

ارزیابی قابلیت آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی خطوط لوله انتقال مواد نفتی در شمال خلیج فارس

کتایون حسینی، لعبت تقوی، صابر قاسمی و محسن دهقانی قناتگستانی

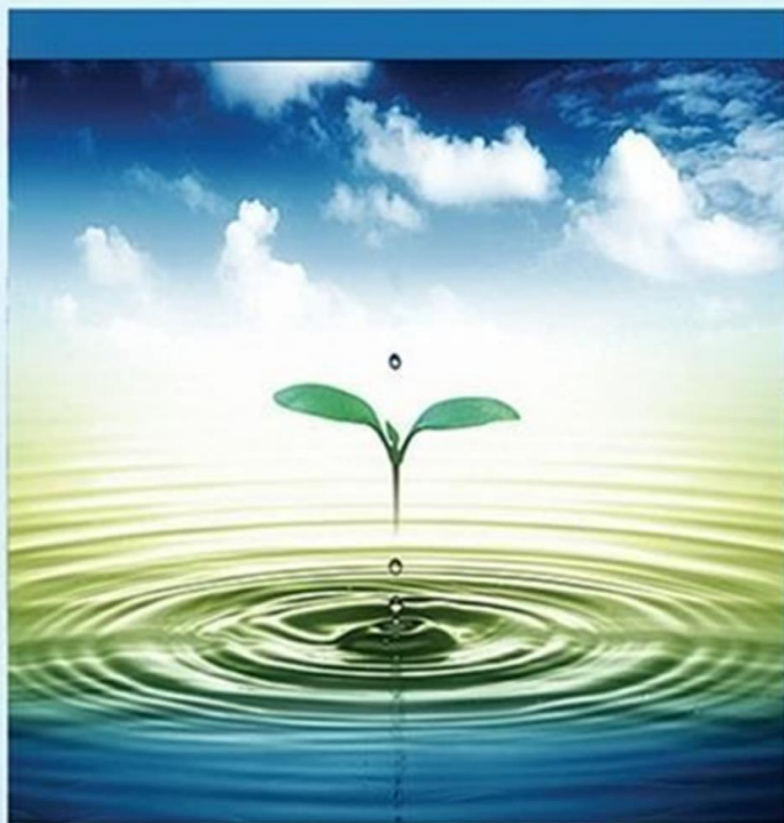
دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۶۴۲-۶۵۷

Vol. 7(4), Winter 2021, 642-657

DOI: 10.22034/JEWE.2021.281945.1554

**Evaluation of Heavy Metal Contamination
Potential in Surface Soils of Oil Pipelines in the
North of Persian Gulf**

Hoseni, K., Taghavi, L., Ghasemi, S. and Dehghani
Ghanatghehstani, M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

حسینی، ک.، تقوی، ل.، قاسمی، ص. و دهقانی قناتگستانی، م. (۱۴۰۰). ارزیابی قابلیت آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی خطوط لوله انتقال مواد نفتی در شمال خلیج فارس. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۴، صفحات: ۶۴۲-۶۵۷.

Citing this paper: Hoseni, K., Taghavi, L., Ghasemi, S. and Dehghani Ghanatghehstani, M. (2021). Evaluation of heavy metal contamination potential in surface soils of oil pipelines in the north of Persian Gulf. Environ. Water Eng., 7(4), 642-657. DOI: 10.22034/JEWE.2021.281945.1554

مقاله پژوهشی

ارزیابی قابلیت آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی خطوط لوله انتقال مواد نفتی در شمال خلیج فارس

کتایون حسینی^۱، لعبت تقوی^{۲*}، صابر قاسمی^۳ و محسن دهقانی قناتگستانی^۴

^۱دانشجوی دکترا، گروه آلودگی محیط زیست، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران
^۲دانشیار گروه علوم محیط زیست و جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
^۳استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران
^۴دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

* نویسنده مسئول: l.taghavi@srbiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۴/۰۲]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۳/۲۶]

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۲/۰۱]

چکیده

هدف از پژوهش حاضر تعیین غلظت محتوای فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم و وانادیوم در خاک و ارزیابی میزان خطر بالقوه محیط زیستی فلزات سنگین در خاک سطحی استقرار خطوط لوله انتقال میعانات گازی عسلویه-بندرعباس بود. بدین منظور ۱۰ ایستگاه به طور تصادفی در یک خط ترانسکت طولی انتخاب و نمونه برداری خاک انجام شد. هضم اسیدی نمونه ها انجام و بعد از صاف نمودن آن ها با استفاده از محلول های کالیبراسیون غلظت هریک از عناصر فلزات توسط دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. با توجه به نتایج بررسی، میانگین غلظت فلزات سنگین شامل سرب (pb)، نیکل (Ni)، کروم (Cr) و وانادیوم (V) در محدوده مطالعاتی به ترتیب $۷/۴ \pm ۱/۴$ ، $۴۲/۵ \pm ۲/۴$ ، $۵۳/۶ \pm ۵/۹$ و $۱۹/۷ \pm ۲/۵$ mg/kg به دست آمد. با توجه به اینکه یافته های این مطالعه در محدوده مجاز مندرج در استاندارد محیط زیستی کشور بوده اثبات می کند که اجرای خط لوله منجر به آلودگی محیط زیست ناشی از فلزات سنگین نشده است. اما احتمالاً فعالیت های انسانی باعث افزایش غلظت فلزات شده است. در این پژوهش همبستگی معنی داری بین میانگین محتوای عناصر سرب و وانادیم بین عناصر کروم و وانادیوم و همچنین بین عناصر نیکل و کروم به دست آمد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص های زمین انباشتگی (Igeo)، درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) و شاخص خطر بالقوه بوم شناختی نشان داد که خاک های مسیر خطوط انتقال میعانات گازی به ترتیب در دامنه خاک های غیر آلوده، محدوده بسیار پایین آلودگی خاک و خطر بالقوه بوم شناختی کم قرار داشت.

واژه های کلیدی: آلودگی نفتی؛ ارزیابی؛ ترکیبات نفتی؛ فلزات سنگین؛ خاک سطحی؛ خطوط انتقال

۱- مقدمه

فلزات سنگین در خاک معمولاً ارتباطات پیچیده‌ای با یکدیگر دارند. عوامل مهمی مانند غلظت اصلی فلزات سنگین در سنگ‌ها و مواد مادری، فرآیندهای مختلف تشکیل خاک و آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی، تعیین‌کننده فراوانی نسبی غلظت فلزات سنگین در خاک هستند (Sun et al. 2010).

آلودگی خاک ناشی از منابع طبیعی و انسانی باعث کاهش کیفیت خاک می‌گردد (Pardakhti and Zahed, 2018) و تحرک عناصر در محیط بیرونی با توجه به قابلیت زیست‌فراهمی و خطر زیستی آن‌ها در بحث آلودگی مهم است (Afshari et al. 2016). نظر به اینکه این گروه فلزات به‌کندی تجزیه می‌شوند. لذا خطر شدیدی را به بوم‌سازگان تحمیل نموده و سلامت انسان را از راه‌های مختلف مواجهه از جمله تنفس ذرات گرد و خاک و یا تماس پوستی، مورد تهدید قرار می‌دهد (Hui et al. 2017). همچنین این فلزات از طریق جذب توسط گیاهان مختلف پرورش‌یافته در این گونه خاک‌ها، وارد زنجیر غذایی شده (Teng et al. 2010) و یا از طرق مختلف مانند آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی سلامتی انسان‌ها را به مخاطره می‌اندازند (Sun et al. 2010).

ایران طی دهه‌های اخیر با توسعه محدوده شهری و انبوه واحدهای صنعتی مواجه شده است. عموماً در بسیاری از مناطق صنعتی نفت‌خیز، ایجاد صنایع پتروشیمی، احداث پالایشگاه‌ها و حفاری چاه‌های استخراج نفت و گاز و احداث خطوط انتقال باعث افزایش مشکلات آلودگی در خاک‌های اطراف این مناطق می‌شود (Shahidi Kaviani 2020). عواملی نظیر حفاری، دفع نامناسب فاضلاب‌ها و ضایعات مراکز صنعتی، پخش آلاینده‌ها توسط پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها، نشت آلاینده از مخازن نفتی و ایستگاه‌های سوخت‌گیری، تصادفات تانکرها و نفت‌کش‌ها به این مشکل دامن می‌زنند. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که فعالیت‌های صنعتی انسان، عامل اصلی آلودگی محیط‌زیست به ترکیبات سمی و خطرناک نظیر فلزات سنگین می‌باشد (Adesina and Adelasoye 2014). یکی از مهم‌ترین عوامل بالابودن پتانسیل آلودگی در حدفاصل بین بندرعباس و عسلویه، وجود صنایع دیگر در مجاورت خط انتقال می‌باشد. که این شرایط موجب تهدید بیش‌تر منابع آب و خاک در این نواحی گردیده است. (Abadi et al. 2019).

