیقات بررسی شده، محتوای فلزات سنگین خاک

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

ناشی از فعالیت‌های مختلف انسانی بود[14,15,16] که با نتایج این تحقیق همخوانی دارند. در تحقیقی بر روی خاک‌های یک میدان نفتی در کشور نیجریه نتایج حاکی از غنی‌سازی معنی‌دار کادمیوم، سرب، مس، نیکل و کروم گزارش شده است[31] که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. غنی‌سازی عناصر بالقوه سمی در خاک‌های مورد بررسی احتمالاً می‌تواند ناشی از نشت نفت و فعالیت‌های انسانی مرتبط در این منطقه باشد[6]. در مطالعات متعدد دیگری در کشورهای چین، مالزی، اکوادور و لهستان نیز سطوح بالای سرب و کادمیوم در خاک های مناطق صنعتی و کشاورزی نیز گزارش شده است[35] که سبب افزایش درجه آلایندگی خاک شده اند که با نتایج این تحقیق هم خوانی دارند. روی، مس، نیکل، وانادیوم و کروم نیز عناصری هستند که می توانند تحت تاثیر فعالیت های انسانی در خاک های پیرامون افزایش یابند[8] و سبب غنی‌سازی خاک شوند، اما در این تحقیق شاخص های غنی شدگی و زمین انباشت این عناصر بالقوه سمی اثرات آلودگی کمی داشتند. مقادیر شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه عناصر کادمیوم (۱۵۷/۵۰) و سرب (۲۶/۵۵) نیز تاثیر مهم این دو عنصر را بر خاک های میدان نفتی منصوری تایید می‌کند.

در این پژوهش شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) و شاخص کل خطر غیرسرطان‌زایی (HI) عناصر بالقوه سمی کادمیوم، سرب، نیکل، وانادیوم، روی، مس و کروم در خاک-های سطحی میدان نفتی منصوری پایین تر از ۱ به دست آمد. اگر مقادیر شاخص خطر غیرسرطان‌زایی و شاخص کل خطر غیرسرطان‌زایی بالاتر از ۱ باشد، اثرات منفی احتمالی بر سلامتی وجود دارد، اگر مقادیر شاخص خطر غیرسرطان‌زایی و شاخص کل خطر غیرسرطان‌زایی پایین تر از ۱ باشد، هیچ اثری بر سلامتی انسان وجود ندارد[25]. علاوه بر این بالاترین و پایین ترین مقادیر شاخص خطر سرطان زایی (CR) مربوط به عناصر کروم ($3/91\times10^{-4}$) و کادمیوم ($8/34\times10^{-8}$) به دست آمد. اگر مقادیر خطر سرطان‌زایی بالاتر از 10^{-4} باشد، سلامت انسان می تواند به طور منفی تحت تاثیر قرار گیرد. اگر بین 10^{-4} تا 10^{-6} باشد، سلامت انسان می تواند سطح قابل قبولی داشته باشد. اگر کمتر از 10^{-6} باشد، هیچ تاثیری بر سلامت انسان ندارد[25]. Jiang و همکاران (۲۰۲۱) ارزیابی خطر سلامت انسان درمورد عناصر بالقوه سمی در خاک های سطحی منطقه در کشور چین را بررسی کردند[9] که نتایج شاخص خطر غیرسرطان‌زایی و شاخص کل خطر غیرسرطان‌زایی این تحقیق را تایید می کند. همچنین Gan و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که مقادیر خطرات غیرسرطان‌زایی عناصر بالقوه سمی برای کودکان به طور قابل توجهی بالاتر از بزرگسالان بود[1]. نتایج خطر سلامت عناصر بالقوه سمی نشان داد یک خطر قابل قبول با آسیب کمی برای انسان وجود دارد. علاوه بر این، خطر غیر سرطانی و خطر سرطان در کودکان به طور قابل توجهی بیشتر از بزرگسالان تحت چهار منبع بود. این ممکن است به دلیل رفتار ویژه کودکان از طریق تماس با پوست، به ویژه تماس دست به دهان باشد[36]. بنابراین لازم است به کودکان آموزش داده شود که دست های خود را به طور مکرر بشویند تا خطرات سلامتی کاهش یابد. علاوه بر این، خطرات غیرسرطان‌زایی و سرطان‌زایی کودکان و بزرگسالان تحت سه نوع کاربری زمین، با زمین‌های کشاورزی بالاترین، زمین‌های ساختمانی در رتبه دوم و زمین‌های جنگلی کمترین تنوع ثابتی را نشان می‌دهد[9]. در تحقیق دیگری در خاک‌های سطحی مجاور کارخانه نفت کشور چین گزارش شد که عنصر کروم برای شاخص کل خطر غیرسرطان‌زایی و شاخص خطر سرطان زایی نسبت به کادمیوم، سرب، نیکل و آرسنیک بالاتر بوده است و کروم و نیکل خطرات سلامتی بالاتری برای بزرگسالان و کودکان داشتند[1] که با نتایج این تحقیق هم خوانی دارد و نتایج این تحقیق را درمورد شاخص های ارزیابی سلامت نیکل و کروم تایید می کند. همچنین سرب و کادمیوم نیز درمورد شاخص خطر سرطان زایی و غیرسرطان زایی از راه بلع، تنفس و پوست مقادیر مختلفی را نشان دادند. الگوی جذب سرب و کادمیوم در

