



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره پنجم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

انباشت فلزات سنگین و مدل‌سازی عددی در خاک سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

* محمد پروین‌نیا^۱ و خاطره احمدی^۲

^۱ استادیار گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه یاسوج،

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه یاسوج

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی فلزهای سنگین به‌عنوان یک مشکل جهانی در عرصه محیط زیست مطرح است. در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، به‌دلیل تأسیس صنایع مختلف گازی، احتمال فلزهای سنگین ناشی از فعالیت‌های صنعتی، بر روی خاک‌های منطقه زیاد است و به یک مشکل جدی تبدیل شده است. ورود فلزهای سمی از طریق فعالیت‌های انسانی باعث آلودگی خاک و در نتیجه آب زیرزمینی شده است، به‌طوری‌که میزان غلظت این عناصر، در خاک و آب زیرزمینی، در بسیاری از نقاط صنعتی بیش از حد مجاز است و یا به زودی به بیش از حد مجاز خواهد رسید. ردیابی یک فلز سنگین در خاک کار بسیار مشکل، وقت‌گیر و پرهزینه است، فلزهای سنگین در خاک قادرند در اعماق زمین نفوذ کرده و باعث آلودگی شدید آب‌های زیرزمینی شوند. هدف از این مطالعه بررسی میزان غلظت فلزهای سنگین با استفاده از دو معیار فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین انباشتگی در خاک سطحی منطقه و مدل‌سازی حرکت فلزهای روی، مس، نیکل و کادمیوم در خاک به‌سمت آب‌های زیرزمینی منطقه است.

مواد و روش‌ها: در ارزیابی اول ده ایستگاه و در بررسی دوم از سیزده محل موردنظر نمونه‌برداری در عمق صفر تا پنج سانتی‌متر از سطح خاک انجام شد و غلظت فلزهای سنگین در ارزیابی اول با استفاده از دو معیار فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین انباشتگی و در ارزیابی دوم با استفاده از روش‌های تجزیه کامل و دسترسی بیولوژیکی به‌دست آمد. سپس حرکت فلزهای روی، مس، نیکل و کادمیوم با استفاده از مدل‌های SEEP/W و CTRAN/W شبیه‌سازی شدند.

یافته‌ها: نتایج آزمایش‌های انجام‌شده نشان داد که فلزهای کادمیم، کبالت، مس، نیکل، سرب، روی، آهن، آلومینیوم، وانادیوم، کلسیم و آرسنیک وجود دارد. نتایج بیانگر این است که عناصر سرب، کادمیم و کبالت در همه نمونه‌ها نسبت به بقیه عناصر غنی‌شدگی بیش‌تری و عناصر مس، آهن و کروم، کم‌ترین غنی‌شدگی را نشان می‌دهند. شاخص زمین انباشتگی در دو عنصر سرب و کادمیم در تمام نمونه‌ها و عنصر کبالت در چهار نمونه آلودگی خاک را نشان می‌دهد. **نتیجه‌گیری:** بیش‌ترین میانگین فلز سنگین موجود در خاک منطقه عسلویه با استفاده از تجزیه کامل، مربوط به فلز منگنز به مقدار ۱۳۲۳/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین آن مربوط به فلز آرسنیک به مقدار ۱۲/۲۸ میلی‌گرم بر

* مسئول مکاتبه: mparvinnia@yu.ac.ir

کیلوگرم است. دسترسی بیولوژیک عنصر منگنز به مقدار ۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و از سایر عناصر بیشتر است و کادمیوم به مقدار ۰/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم از بقیه عناصر کم‌تر است. مدل‌سازی حرکت چهار فلز نشان می‌دهد حرکت فلز کادمیم به سمت آب‌های زیرزمینی بیش از سایر فلزها است و ۱۵۶ روز طول می‌کشد به سطح آب زیرزمینی در محل مورد نظر برسد، حرکت فلز مس نیز کم‌تر از سایر فلزها است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، شاخص زمین انباشتگی، عسلویه، غنی‌شدگی، فلزهای سنگین