بررسی سوابق نشان می‌دهد که از بین فلزات سنگین در محدوده مناطق نفتی برخی مانند نیکل برای سلول‌ها حیاتی هستند، با این وجود تمامی آن‌ها در تجمعات زیاد سمی می‌باشند. از مهم‌ترین فلزات سنگین در این محدوده‌ها می‌توان به سرب، نیکل، کروم و وانادیوم اشاره کرد. صرف‌نظر از مبدأ وجود این فلزات در خاک، مقادیر بیش‌ازاندازه آن می‌تواند کاهش کیفیت خاک، کاهش محصول، کیفیت پایین محصولات کشاورزی و مواردی این‌چنین را به‌دنبال داشته و درنهایت برای سلامت انسان، حیوانات و حیات بوم‌سازگان مضر باشد (Teng et al. 2010; Ahmed and Fakhruddin 2012; Morais et al. 2018). فلزات سنگین از قبیل آرسنیک، آهن، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس، و منگنز به شیوه‌های گوناگون وارد سیستم بدن انسان می‌شود و مشکلات زیادی را به وجود می‌آورد. از اساسی‌ترین مسائل در خصوص فلزات سنگین متابولیسم نشدن آن‌ها در بدن است. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن از دفع نمی‌شوند و در بافت‌هایی مانند چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب می‌کنند و انباشته می‌شوند که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود (Noorpoor and Sadri 2014). حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف‌شده در محیط، سبب بروز مشکلات و عوارض محیط‌زیستی برای ساکنان شهرها می‌شود. از جمله اثرات فلزات سنگین بر روی افراد، بروز اختلالات عصبی است. از طرفی خاصیت سمی و قابلیت تجمع زیستی فلزات سنگین در گیاهان و جانوران و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی خطرات ناشی از آن‌ها را دوچندان کرده و اثرات بوم‌شناختی زیادی به وجود می‌آورد. به‌طورکلی میزان و درجه تأثیر فلزات سنگین بر سلول‌ها یا بافت بخش‌های مختلف بدن انسان، بستگی به نوع فلز و همچنین میزان و شدت مواجهه با آن دارد (Panahandeh and Morovati 2018).

سرب به‌عنوان سنگین‌ترین عنصر پایدار، فلزی سمی است که به پیوندهای عصبی آسیب رسانده (به‌خصوص در کودکان) و موجب بیماری‌های خونی و مغزی می‌شود (Mejia et al. 2016).

نیکل از جمله فلزات سمی است که اگرچه در غلظت‌های کم زیان‌آور نیست، اما مقادیر بالای آن تا حدودی می‌تواند سمی



شاخص‌های آلودگی و شاخص قابلیت خطر محیط‌زیستی در خاک‌های سطحی مسیر خط لوله انتقال میعانات گازی عسلویه تا استان هرمزگان انجام گرفته و به پایش غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی اطراف خط انتقال میعانات گازی از عسلویه تا بندرعباس به لحاظ شاخص‌های آلودگی و ارزیابی مخاطره بوم‌شناسی می‌پردازد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

این پژوهش در مسیر خط لوله انتقال میعانات گازی از عسلویه تا بندرعباس انجام و دربرگیرنده بخش‌هایی از خاک سطحی استان‌های بوشهر، فارس و غرب هرمزگان است (شکل ۱).

جهت نمونه‌برداری از مسیر، ابتدا منطقه از لحاظ پوشش خاک به سه قسمت تقسیم شد که شامل (۱) ۸۰-۰ km (عسلویه تا روستای چک‌چک شمالی): زمین‌های کشاورزی و تپه‌ماهوری، (۲) ۲۸۰-۸۰ km (چک‌چک شمالی تا تنگ دالان): زمین‌های کوهستانی و مرتعی و (۳) ۳۸۵-۲۸۰ km (تنگ دالان تا بندرعباس) اراضی هموار، بایر و ماندابی بود. سپس هر یک از این ۳ قسمت خود نیز به قسمت‌های کوچک‌تر تقسیم گردید. برای پیمایش مسیر در ایستگاه روی نقشه به‌طور تصادفی انتخاب شد این نقاط انتخابی روی یک خط طولی ترانسکت مستقر بودند، سپس با انجام عملیات میدانی و نمونه‌برداری از خاک، غلظت فلزات سنگین تعیین گردید.

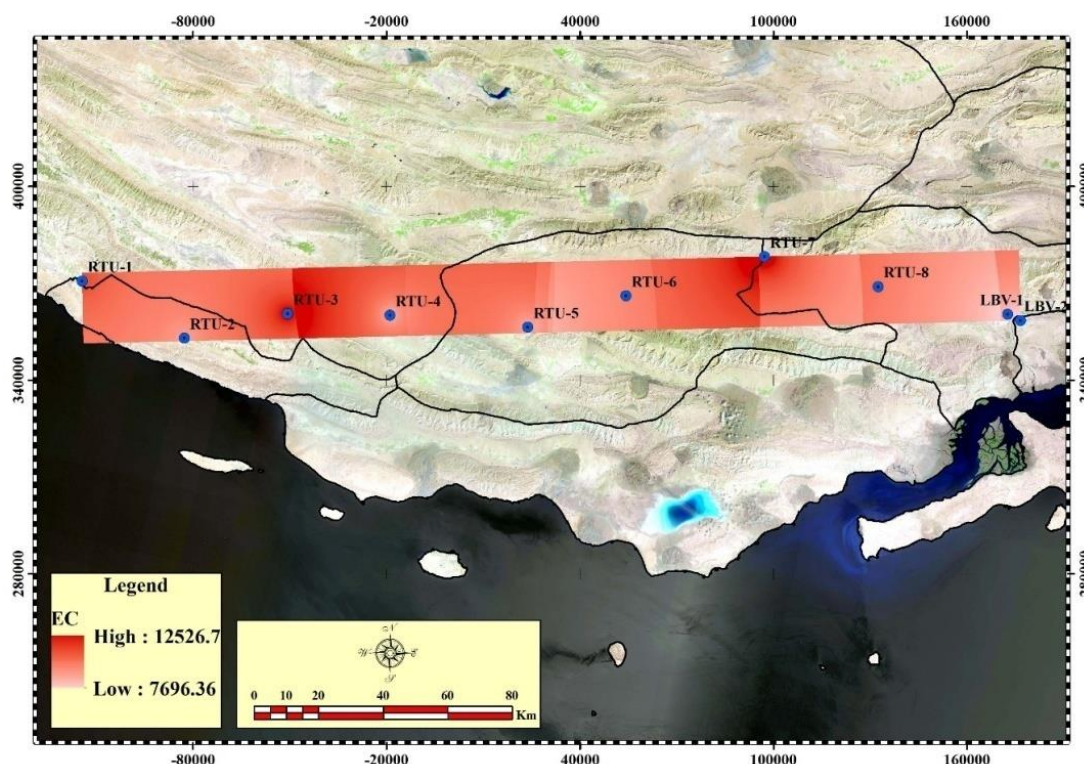
در انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری، مهم‌ترین مسئله حذف محدوده‌های تأثیرگذار توسط منابع آلاینده ثابت و متغیر نامرتبط با بهره‌برداری از مسیر خط لوله مورد نظر بوده است. ایستگاه‌ها به ترتیب شماره‌گذاری شدند به نحوی که ایستگاه RTU-1 نزدیک‌ترین به ابتدای خط در عسلویه و ایستگاه LBV-2 نزدیک‌ترین به انتهای خط در بندرعباس بود. از نظر موقعیت مکانی ایستگاه‌های نمونه‌برداری، RTU-1 (حداصل بندو - سهمو جنوبی)، RTU-2 (قاسم‌آباد)، RTU-3 (حداصل لامرد - اشکنان)، RTU-4 (کال)، RTU-5 (حداصل کوهیج - بستک)، RTU-6 (حداصل چاه بنات - گوده)، RTU-7 (حداصل چاه سرمه - سرتنگ)، RTU-8 (حداصل کیشی - برکه سلطان)، LBV-1 (نیمه کار) و LBV-2 (حداصل نیمه کار - دمیلو) قرار گرفته‌اند. مختصات UTM نقاط نمونه‌برداری در جدول (۱) ارائه شده است.

باشد (Zambelli et al. 2016). معمولاً با افزایش آلودگی‌های محیط زیستی، ورود آن‌ها به زنجیره غذایی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. غلظت بالای نیکل به‌عنوان عاملی تنش‌زا برای گیاهان به‌شمار می‌رود که می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (Smialowicz et al. 1984). میزان زیاد نیکل در محیط ریشه خاک‌های آلوده، ممکن است به کمبود آهن و روی در گیاه منجر شود (Brooks 1994). درعین حال کمبود آن در گیاهان عالی، فعالیت آنزیم اوره آز را کم می‌کند. به‌نحوی که اختلال در ساخت پروتئین‌ها و کاهش غلظت نیتروژن کل گیاه در شرایط کمبود نیکل گزارش شده است (Bollard 1983). این فلز در غلظت‌های بالا در انسان باعث کاهش وزن بدن، خارش پوست، آسم، برونشیت مزمن و سرطان می‌گردد (Zambelli et al. 2016).

کروم فلزی است که مقدار کم آن بسیار ضروری است و برای سوخت‌وساز کامل قند در بدن انسان موردنیاز است. کمبودهای کروم می‌تواند بر توانایی انسولین در ثابت نگه‌داشتن میزان قند خون تأثیر بگذارد. اگرچه فلز کروم و ترکیبات سه‌ظرفیتی آن معمولاً برای سلامتی خطرناک نیستند، اما ترکیبات کروم شش ظرفیتی در صورت بلع سمی هستند. تماس دائمی با این ترکیبات می‌تواند موجب آسیب‌های دائمی چشم گردد، مگر مواردی که درمان کامل صورت پذیرد (Brahmaiah et al. 2015).