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

کودکان و بزرگسالان بر اساس شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) به صورت بلع > پوست > تنفس به دست آمد. پژوهشگران بیان کردند که کادمیوم و سرب می توانند از طریق استنشاق خاک های شهری به بدن انسان منتقل می شوند، زیرا خاک نیز می تواند به راحتی توسط باد یا پای انسان به هوا بلند شود و ذرات معلق در هوا تولید کند که می تواند از طریق استنشاق خطرات بالقوه ای برای سلامتی ایجاد کند[۳۷]. همچنین در تحقیق دیگری گزارش شده است کادمیوم می تواند از طریق دو مسیر اصلی بلع و استنشاق وارد بدن شود[۳۵].

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای اولین بار عناصر بالقوه سمی در خاک های سطحی میدان نفتی منصوری مورد مطالعه قرار گرفتند. میانگین غلظت عناصر بالقوه سمی سرب، کادمیوم، مس، نیکل و روی در خاک های سطحی میدان نفتی منصوری در مقایسه با میانگین مقادیر این عناصر در پوسته زمین بالاتر به دست آمده است، اما میزان کروم و وانادیوم در نمونه‌های خاک مورد مطالعه پایین‌تر بود. دو شاخص تجمیعی درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده نیز حاکی از آلودگی متوسط عناصر بالقوه سمی در خاک‌های سطحی میدان نفتی منصوری داشتند. شاخص‌های آلودگی عناصر سمی بالقوه نظیر مقادیر فاکتور آلودگی، فاکتور غنی شدگی و شاخص زمین انباشت نشان داد که سرب و کادمیوم بیشترین تاثیر را بر روی آلودگی خاک داشتند. شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه، عناصر مورد مطالعه نشان داد کادمیوم بیشترین تاثیر بوم شناسی را بر روی خاک های سطحی میدان نفتی منصوری داشته است. بنابراین نتایج این تحقیق نشان داد که سطوح عناصر بالقوه سمی غلظت بالایی را در مقایسه با مقادیر زمینه و میانگین جهانی داشت که این نشان دهنده این است که نشت نفت خام، تردد وسایل نقلیه سبک و سنگین و فعالیت های انسانی مرتبط در این منطقه به میزان قابل توجهی در افزایش سطوح عناصر بالقوه سمی سرب، کادمیوم، مس، نیکل و روی در این خاک ها کمک کرده است. با توجه به نتایج شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HQ)، شاخص کل خطر غیرسرطان‌زایی (HI) و شاخص خطر سرطان زایی (CR) عناصر بالقوه سمی سرب، کادمیوم، مس، نیکل، وانادیوم، کروم و روی در خاک های سطحی میدان نفتی منصوری، به نظر می رسد که سلامت انسان را تهدید نمی کنند و مشکلات بهداشتی و بیماری‌زایی را به وجود نمی آورند.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