وانادیم به‌طور طبیعی در حدود ۶۵ ماده معدنی وجود دارد. همچنین این فلز را می‌توان در سنگ‌های فسفاتی، کانی‌های آهن و به‌صورت کمپلکس‌های ارگانیک در نفت خام یافت (Alloway 2012). وانادیوم برای بدن تعدادی از جانداران از جمله انسان ضروری است. البته مقدارش بسیار جزئی است و گزارش شده که ۰/۱ mg/day برای انسان مناسب است. وانادیوم از اجزاء لازم آنزیم‌ها به‌شمار می‌رود. کمبود آن باعث کاهش رشد و تولیدمثل ناقص می‌شود. جذب ترکیبات آن معمولاً از طریق شش‌ها منجر به مسمومیت مزمن، تحریک دستگاه تنفسی، سینه‌پهلو، ورم دور چشم، و کم‌خونی می‌شود (Morais et al. 2012).

پژوهش حاضر با هدف تعیین غلظت زمینه فلزات سنگین و ارزیابی میزان خطر محیط‌زیستی عناصر سنگین شامل سرب، نیکل، کروم و وانادیوم با استفاده از شاخص زمین انباشتی،



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در محدوده مطالعاتی مسیر خط لوله انتقال میعانات گازی عسلویه-بندرعباس

Fig. 1 Location of sampling points in the study area of Assaluyeh-Bandar Abbas gas condensate pipeline route

جدول ۱- مختصات UTM نقاط نمونه‌برداری در مسیر خط لوله انتقال میعانات گازی عسلویه

Table 1- UTM coordinates of sampling points in Assaluyeh gas condensate pipeline route

ID	X	Y	ID	X	Y
RTU-1	X=683111.00	Y=3023734.00	RTU-6	X=258170.00	Y=3019724.00
RTU-2	X=714749.00)	Y=3006445.00	RTU-7	X=300142.00	Y=3030971.00
RTU-3	X=747306.00)	Y=3015216.00	RTU-8	X=335438.00	Y=3020792.00
RTU-4	X=778147.00)	Y=3014817.00	LBV-1	X=374709.00	Y=3011185.00
RTU-5	X=226676.00)	Y=3011070.00	LBV-2	X=378811.00	Y=3008901.00

۲-۲- روش کار

آزمایشگاه کیفیت آزمایش جنوب در بندرعباس انتقال یافتند. تمامی نمونه‌ها تا زمان آنالیز در دمای 20°C - نگهداری شدند. جهت هضم شیمیایی و آماده‌سازی نمونه‌های خاک، نمونه‌ها در ظرف پتری دیش ریخته شده و در آن در دمای 111°C به مدت ۲۴ hr حرارت داده و کاملاً خشک شدند. نمونه‌های خشک‌شده از الک با چشمه ۲ mm عبور داده‌شده، سپس ذرات جداسازی شده با استفاده از هاون پودر شدند. پس از آن یک گرم از نمونه‌های خاک برداشت‌شده و در بشر پلی‌اتیلنی قرار داده شد و با اضافه نمودن چند قطره

نمونه‌برداری‌ها در فصل پاییز سال ۱۳۹۹ (دهه انتهایی مهرماه)، در ۱۰ ایستگاه ۳ تکرار با فواصل مشخص‌شده در شکل (۱) انجام شد.

نمونه‌برداری با استفاده از بیلچه فولادی ضدزنگ انجام و از هر ایستگاه تقریباً یک کیلوگرم خاک از عمق صفر تا ۲۰ cm برداشت شد.

نمونه‌های برداشت‌شده، هضم و تثبیت شدند، با درج نام ایستگاه و تاریخ نمونه‌برداری در ظروف پلی‌اتیلنی اسیدشویی شده قرار داده‌شده و با استفاده از یخدان حاوی یخ به

جدول ۲- درجه‌بندی سطح آلودگی خاک بر اساس شاخص زمین انباشتگی مولر (Muller 1969).

Table 2 Soil pollution level Ranking based on Muller land accumulation index (Muller 1969)

Igeo	Pollution Degree	Pollution Level
$0 \geq$	0	Clean
0-1	1	Clean-Fair
1-2	2	Fair
2-3	3	Fair-High
3-4	4	High
4-5	5	High-Sever
>5	6	Extremly Sever

۲-۳-۲- درجه آلودگی (Cd) و درجه آلودگی اصلاح شده (mCd)

برای برآورد آلودگی کلی یک نمونه خاک به فلزات سنگین و آلاینده آلی PCB، روابط درجه آلودگی (Cd) و آلودگی اصلاح شده (mCd) توسط هاکانسون (Hakanson 1980) که در آن cf ضریب آلودگی و M_x غلظت متوسط آلاینده‌های موردنظر در نمونه خاک، M_b غلظت فلز سنگین موردنظر در خاک غیر آلوده و i شماره i امین فلز سنگین موردنظر هستند. اما چون برای استفاده از این شاخص تعداد فلزات سنگین و یا سایر آلاینده ارگانیک محدود است، لذا از فرمول اصلاح شده درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) که در آن تعداد فلزات محدود نمی‌باشد، می‌توان استفاده نمود (Abraham and Parker 2008). در این شاخص به دلیل فرآیند میانگین‌گیری که در فرمول آن اتفاق می‌افتد، تأثیرات مقادیر انباشتگی آلاینده‌ها، در نتیجه نهایی تعدیل می‌گردد.

$$mCd = \frac{\sum_{i=1}^n Cf_i}{n} \quad (2)$$

که، $Cd = \sum_{i=1}^n Cf_i$ و $Cf = \frac{M_x}{M_b}$ می‌باشد.

در جدول (۳)، طبقه‌بندی شاخص درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده فلزات سنگین در خاک ارائه شده است.

کلریدریک اسید (HCl) و فلوئوریک اسید (HF) به میزان ۲ ml، نمونه‌ها روی حمام آبی و در $^{\circ}C$ ۱۱۱ تا مرحله نزدیک به خشک شدن حرارت داده شدند. پس از هضم نمونه‌ها و با افزودن مقداری آب مقطر به هر یک از آن‌ها و حرارت ملایم محلولی کاملاً شفاف به دست آمد. پس از آن همه نمونه‌ها با استفاده از 1 N HCl در بالن بویه به حجم ۵۰ ml رسیده به منظور اطمینان بخشی از صحت داده‌ها، قبل از سنجش نهایی، منحنی درجه‌بندی دستگاه ترسیم گردید. جهت سنجش غلظت فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی مدل AA۹۰۶ شرکت GBC و به روش کوره استفاده شد در این سنجش کروم، وانادیوم، سرب، نیکل به ترتیب در طول موج‌های ۳۵۷/۹، ۳/۵، ۲۳۲/۳۱۸، و ۲۸۳ قرائت شدند (Skandari and Mohammadi 2019).

۲-۳- شاخص‌های سنجش آلودگی فلزات سنگین

۲-۳-۱- شاخص زمین‌انباشتگی

شاخص زمین‌انباشتگی^۱ (رابطه ۱) بیانگر تمرکز مواد شیمیایی براساس وضعیت زمین‌شناختی است که اولین بار توسط مولر در سال ۱۹۷۹ ارائه شد و برای اندازه‌گیری و تعریف آلودگی رسوبات توسط مقایسه غلظت‌های کنونی یک عنصر با میزان آن ماده قبل از صنعتی شدن در رسوبات محاسبه می‌گردد (Muller 1969).

$$MPI = (Cf_1 * Cf_2 * Cf_3 * Cf_n) \ln I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5 * B_n)] \quad (1)$$

که، Igeo شاخص تجمع ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی در خاک، Cn غلظت فلز سنگین در خاک، Bn غلظت همان فلز در خاک طبیعی و غیر آلوده (غلظت زمینه یا غلظت عنصر در شیل) است. ضریب ۱/۵ به منظور تصحیح غلظت فلز سنگین در خاک که عموماً به تغییرات سنگ‌شناسی خاک‌ها و تأثیر عوامل زمینی نسبت داده می‌شود، اعمال شده است. مولر ۷ کلاس مختلف را برای طبقه‌بندی این شاخص عنوان کرد که در آن، در بالاترین کلاس یعنی کلاس آلودگی ۶، مقادیر عناصر حداقل ۱۰۰ برابر مقادیر مرجع می‌باشند (جدول ۲).

³Modified degree of contamination

¹Geoaccumulation

²Degree of contamination



جدول ۳- طبقه‌بندی سطح آلودگی خاک بر مبنای شاخص درجه آلودگی (Cd) (Hakanson 1980) و درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd) (Abraham and Parker 2008)

Table 3 Classification of soil pollution level based on the degree of pollution (Cd) (Hakanson 1980) and the degree of modified pollution (mCd) (Abraham and Parker 2008)

Sedimentation Quality	Cd	Sedimentation pollution level	mCd
درجه آلودگی پایین	$Cd \leq 7$	درجه بسیار پایین از آلودگی	≤ 1.5
درجه آلودگی متوسط	$7 \leq P \leq 14$	درجه پایین از آلودگی	1.5-2
درجه آلودگی قابل توجه	$14 \leq P \leq 28$	درجه متوسط از آلودگی	2-4
درجه آلودگی بسیار بالا	≥ 28	درجه بالا از آلودگی	4-8
		درجه بسیار بالا از آلودگی	8-16
		درجه به شدت بسیار بالا از آلودگی	$16 \leq mCd \leq 33$
		آلودگی با درجه مافوق زیاد	$mCd \geq 33$

(Hakanson 1980). این شاخص به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_{ri} \quad (4)$$

که، RI قابلیت مخاطره بوم‌شناسی کل فلزات (تحمیلی)، $E_r = T_f \times C_f$ (قابلیت مخاطره اکولوژیکی هر یک از عناصر)، $C_f = C_s / C_n$ (ضریب آلودگی رسوب)، و T_f ضریب سمیت هاگانسن می‌باشد. مقدار T_f که فاکتور پاسخ سمیت فلزات سنگین نام دارد، برای جیوه و کادمیوم بسیار بالا (۴۰ و ۳۰)، آرسنیک متوسط (۱۰)، مس، سرب، نیکل پایین (۵) و برای عناصری مثل کروم (۲) و وانادیوم و روی بسیار پایین (۱) می‌باشد. این پارامتر بیانگر پاسخ سمیت آلاینده نسبت به میزان تولیدات زیستی در آن منبع آبی است. در یک منبع آبی، حساسیت فون و فلور آن منبع نسبت به آلاینده‌ها شدیداً تحت کنترل تولیدات زیستی قرار می‌گیرد به طوری که اثرات منفی فلزات سنگین با کاهش تولیدات زیستی، افزایش می‌یابد. برای تحلیل سطح مخاطره بوم‌شناسی از جدول راهنمای (۴) استفاده شد.