References

1. Gan L, Wang J, Xie M, Yang B. Ecological risk and health risk analysis of soil potentially toxic elements from oil production plants in central China. Scientific Reports. 2022;12(1):17077.
2. Azimi-Yancheshmeh R, Moeinaddini M, Mazloomi S, Feyz Nia S, Shahbazi R. Health Risk Assessment of Metals in Street Dust of Karaj City in 2018. Journal of Environmental Health Engineering. 2022; 9 (3): 313-332. [In Persian].
3. Lorestani B, Cheraghi M, Soheil S A. Effect of traffic density on heavy metal content of soils and vegetation cover along roadsides, case study: City of Hamedan. Journal of Environmental Health Engineering. 2023; 10 (2): 100-113. [In Persian].
4. Nikfar F, Sabzalipour S, Gholami A, Nazarpour A. Assessment of carcinogenic and non-carcinogenic hazards of heavy metals in surface soils of Bandar Mahshahr industrial zone in 1398. Journal of Environmental Health Engineering. 2021; 8 (3): 245-256. [In Persian].
5. Ke W, Li C, Zhu F, Luo X, Feng J, Li X, Jiang Y, Wu C, Hartley W, Xue S. Effect of potentially toxic elements on soil multifunctionality at a lead smelting site. Journal of Hazardous Materials. 2023;454:131525.
6. Lajmiri Orak Z, Sabzalipour S, Panahpour E, Attarroshan S, Tavakkoli H. Investigation of Ecological Risk (ER) and Available Ratio (AR) of some heavy metals in drill cutting of Ahvaz Oil Field in 2019. Journal of Environmental Health Engineering 2021; 8 (3): 329-342. [In Persian].
7. Miao X, Hao Y, Zhang F, Zou S, Ye S, Xie Z. Spatial distribution of heavy metals and their potential sources in the soil of Yellow River Delta: a traditional oil field in China. Environmental geochemistry and health. 2020;42:7-26.
8. Saleh HM, Eskander SB, Mahmoud HH, Abdelaal SA. Study on rare earth elements, heavy metals and organic contents in the soil of oil exploration site at Matruh Governorate, Egypt. Results in Geophysical Sciences. 2022;9:100039.
9. Jiang HH, Cai LM, Hu GC, Wen HH, Luo J, Xu HQ, Chen LG. An integrated exploration on health risk assessment quantification of potentially hazardous elements in soils from the perspective of sources. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021;208:111489.
10. Luo H, Wang Q, Guan Q, Ma Y, Ni F, Yang E, Zhang J. Heavy metal pollution levels, source apportionment and risk assessment in dust storms in key cities in Northwest China. Journal of Hazardous Materials. 2022;422:126878.
11. Wang HZ, Cai LM, Wang QS, Hu GC, Chen LG. A comprehensive exploration of risk assessment and source quantification of potentially toxic elements in road dust: A case study from a large Cu smelter in central China. Catena. 2021;196:104930.
12. Baltas H, Sirin M, Gökbayrak E, Ozcelik AE. A case study on pollution and a human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils around Sinop province, Turkey. Chemosphere. 2020;241:125015.
13. Fedele D, De Francesco A, Riso S, Collo A. Obesity, malnutrition, and trace element deficiency in the coronavirus disease (COVID-19) pandemic: an overview. Nutrition. 2021;81:111016.
14. 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].
15. Shahidi Kaviani I, Paykanpoufard P. Study of The Rate of Soil Pollution to Heavy Metals Cadmium, Lead and Copper in Oil Industries Land at West Karun Region, Khuzestan Province, Iran. Journal of Research in Environmental Health. 2020;6(2): 161-172. [In Persian].
16. Sawaedi F, Cheraghi M. Study the concentration of heavy metals in the North Yaran oilfield sediments in the Hur Al-Azim wetland, Khuzestan. Journal of New Approaches in Water and Environmental Engineering. 1 (2): 103-111. [In Persian].
17. Aswal RS, Prasad M, Patel NK, Srivastav AL, Egbueri JC, Kumar GA, Ramola RC. Occurrences, sources and health hazard estimation of potentially toxic elements in the groundwater of Garhwal Himalaya, India. Scientific Reports. 2023;13(1):13069.
18. Chhimwal M, Kaur S, Srivastava RK, Hagare D, Shiva Prasad HJ. Water quality of springs and lakes in the Kumaon Lesser Himalayan Region of Uttarakhand, India. Journal of Water and Health. 2022;20(4):737-54.
19. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicologial Profiles, Toxic Substances Portal. 2015.
20. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. 1–115; 2016.
21. Soleimani B, Moradi M, Ghabeishavi A, Mousavi A. Permeability variation modeling and reservoir heterogeneity of Bangestan carbonate sequence, Mansouri oilfield, SW Iran. Carbonates and Evaporites. 2019;34:143-57.
22. Kong F, Chen Y, Huang L, Yang Z, Zhu K. Human health risk visualization of potentially toxic elements in farmland soil: A combined method of source and probability. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021;211:111922.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

23. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Method 3050B: Acid digestion of sediments sludge's and soils (revision 2), 1996.

24. EPA US. Risk assessment guidance for superfund volume I: human health evaluation manual (Part F, Supplemental guidance for inhalation risk assessment). Washington DC. 2009.