۲-۳-۳- شاخص آلودگی فلزی

مقدار شاخص آلودگی فلزی (MPI)^۱، روش بسیار مناسب و دقیقی برای ارزیابی آلودگی فلزات در خاک محسوب می‌شود. اگر MPI نزدیک به عدد یک باشد، نشان‌دهنده آن است که بار یا غلظت فلزات سنگین نزدیک به غلظت زمینه و اگر بیش از یک باشد نشان‌دهنده این است که رسوبات منطقه آلوده می‌باشد (Afshari et al. 2016). شاخص MPI از رابطه (۳) به دست آمد.

$$MPI = (Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times Cf_4)^{(1/n)} \quad (3)$$

که، Cf_i برابر است با غلظت فلز i در نمونه.

۲-۳-۴- شاخص مخاطره بوم‌شناسی بالقوه

پس از اصول آگاهی از میزان آلودگی نقاط مختلف، توجه به این نکته که کدام ناحیه از لحاظ آلودگی شرایط بحرانی دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شاخص مخاطره بوم‌شناسی بالقوه (PERI)^۲ با استفاده از میزان سمیت هر یک از فلزات سنگین و میزان انباشتگی این فلزات در منطقه موردنظر، تصویری از میزان مخاطره شرایط منطقه به دست می‌دهد

جدول ۴- محدوده تغییرات و طبقه‌بندی شاخص ارزیابی مخاطره بوم‌شناسی (Hakanson 1980)

Table 4 Range of changes and classification of ecological risk assessment index (Hakanson 1980)

E_i^t	Ecological Risk Level of Each Factor	Ecological Risk Assessment Index	Total Ecological Risk Level
$E_i^t < 40$	مخاطره بوم‌شناسی کم	$RI < 150$	مخاطره بوم‌شناسی کم
$40 \leq E_i^t < 80$	مخاطره بوم‌شناسی متوسط	$150 \leq RI < 300$	مخاطره بوم‌شناسی متوسط
$80 \leq E_i^t < 160$	مخاطره بوم‌شناسی قابل توجه	$300 \leq RI < 600$	مخاطره بوم‌شناسی قابل توجه
$160 \leq E_i^t < 320$	مخاطره بوم‌شناسی زیاد	$RI \geq 600$	مخاطره بوم‌شناسی خیلی زیاد
$E_i^t \geq 320$	مخاطره بوم‌شناسی خیلی زیاد		

²Potential Ecological Risk Index
Environment and Water Engineering

¹Metal Pollution Index



۲-۳-۵- خطر جذب مزمن روزانه

فلزات از مسیر جذب پوستی است، انجام می‌شود (Ghanavati 2018).

برای محاسبه خطر جذب مزمن روزانه (DCI)^۱ فلزات سنگین در خاک‌های محدوده مطالعاتی از طریق تماس پوست از رابطه (۵) استفاده شد.

$$CDI_{\text{dermal}} = CS \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED \times CF / BW \times AT \quad (5)$$

مقایسه میانگین محتوای فلزات سنگین در ایستگاه‌های مختلف به‌وسیله آنالیز آماری ANOVA با سطح معنی‌دار (۰/۰۵) انجام گرفت در نهایت جهت تحلیل فنی داده‌ها از مقایسه نتایج و میانگین‌ها با استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 و Origin 2018 انجام شد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- غلظت عناصر سنگین

نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌گیری سرب، نیکل، کروم و وانادیوم در محدوده مطالعاتی در جدول (۵) ارائه شده است. آنالیز میزان همبستگی عناصر با همدیگر نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین میانگین محتوای عناصر سرب و وانادیوم ($P < 0.01$)، بین عناصر کروم و وانادیوم ($P < 0.05$) و همچنین بین عناصر نیکل و کروم ($P < 0.05$) وجود داشته است (جدول ۶).

با توجه به اهمیت فلزات سنگین در بروز بیماری و حتی سرطان‌زایی آن‌ها، ارزیابی خطر فلزات سنگین بر سلامت انسانی با استفاده از شاخص‌های محیط زیستی از قبیل شاخص خطر جذب مزمن روزانه (DCI) که نشان‌دهنده میزان جذب

که، CDI: جذب مزمن روزانه؛ CS: غلظت مورد مواجهه فلز mg/kg(mg/l)؛ فراوانی مواجهه (۳۵۰ روز/سال)؛ ED: مدت مواجهه (۳۰ سال)؛ AT: متوسط زمان برای حالت غیرسرطان-زایی (۳۶۵ روز/سال ED)؛ BW: متوسط وزن (۷۰ kg) برای یک فرد بالغ)؛ SA: مساحت پوست در معرض (۰/۵۳m²/day)؛ AF: تبعیت فاکتور (۰/۰۷mg/cm²)؛ ABS: نسبت جذب پوستی (۰/۰۰۱)؛ CF: فاکتور تبدیل واحد (۱۰^{-۶}kg/mg^۱).

۲-۴- تحلیل داده‌ها

ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال، توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف موردبررسی قرار گرفت که بررسی‌ها نشان داد داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند ($P > 0.05$) جهت بررسی رابطه همبستگی غلظت فلزات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

تحلیل آماری داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد. به‌منظور مقایسه میانگین غلظت هر فلز سنگین با استاندارد محیط زیستی مربوطه از آزمون T-Test و با سطح معنی‌داری $p < 0.05$ استفاده شد.

جدول ۵ غلظت فلزات سنگین در خاک‌های محور مورد مطالعه، پوسته زمین و مقادیر استاندارد

Table 5 Concentrations of heavy metals in the studied axis soils, crust and standard values

Parameter	Heavy Metals (mg/kg)			
	Pb	Ni	Cr	V
Mean	7	42	53	19
Min.	2	25	31	10
Max.	17	51	97	38
S.D.	1.42	2.36	5.88	2.53
Earth Crust Mean (Pais and Jones Jr 1997)	14	80	68	120
Canada Agriculture use Standard (CCME 2021)	70	50	N.D.	N.D.
Iran Environmental Standard (DoE 20011)	300	50	68	130

S.D.: Standard Division; N.D.: Not Detectable

¹Daily Chronic Intake



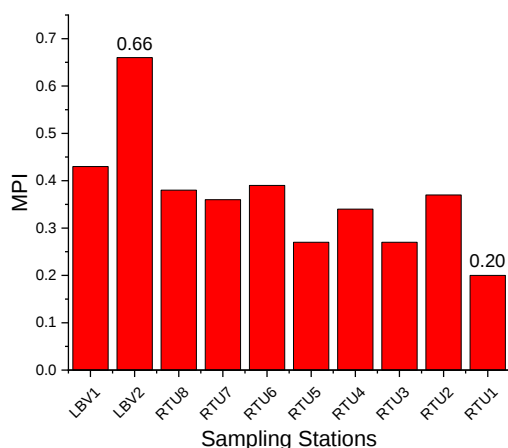
جدول ۶- نتایج همبستگی میان فلزات سنگین در خاک‌های محور مورد مطالعه
Table 6 Correlation results between heavy metals in the studied axial soils

		Pb	Ni	Cr
Pb	Pearson Correlation			
	Sig. (2-tailed)			
Ni	Pearson Correlation	0.26		
	Sig. (2-tailed)	0.46		
Cr	Pearson Correlation	0.55	*0.65	
	Sig. (2-tailed)	0.10	0.04	
V	Pearson Correlation	**0.86	0.50	*0.75
	Sig. (2-tailed)	0.00	0.14	0.01

*Correlation is significant at the 0.05 level; **Correlation is significant at the 0.01 level

۳-۲-۳- شاخص MPI

در این مطالعه برای مقایسه میزان کل فلزات در مکان‌های مختلف نمونه‌های برداری، شاخص MPI در ایستگاه‌های مختلف محاسبه گردید (شکل ۲). براین اساس بالاترین مقدار شاخص آلودگی فلزی در ایستگاه LBV1 (حداصل دو روستای نیمه کار، دمیلو از توابع دهستان گچین، بخش مرکزی شهرستان بندرعباس در حدود ۵۰ km بندرعباس) معادل ۰/۶۶ و کم‌ترین آن در ایستگاه RTU1 (محدوده نزدیک به روستای سهمو جنوبی از توابع دهستان چاه مبارک، بخش چاه مبارک شهرستان عسلویه در استان بوشهر) به میزان ۰/۲۰ برآورد شد.



شکل ۲ - شاخص MPI در خاک‌های محدوده مطالعاتی به تفکیک ایستگاه‌های نمونه برداری

Fig. 2 MPI in soils of study area at different sampling station

۳-۲-۴- شاخص مخاطره بالقوه بوم‌شناختی

مقادیر محاسبه شده شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی فلزات سنگین نشان می‌دهد که شاخص مخاطره در مورد نیکل و

۳-۲-۲- نتایج شاخص‌های آلودگی خاک

۳-۲-۳- شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})

نتایج مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر مربوط به عناصر سنگین موردنظر پژوهش شامل سرب، نیکل، کروم و وانادیوم در ایستگاه‌های ده گانه نمونه برداری شده در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷- مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر مربوط به عناصر سنگین در خاک‌های محور مورد مطالعه

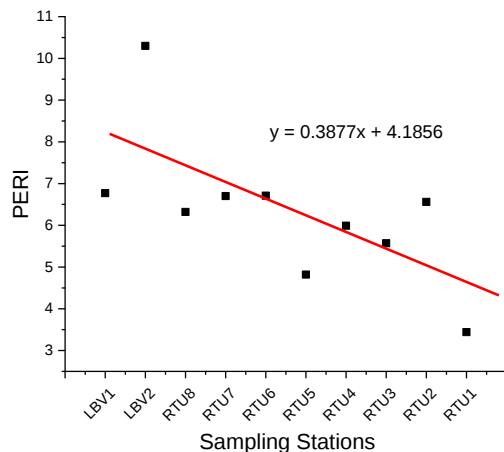
Table 7- Müller geochemical index values related to heavy elements in the studied axial soils

Sampling Station	V	Cr	Ni	Pb
RTU1	-4.17	-2.95	-2.03	-3.32
RTU2	-2.97	-2.12	-1.35	-1.45
RTU3	-3.68	-1.15	-3.06	-3.91
RTU4	-3.40	-1.30	-1.15	-2.58
RTU5	-3.68	-1.83	-1.39	-2.91
RTU6	-3.68	-1.46	-1.31	-1.58
RTU7	-3.10	-1.22	-1.00	-2.32
RTU8	-3.10	-1.35	-1.21	-2.10
LBV1	-2.24	-1.48	-1.06	-0.82
LBV2	-2.85	-1.19	-1.31	-1.74

۳-۲-۳- درجه آلودگی اصلاح شده (mCd)

درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) بر مبنای ایستگاه‌های ۱۰ گانه برای سرب، نیکل، کروم و وانادیوم در خاک‌های محدوده انتقال میعان‌ات گازی به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۶۳، ۰/۶۰ و ۰/۱۵ محاسبه شد. قابل ذکر است که مقدار درجه آلودگی (Cd) هم برای چهار عنصر مورد مطالعه به ترتیب ۳/۷۰، ۶/۲۵، ۵/۹۶ و ۰/۵۲ محاسبه شد.

براساس شکل (۳) در پژوهش حاضر بالاترین مخاطره بوم-شناسی در فلزات سنگین موردبررسی مربوط به Ni به میزان ۳۱/۲۵ بوده است. کمترین میزان مخاطره بهداشتی به دست آمده نیز مربوط به V به میزان ۱/۵۲ تعیین گردید. همچنین Pb (۱۸/۵۰) و Cr (۱۱/۹۱) در حد متوسط قرار داشتند. شاخص مخاطره اکولوژیکی بالقوه در خاکهای محدوده مطالعاتی به تفکیک ایستگاههای نمونهبرداری در شکل (۴) آورده شده است.



شکل ۴ - شاخص خطر بالقوه بومشناختی (PERI) در خاکهای محدوده مطالعاتی به تفکیک ایستگاههای نمونهبرداری

Fig. 4 Potential ecological risk index in the soils of the study area by sampling stations

براساس شکل (۴) بالاترین شاخص PERI در خاکهای محدوده مطالعاتی مربوط به ایستگاه LBV1 (۱۰/۳۰) و کمترین آن مربوط به RTU1 (۳/۴۴) به دست آمد. شاخص خطر بالقوه بومشناختی در خاکهای محدوده مطالعاتی به تفکیک ایستگاههای نمونهبرداری به صورت $RTU1 < RTU5 < RTU3 < RTU4 < RTU8 < RTU2 < RTU7 < RTU6 < LBV2 < LBV1$ بود.

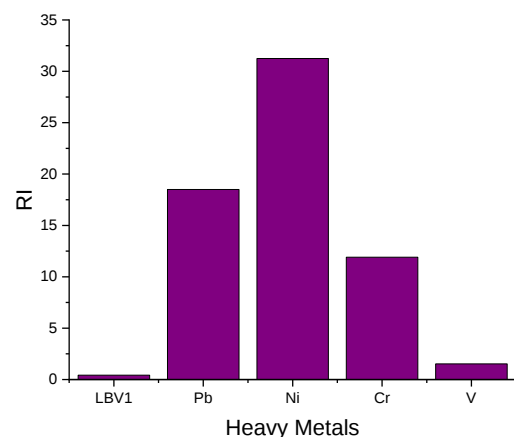
جدول ۸- جذب مزمن روزانه فلزات سنگین ($\mu\text{g.kg}$) برای مسیر مواجهه پوستی

Table 8 Chronic daily intake of heavy metals ($\mu\text{g.kg}$) for the skin exposure route

ایستگاه نمونهبرداری	Pb	Ni	Cr	V
LBV1	4.3×10^{-5}	12×10^{-5}	24×10^{-5}	9.6×10^{-5}
LBV2	2.2×10^{-5}	10×10^{-5}	15×10^{-5}	6.3×10^{-5}
RTU1	0.7×10^{-5}	6.3×10^{-5}	8.9×10^{-5}	2.5×10^{-5}
RTU2	2.7×10^{-5}	10×10^{-5}	7.8×10^{-5}	5.8×10^{-5}
RTU3	0.5×10^{-5}	12×10^{-5}	15×10^{-5}	3.5×10^{-5}
RTU4	1.2×10^{-5}	11×10^{-5}	13×10^{-5}	4.3×10^{-5}
RTU5	1×10^{-5}	9×10^{-5}	9.6×10^{-5}	3.5×10^{-5}
RTU6	2.5×10^{-5}	10×10^{-5}	12×10^{-5}	3.5×10^{-5}
RTU7	1.5×10^{-5}	12×10^{-5}	14×10^{-5}	5.3×10^{-5}
RTU8	1.7×10^{-5}	11×10^{-5}	13×10^{-5}	5.3×10^{-5}

سرب به ترتیب با مقدار عددی ۳۱/۲۵ و ۱۸/۵ بالاترین بوده و کروم (۱۱/۹۱) و وانادیوم (۱/۵۲) در پایینترین مقدار قرار دارند (شکل ۳)، اگرچه سطح خطر بومشناسی هر یک از عوامل آلودگی مورد مطالعه در محدوده خطر بالقوه بومشناختی کم ($E_i^f < 40$) قرار دارد. همچنین قابلیت خطر اکولوژیکی به تفکیک هر ایستگاه در شکل (۴) ارائه شده است. بر این اساس بالاترین خطر در ایستگاه LBV1 که در محدوده مجاور با بندرعباس قرار دارد مشاهده شده است.

در مجموع با توجه به طبقه بندی خطر بالقوه بومشناختی (Ghanavati 2018) مندرج در جدول (۴)، اگرچه همراه با نزدیک شدن ایستگاههای مطالعاتی از عسلویه تا بندرعباس روند افزایشی در خطر دیده می شود (معادله خط در شکل ۶)، اما در هر حالت در محدوده خطر بالقوه بومشناختی کم ($RI < 150$) قرار دارد. شاخص خطر بومشناسی فلزات سنگین در خاکهای محدوده مطالعاتی در شکل (۳) آورده شده است.



شکل ۳- شاخص خطر بومشناختی فلزات سنگین در خاکهای محدوده مطالعاتی

Fig. 3 RI of heavy metals in the soils of the study area

۳-۲-۵- شاخص DCI

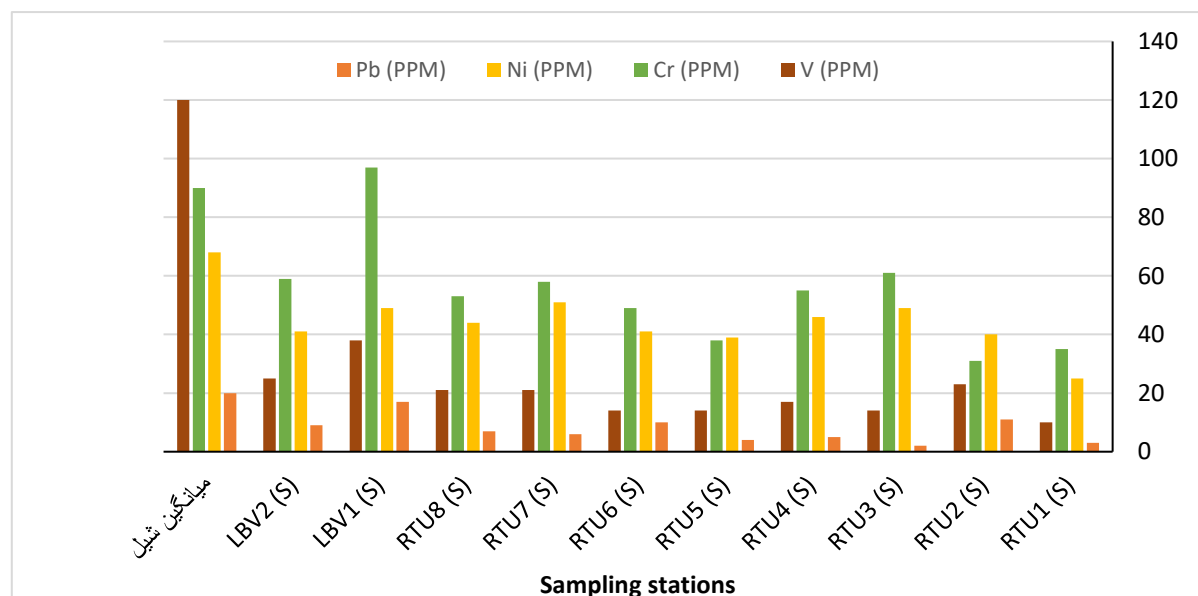
جذب مزمن روزانه چهار فلز سنگین مورد مطالعه شامل سرب، نیکل، کروم و وانادیوم در خاک‌های محدوده مطالعاتی در جمعیت‌های در معرض آلودگی از مسیر مواجهه تماس پوستی در جدول (۸) آورده شده است.