25. EPA US. Exposure factors handbook. Office of research and Development, Washington, DC. 2011 Feb 13;20460:2-6.

26. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research. 1980;14(8):975-1001.

27. Abrahim, G.M.S. Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterization and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand, Ph.D. thesis, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 2005; 361 p.

28. Muller G. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River Geology Journal. 1969;2:109-18.

29. Rudnick RL, Gao S. Composition of the continental crust. Treatise on Geochemistry, vol. 3. Treat Geochem. 2003:1-64.

30. Sparks DL, Singh B, Siebecker MG. Environmental soil chemistry. Elsevier; 2022 Dec 23.

31. Iwegbue CMA, Williams ES, Isirimah NO. Study of heavy metal distribution in soils impacted with crude oil in Southern Nigeria. Soil and Sediment Contamination. 2009;18:136-143.

32. Alhassan M. Potentials of rice husk ash for soil stabilisation assumption university. Journal of Technology. 2008;14(4):245-250.

33. Douglas RK. Perspective Chapter: Rapid Measurement of Potentially Toxic Elements (PTEs) in Petroleum Hydrocarbons Polluted Soils by X-Ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy. In Heavy Metals-Recent Advances 2022; IntechOpen.

34. Babaei B, Sobhanardakani S. Determination of heavy metals contamination in children's toys marketed in Hamedan City in 2015. Journal of Research in Environmental Health. 2(2): 165-172. [In Persian].

35. Bouida L, Rafatullah M, Kerrouche A, Qutob M, Alosaimi AM, Alorfi HS, Hussein MA. A review on cadmium and lead contamination: Sources, fate, mechanism, health effects and remediation methods. Water 14 (21), 3432.

36. Cai LM, Wang QS, Luo J, Chen LG, Zhu RL, Wang S, Tang CH. Heavy metal contamination and health risk assessment for children near a large Cu-smelter in central China. Science of the Total Environment. 2019;650:725-733.

37. Yuswir NS, Praveena SM, Aris AZ, Ismail SN, Hashim Z. Health risk assessment of heavy metal in urban surface soil (Klang District, Malaysia). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2015;95:80-9.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]

Journal of Environmental Health Engineering, January 2023; Vol.11, No. 2: 146 - 162

Health and ecological risk indicators of potentially toxic elements in the surface soils of the Mansouri oil field in the southeast of Ahvaz

Mohammad Velayatzadeh[1*], Mohammad Reza Moudi[2], Mahdi Mirnia[3]

1.Master of Industrial Safety, Caspian Institute of Higher Education, Qazvin, Iran.
2. Occupational health and environment expert, HSE unit, Zahedan gas power plant, Zahedan, Iran.
3. Industrial Engineering Graduate, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

Email: mv.5908@gmail.com

Received: 23 April 2024 , Accepted: 29 April 2024

ABSTRACT

Background: Potentially toxic elements are part of dangerous environmental pollutants and are carcinogenic to humans. This research was conducted in 2019 with the aim of estimating and evaluating human health risks and environmental ecology of potentially toxic elements in the surface soils of Mansouri oil field.

Methods: In this research, soil samples were prepared from seven study areas. In each station, five random samples from an area of 5 square meters were mixed in a composite sample and 1 kg of surface soil (depth 0 to 20 cm) was collected in polyethylene bags, thus 105 soil samples were prepared.

Results: The average concentration of cadmium, lead, nickel, chromium, vanadium, copper and zinc in the surface soils of Mansouri oil field were obtained 1.05, 69.11, 86.79, 99.14, 23.76, 34.05, 65 and 118.22 mg/kg respectively. The highest and lowest values of the potential ecological risk index were related to cadmium (157.50) and vanadium (0.34). The carcinogenic risk index for chromium element was higher than cadmium, lead, nickel and vanadium for adults (5.25×10^{-5}) and children (3.91×10^{-4}).

Conclusion: The pollution indices of potentially toxic elements such as the values of the pollution factor, enrichment factor and land accumulation index showed that lead and cadmium had the greatest impact on soil pollution and the levels of potentially toxic elements were high in concentration compared to the background values and had a global average, which indicates that crude oil spills, light and heavy vehicle traffic, and related human activities in this area have significantly contributed to the increase in the levels of potentially toxic elements in these soils. It seems that there are potentially toxic elements that do not threaten human health and do not cause health problems or pathogenicity.

Keywords: Potentially toxic elements, toxic metals, soil pollution, human health, carcinogenic risk index

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.146]