بیش‌ترین میزان DCI فلزات سنگین از مسیر مواجهه پوستی برای فلزات سنگین Cr، Ni، Pb و V به ترتیب در LBV1^(۵) (۴/۳×۱۰^{-۵})، RTU3 و RTU7 (۱۲×۱۰^{-۵})، LBV1 (۲۴×۱۰^{-۵}) و LBV1 (۹/۶×۱۰^{-۵} μg.kg) کم‌ترین میزان CDI فلزات سنگین از مسیر مواجهه پوستی برای فلزات سنگین Cr، Ni، Pb و V به ترتیب در RTU3 (۰/۵×۱۰^{-۵})، RTU1 (۶/۳×۱۰^{-۵})، RTU2 (۷/۸×۱۰^{-۵}) و RTU1 (۲/۵×۱۰^{-۵}) بود.

آلودگی محیط‌زیست از جمله خاک از مشکلات امروز جهان در مواجهه با صنعتی شدن است. آلودگی خاک از طریق تماس مستقیم با خاک آلوده، مصرف آب‌های زیرزمینی، تجمع در رسوبات و آلودگی آب‌زیان در طول زنجیره غذایی، به انسان منتقل می‌شود (Krishna and Govil 2007). فلزات سنگین از جمله آلاینده‌هایی هستند که در چند دهه گذشته از طریق فعالیت‌های انسانی نظیر دفن پسماندهای ناشی از فعالیت‌های صنعتی و سوخت‌های فسیلی، به میزان زیاد وارد محیط‌زیست

شده‌اند (Santos et al. 2005). آلودگی این فلزات به دلیل حضور منبع‌های نشردهنده متعدد، پایداری، سمیت بالا، عدم تجزیه‌پذیری و تجمع زیستی در بخش زنده یک بوم‌سازگان بسیار مورد توجه همگان قرار گرفته است (Abadi et al. 2019). آلودگی بوم‌سازگان خشکی به فلزات سمی و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی و یا بوم‌سازگان آبی در نهایت سلامت و بهداشت جامعه انسانی را تهدید می‌کند (Malvandi 2017). از این‌رو، توجه بسیاری از پژوهش‌گران در دهه‌های اخیر به ارزیابی شرایط آلودگی در بوم‌سازگان‌های آبی، آلودگی فلزات سنگین و چگونگی رفع آن‌ها در بوم‌سازگان‌های گوناگون جلب شده است (Bahador et al. 2015).

با توجه به اهمیت آلودگی خاک در مناطق صنعتی و به‌ویژه خطوط انتقال فرآورده‌های نفتی، این مطالعه به منظور بررسی و پایش آلودگی خاک‌های سطحی مسیر خط لوله انتقال میعانات گازی عسلویه در استان بوشهر تا بندرعباس در استان هرمزگان انجام گرفت. طی این پژوهش وضعیت آلودگی خاک‌های مسیر مورد مطالعه از نظر فلزات سنگین بررسی گردید. نتایج این مطالعه می‌تواند برای تدوین برنامه‌های محیط زیستی برای رفع آلودگی و همچنین ارزیابی زیست پالایی خاک‌های مسیر انتقال خوراک و فرآورده‌های نفتی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۵- غلظت عناصر سنگین در خاک‌های محدوده مطالعاتی

Fig. 5 Concentration of heavy elements in the soils of the study area

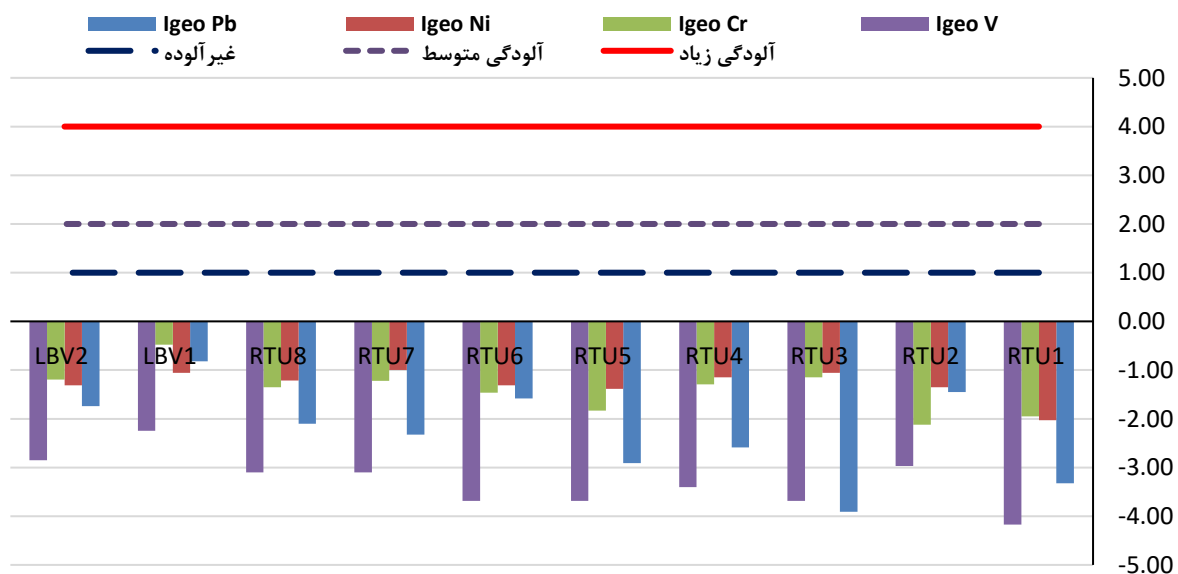
دومین ایستگاه مطالعاتی در حدفاصل روستاهای نمیه کار و دمیلو در استان هرمزگان، مقدار هر چهار عنصر در کل محدوده

بررسی تفکیکی غلظت فلزات سنگین در خاک محدوده مطالعاتی (شکل ۵) نشان می‌دهد که به‌استثنای کروم در

میانگین شاخص Igeo کلیه عناصر مقدار منفی می‌باشد (Igeo < 0)، منفی بودن کلیه داده‌های محاسباتی نشان می‌دهد خاک‌های مسیر انتقال میعانات گازی در منطقه مطالعاتی از لحاظ این عناصر در دامنه خاک‌های غیرآلوده قرار می‌گیرند (شکل ۶). مطالعات انجام‌شده در خاک پنج پالایشگاه کشور نشان داد که بالاترین مقدار شاخص Igeo مربوط به فلز مس در سر چاه نقت (۴۵۳/۲۵) و پایین‌ترین میزان این شاخص مربوط به فلز کادمیوم در کمپ‌های مسکونی (۰/۰۵۹) بود (Alipour Asadabadi et al. 2016). مقادیر شاخص Igeo فلزات سنگین در واحدهای بهره‌برداری میدان نفتی برای سرب ۴۷/۶۷ محاسبه شد که نسبت به مسیر انتقال عدد بالاتری می‌باشد. در پژوهش مورداشاره، شاخص Igeo فلز سرب در خاک میدان نفتی آلودگی شدید را نشان داد. لازم به ذکر است که شاخص زمین‌انباشتگی در اراضی با کاربری شهری متفاوت می‌باشد. در این اراضی در عناصری که متأثر از صنعت هستند، مقادیر Igeo بیش‌تر از اراضی کشاورزی و یا مرتعی می‌باشد (Afshari et al. 2016). همچنین در خاک‌های کنار جاده که بیش‌تر متأثر از آلاینده‌های ناشی از ترافیک جاده‌ای هستند، تمرکز بیش‌تری بر روی آلاینده‌هایی مانند سرب صورت پذیرد (Pardakhti and Zahed, 2018).

از مقدار زمینه شیل کم‌تر می‌باشد. در مجموع، میانگین کل غلظت سرب (pb)، نیکل (Ni)، کروم (Cr) و وانادیوم (V) در خاک‌های محدوده انتقال میعانات گازی به ترتیب $۷/۴ \pm ۱/۴$ ، $۴۲/۵ \pm ۲/۴$ ، $۵۳/۶ \pm ۵/۹$ و $۱۹/۷ \pm ۲/۵$ mg/kg محاسبه شده است. بدین ترتیب میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اراضی شمالی خلیج فارس به‌قرار $Cr > Ni > V > pb$ بود. بررسی مقادیر با غلظت زمینه عناصر نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در محدوده پژوهش کم‌تر از غلظت‌های زمینه عناصر می‌باشد. با توجه به پایین بودن غلظت در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری نسبت به مقدار زمینه، منشأ آلاینده‌گی هر چهار فلز سنگین شامل سرب، نیکل، کروم و وانادیوم طبیعی تشخیص داده می‌شود. همبستگی معنی‌دار سرب و وانادیم ($P < 0.01$)، کروم و وانادیوم ($P < 0.05$) و همچنین بین نیکل و کروم ($P < 0.05$) در آنالیز میزان همبستگی عناصر با همدیگر، نشان می‌دهد که کل منابع آلودگی برای این فلزات می‌تواند منبع یکسانی داشته باشد (Ravankhah et al. 2016).

در این پژوهش از شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo) به‌عنوان مرجع برای برآورد وسعت آلودگی فلزات سنگین استفاده شد.



شکل ۶- مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر مربوط به عناصر سنگین در خاک‌های محور مورد مطالعه

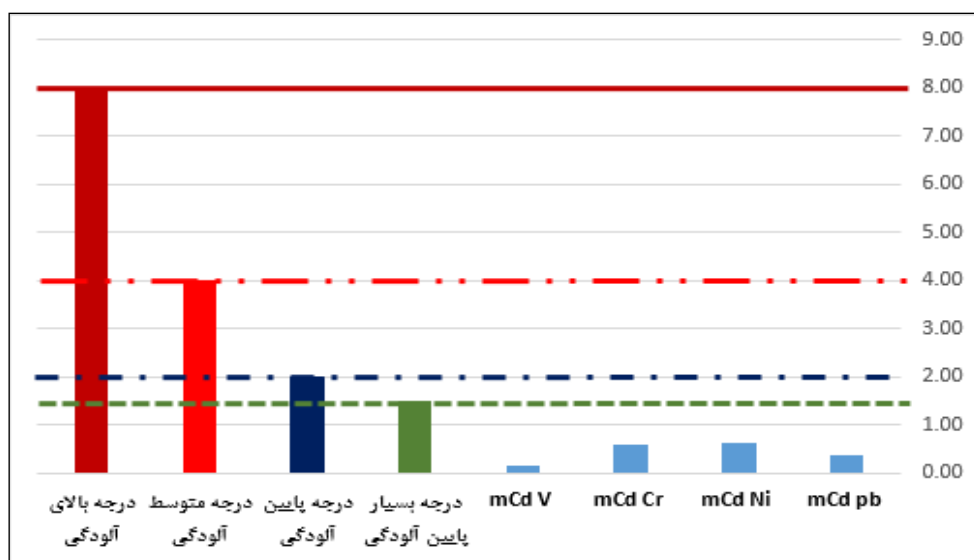
Fig. 6 Müller geochemical index values related to heavy elements in the studied axial soils

کلیه موارد کم‌تر از ۱/۵ محاسبه شده است. از این‌رو وضعیت آلودگی خاک‌های محدوده طرح برای هر چهار عنصر خاک درجه بسیار پایین از آلودگی برآورد می‌گردد (شکل ۷). مقدار

در پژوهش حاضر mCd در کلیه ایستگاه‌های مطالعاتی در مسیر خط انتقال میعانات گازی کم‌تر از ۱/۵ محاسبه شد و با توجه به رده‌بندی درجه آلودگی (جدول ۳)، مقدار mCd در

محاسبه شده که در هر دو صورت نشان‌دهنده درجه بسیار پایین از آلودگی خاک در منطقه است. در حالی که نتایج حاصل از محاسبه آن‌ها در پالایشگاه‌ها نشان از کیفیت نامناسب خاک داده است (Alipour Asadabadi et al. 2016).

Cd هم برای هر چهار عنصر مورد مطالعه در کلیه ایستگاه‌های مطالعاتی کمتر از ۷ محاسبه شده و بنابراین با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده در جدول ۳، درجه آلودگی خاک‌های محدوده طرح از حیث این شاخص نیز پایین برآورد می‌گردد. مقدار Cd هم در کلیه ایستگاه‌های مطالعاتی کمتر از ۷



شکل ۷- مقدار mCd مربوط به عناصر سنگین در خاک‌های محور مورد مطالعه

Fig. 7 The mCd of heavy elements in the soils of the studied area

قرار دارد اگرچه شاخص RI در خصوص فلزاتی مانند کادمیوم در کلاس خطر شدید محاسبه شده است (Alipour Asadabadi et al. 2016).

ارزیابی میزان DCI و خطرات بهداشتی فلزات سنگین، فرآیندی چند مرحله‌ای است که در این پژوهش براساس روش ارزیابی خطر بهداشتی ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA) انجام شد. بررسی میزان جذب مزمن روزانه Cr، Ni، Pb و V برای مسیر مواجهه پوستی در پژوهش حاضر نشان داد که بیش‌ترین میزان DCI برای Cr مربوط به نقطه LBV1 (2.4×10^{-5})، Ni (1.2×10^{-5}) در نقاط RTU3، RTU7 و Pb (4.3×10^{-5}) در LBV1 و V (4.3×10^{-5}) در LBV1 برحسب ppm بود. کم‌ترین میزان DCI نیز در Cr (7.8×10^{-5}) در RTU2، Ni (1.0×10^{-5}) در RTU1، Pb (0.5×10^{-5}) در RTU3 و V (2.5×10^{-5}) برحسب ppm می‌باشد. در نتیجه بیش‌ترین میزان DCI از طریق مواجهه پوستی مربوط به Cr در LBV1 به میزان 2.4×10^{-5} بوده و کمترین آن مربوط به Pb در RTU3 به میزان 0.5×10^{-5} بوده است. فلزات سنگین در خاک از سه

بررسی شاخص MPI برای مقایسه میزان کل فلزات در ایستگاه‌های ده‌گانه نشان می‌دهد که در همه ایستگاه‌ها مقدار شاخص کم‌تر از ۱ بوده و بنابراین فاقد آلودگی بوده و می‌توان گفت غلظت فلزات سنگین کم‌تر و یا نزدیک به غلظت زمینه است.

شاخص RI به تجمع بیولوژیکی و خطر سمیت عناصر سنگین در محیط و اندام‌های زنده حساس است (Sun et al. 2010). بررسی سوابق مطالعاتی نشان می‌دهد که سرب در اراضی شهری در مقایسه با مرتع و کشاورزی از ضریب قابلیت خطر زیست‌محیطی (Er) بالاتری برخوردار است ولی نیکل و کروم در اراضی کشاورزی بالاتر است. شاخص قابلیت خطر محیط-زیستی (IR) عناصر سنگین در خاک‌های شهری بسیار بالاتر از اراضی مرتعی و کشاورزی است (Afshari et al., 2016). مقادیر محاسبه شده شاخص PERI فلزات سنگین نشان می‌دهد مسیر خطوط انتقال از نظر قابلیت مخاطره در محدوده مخاطره بوم‌شناسی بالقوه کم ($RI < 150$) قرار داشت. در سوابق مطالعاتی هم دیده شده است که خطر بوم‌شناختی فلزاتی مانند سرب در خاک میدان‌های نفتی در رده کم‌خطر

۱- منشأ هر چهار فلز سنگین شامل سرب، نیکل، کروم و وانادیوم با توجه به پایین بودن غلظت آن در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری نسبت به مقدار زمینه، طبیعی تشخیص داده شد. اما احتمالاً فعالیت‌های انسانی باعث افزایش غلظت فلزات شده است.

۲- مقادیر محاسبه شده شاخص مخاطره بوم‌شناسی بالقوه فلزات سنگین نشان می‌دهد مسیر خطوط انتقال از نظر قابلیت مخاطره در محدوده مخاطره بالقوه بوم‌شناختی ($RI < 150$) قرار دارد.

۳- بیش‌ترین میزان DCI برای Cr مربوط به نقطه LBV1 (1.2×10^{-5})، Ni (2.4×10^{-5})، در نقاط LBV1، RTU3 و RTU7، Pb (4.3×10^{-5}) در LBV1 و V (4.3×10^{-5}) در LBV1 برحسب ppm بود.

شایان‌ذکر است که مطالعه حاضر دارای کاستی‌ها و محدودیت‌هایی است که از آن جمله می‌توان به عدم امکان نمونه‌برداری در مناطق عملیاتی نفتی بدون هماهنگی اشاره نمود. از طرف دیگر برای تحلیل دقیق‌تر باید خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زمین‌شناسی مسیر انتقال، پهنه‌بندی دقیق‌تر توزیع مکانی فلزات سنگین و فاکتورهای اقلیمی نیز اندازه‌گیری شود.

سپاسگزاری

این مقاله منتج از رساله دوره دکتری تخصصی در رشته آلودگی محیط‌زیست می‌باشد. بدین‌وسیله از همکاری آزمایشگاه کیفیت آزمایش جنوب و همچنین مسئولان پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین‌الملل قشم که در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده‌شده (یا تولیدشده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

References

- Abadi, M., Zamani, A. A., Parizanganeh, A., Khosravi, Y. and Badiiee, H. (2019). Heavy metal contamination in surface sediments of four important rivers leading to the Caspian Sea. *J. Wetland Ecobio.*, 11, 67-82 [In Persian].
- Abraham, G. and Parker, R. (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree

مسیر تنفس، بلع و جذب پوستی به انسان منتقل‌شده، در بافت چربی، بافت عصبی و سیستم غدد درون‌ریز تجمع پیدا می‌کنند و باعث اختلال در سیستم ایمنی بدن و متابولیسم سلولی می‌شوند (Wei and Yang, 2010). البته با توجه به سرطان‌زایی عمده فلزات سنگین، بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین خطرات غیرسرطان‌زایی در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان برای سرب ($51/33$ و $0/71$) و البته کم‌ترین آن برای روی ($0/3$ و $0/01$) بوده است (Ravankhah et al., 2016).

در این پژوهش تأثیر پارامترهای هواشناسی و اقلیمی نظیر سرعت و جهت باد، رطوبت و نوع اقلیم منطقه بر روی آلودگی خاک در نظر گرفته نشده است که نیازمند پژوهش‌های بیشتر می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه می‌تواند برای مراکزی همچون سازمان حفاظت محیط‌زیست، شرکت ملی نفت ایران، شرکت مهندسی توسعه نفت، شرکت ملی حفاری ایران و سایر مراکز قابل کاربرد باشد و زمینه‌ای برای مطالعات بیش‌تر و عمیق‌تر در مناطق صنعتی نفتی گردد تا از خطرات ناشی از آلاینده‌های صنعتی کاسته شود. بدیهی است که مطالعات بسیاری در زمینه آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مناطق صنعتی، پالایشگاه‌ها، پتروشیمی‌ها، میادین نفت و گاز، خاک‌های کشاورزی و خاک‌های سطحی شهرهای صنعتی انجام‌شده است، اما تاکنون تعیین کمیت و بررسی شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین در خاک مسیر خطوط انتقال میعانات گازی انجام نشده و گزارشی در این زمینه وجود نداشت و پژوهش فعلی برای اولین بار انجام پذیرفت.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه آلودگی فلزات سنگین در مسیر خط انتقال میعانات گازی از عسلویه تا بندرعباس بررسی شد. اهم نتایج این مطالعه به‌صورت زیر است:

of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environ. Monit. Assess.*, 136, 227-238.

- Adesina, G. O. and Adelasoye, K. A. (2014). Effect of crude oil pollution on heavy metal contents, microbial population in soil, and maize and cowpea growth. *Agri. Sci.*, 5, 43-50.



- Afshari, A., Khademi, H. and Hojjati, S. (2016). Assessment of heavy metals pollution risk in soils of central Zanjan province based on pollution indices. *J. Water Soil Conserv.*, 22, 21-40 [In Persian].
- Ahmed, F. and Fakhruddin, A. (2018). A review on environmental contamination of petroleum hydrocarbons and its biodegradation. *International J. Environ. Sci. Nat. Resour.*, 11, 1-7.
- Alipour Asadabadi, Z., Malekian, M. and Soleimani, M. (2016). Contamination by petroleum hydrocarbons and heavy metals in soils of five oil refineries. *J. Water Soil Conserv.*, 23, 273-284 [In Persian].
- Alloway, B. J. (2012). Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability, Springer Science and Business Media.
- Bahador, M., Naji, A. and Dehghani, M. (2015). Anthropogenic impacts on heavy metals (Pb, Ni, Zn and Fe) concentration in surface sediments of Shoor River Estuary, Bandar Abbas. *J. Aqua. Ecol.*, 5, 38-48 [In Persian].
- Bollard, E. (1983). Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition. *Encyclopedia of plant physiology. New series.*
- Brahmaiah, T., Spurthi, L., Chandrika, K., Ramanaiah, S. and Prasad, K. (2015). Kinetics of heavy metal (Cr and Ni) removal from the wastewater by using low cost adsorbent. *World J. Pharm. Pharm. Sci.*, 4, 1600-1610.
- Brooks, R. R. (1994). Plants that hyperaccumulate heavy metals. *Plants and the chemical elements: biochemistry, uptake, tolerance and toxicity*, 87-105.
- CCME. (2021). Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs) provide science-based goals for the quality of aquatic and terrestrial ecosystems. [Online]. Available: <https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines> [Accessed May, 21 2021].
- DOE. (2021). Iranian soil quality standard. [Online]. DoE. Available: <https://wsm.doe.ir/portal/home/> [Accessed May, 23 2021].
- Ghanavati, N. (2018). Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Environment and Water Engineering Abadan. *Iran. J. Health Environ.*, 11, 63-74 [In Persian].
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.*, 14, 975-1001.
- Hui, Z., Caiqiu, W., Jiping, G., Xuyin, Y., Qiao, W., Wenming, P., Tao, L., Jie, Q. and Hanpei, Z. (2017). Assessment of heavy metal contamination in roadside soils along the Shenyang-Dalian Highway in Liaoning Province, China. *Pol. J. Environ. Stud.*, 26, 1539.
- Krishna, A. and Govil, P. (2007). Soil contamination due to heavy metals from an industrial area of Surat, Gujarat, Western India. *Environ. Monit. Assess.*, 124, 263-275.
- Malvandi, H. (2017). Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the Zarrin-Gol River sediments, Iran. *Marine Pollut. Bull.*, 117, 547-553.
- Mejia, J., Coplen, T., Berglund, M., Brand, W., De Bievre, P., Groning, M., Holden, N., Irrgeher, J., Loss, R. and Walczyk, T. (2016). Atomic weights of the elements 2013. *Pure Appl. Chem.*, 88, 265-291.
- Morais, S., CosTA, F. G. and Pereira, M. D. L. (2012). Heavy metals and human health. *Environ. Health-Emerging Issues Pract.*, 10, 227-245.
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geoj.*, 2, 108-118.
- Noorpoor, A. R. and Sadri Jahanshahi, A. (2014). Evaluation of Health Risk Assessment by heavy metals in the ambient air of Tehran. *J. Environ. Stud.*, 39, 181-192.
- Pais, I. and Jones Jr, J. B. (1997). The handbook of trace elements, CRC Press.
- Panahandeh, M. and Morovati, M. (2018). Risk of Heavy metals (copper, zinc, lead, cadmium and chromium) on the life of fish in Anzali wetland ecosystem. *Appl. Bio.*, 31, 23-39 [In Persian].
- Pardakhti, A. and Zahed, F. (2018). Pollution indices and ecological risk assessment for heavy metals in side soils of interurban roads, Iran. *J. Environ. Sci. Stud.*, 3, 769-781 [In Persian].



- Ravankhah, N., Mirzaei, R. and Masoum, S. (2016). Human health risk assessment of heavy metals in surface soil. *J. Mazandaran Univ. Med. Sci.*, 26, 109-120 [In Persian].
- Santos, I. R., SILVA-Filho, E. V., Schaefer, C. E., Albuquerque-Filho, M. R. and Campos, L. S. (2005). Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. *Marine Pollut. Bull.*, 50, 185-194.
- Shahidi Kaviani, I. (2020). Study of soil pollution with heavy metals cadmium, lead, and copper in west Karoun oilfields, Khuzestan Province, Iran. *Iran. J. Res. Environ. Health*, 6, 162-172 [In Persian].
- Skandari, A. And Mohammadi, R. M. (2019). Health assessment of heavy metals pollutions in some of imported and cultivated rice of Karoon River (Case study: Shadegan city). *J. Food Hyg.*, 9, 13-24 [In Persian].
- Smialowicz, R. J., Rogers, R. R., Riddle, M. M. and Stott, G. A. (1984). Immunologic effects of nickel: I. Suppression of cellular and humoral immunity. *Environ. Res.*, 33, 413-427.
- Sun, Y., Zhou, Q., Xie, X. and Liu, R. (2010). Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *J. Hazard. Mater.*, 174, 455-462.
- Teng, Y., Ni, S., Wang, J., Zuo, R. and Yang, J. (2010). A geochemical survey of trace elements in agricultural and non-agricultural topsoil in Dexing area, China. *J. Geochem. Explor.*, 104, 118-127.
- Wei, B. and Yang, L. (2010). A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem. J.*, 94, 99-107.
- Zambelli, B., Uversky, V. N. and Ciurli, S. (2016). Nickel impact on human health: An intrinsic disorder perspective. *Biochim. et Biophys. Acta (BBA)-Proteins Proteom.*, 1864, 1714-1731.

Research Paper

Evaluation of Heavy Metal Contamination Potential in Surface Soil of Oil Pipelines in the North of Persian Gulf**Katayoun Hosseini¹, Lobat Taghavi^{2*}, Saber Ghasemi³ and Mohsen Dehghani Ghanatghestani⁴**¹PhD Scholar, Department of Environmental Science, Qeshm Branch, Islamic Azad University, Qeshm, Iran²Assoc. Professor, Department of Environmental Science and Forest, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran³Assist. Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran⁴Assoc. Professor, Department of Engineering and Environmental Science, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran***Corresponding author:** l.taghavi@srbiau.ac.ir**Received:** April 21, 2021**Revised:** June 16, 2021**Accepted:** June 23, 2021**Abstract**

The purpose of this study was to determine the concentration of heavy metals (Pb, Ni, Cr and V) in soil and evaluate the potential environmental risk of heavy metals in the surface soils of Assaluyeh-Bandar Abbas gas condensates pipeline base. For this purpose, 10 stations were randomly selected in a longitudinal transect and soil sampling was performed. Acid digestion of samples was performed and after their filtration, the concentration of each heavy metal was measured using atomic absorption spectroscopy through calibration solutions. According to the results obtained, the mean concentrations of Pb, Ni, Cr and V heavy metals in the study area were 7.4 ± 1.4 , 42.5 ± 2.4 , 53.6 ± 5.9 and 19.7 ± 2.5 mg/kg, respectively. As the findings of this work were all in the permissible level provided in national environmental standards, it was proved that the construction of the pipeline did not result in heavy metal contamination in the environment. However, human activities may have increased the concentration of metals. In this study, significant correlations were observed between Pb and V ($P < 0.01$) and Cr and V ($P < 0.05$) and also between Ni and Cr ($P < 0.05$). The results of calculating geoaccumulation (Igeo), modified concentration degree (mCd) and potential ecological risk indices showed that the soils of studied areas were as unpolluted soil, very low pollution and low potential ecological risk categories, respectively.

Keywords: Assessment; Heavy Metals; Petroleum Pollution; Petroleum Compounds; Surface Soil; Transmission Lines