مقدمه

فلزهای سنگین بر اکوسیستم خاک تأثیر منفی داشته و مطالعات خاک‌های آلوده ثابت کرده افزایش میزان آلاینده‌ها موجب تقلیل توده‌های زیستی میکروبی و کاهش جمعیت باکتری‌های زنده می‌شود (۱۹، ۲۵، ۲۸). آلودگی محیط زیست با فلزهای سنگین به‌عنوان یک مشکل جهانی مطرح بوده و آلودگی بسیاری از خاک‌ها را به همراه داشته است. شدت آلودگی در این خاک‌ها یا بیش از حد طبیعی بوده یا به زودی به آن حد خواهد رسید (۱۵). سرنوشت فلزهای سنگین و کمپلکس‌های فلزی تخلیه‌شده به حوضه‌های آبخیز با توجه به شرایط محیطی انتقال آن‌ها در خاک و آب بسیار متفاوت هستند (۲۶). ردیابی یک فلز سنگین در خاک کار بسیار مشکل، وقت‌گیر و پرهزینه است، زیرا مقداری از آن به شکل نامحلول درآمده و رسوب می‌کند، مقداری جذب کانی‌ها و مواد آلی خاک می‌شوند، بخشی در خاک تحت تأثیر فرایندهای شیمیایی یا بیولوژیکی تجزیه‌شده، بخشی در خاک تولیدشده و یا از فرمی به فرم دیگر در می‌آیند و قسمتی نیز به‌صورت محلول در خاک موجود بوده و می‌توانند همراه آب در خاک انتقال یابند. این فلزها در خاک قادر هستند در اعماق زمین نفوذ کرده و باعث آلودگی شدید آب‌های زیرزمینی گردند (۲۳). بر اساس ساختار شیمیایی ترکیبات نفتی، برخی از این ترکیبات می‌توانند از طریق تبخیر وارد هوای اطراف

شده و یا برای مدت طولانی در خاک باقی بمانند. فلزهای سنگین اگر از طریق آب‌های زیرزمینی به آب‌های آزاد راه پیدا کنند وارد اندام آبریان شده و از این طریق به چرخه غذایی انسان نیز راه پیدا می‌کنند. فلز ممکن است جذب مواد رسی خاک گردد و یا این‌که به‌صورت رسوبات کربنات، فسفات و هیدروکسید درآید و احتمال دارد با مواد آلی خاک ترکیب و ایجاد کمپلکس نماید. باید توجه داشت که فلز ممکن است در سطح اکسید خاک جذب شود، اگر فلز به حالت محلول باشد می‌تواند به‌وسیله گیاه جذب و یا به عمق فرو رود و وارد آب‌های زیرزمینی گردد (۱۵).

مهم‌ترین آلاینده‌های خاک شامل فلزهای سنگین، بارش اسیدی و مواد آلی می‌باشند، از این بین، فلزهای سنگین در سالیان اخیر به‌دلیل خصوصیات آلاینده‌گی‌شان در خاک شدیداً مورد توجه قرار گرفته‌اند. تغییرات مکانی محتویات فلزهای سنگین در خاک سطحی کشاورزی ممکن است تحت تأثیر مواد خاک مادری و منابع انسانی باشد به‌عبارت دیگر این فلزها به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند اما در اثر فعالیت‌های انسانی هم، به خاک افزوده می‌شوند. در حقیقت فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیش‌تر فلزهای سنگین در خاک شود (۳۰).

عناصر روی، مولیبدینوم، وانادیوم، سرب، نیکل، منگنز، جیوه، مس، کروم و کادمیم از طریق دفع لجن نیز وارد محیط می‌شود. فلزهایی چون سرب، آهن،

استفاده از این دو شاخص طبقه‌بندی شدند، نتایج نشان داد عناصر آهن و منگنز در حد طبیعی قرار دارد که بیانگر جذب بسیار ضعیف (بدون آلودگی) در محیط می‌باشد و عناصر وانادیوم و نیکل در رده جذب ضعیف (بدون آلودگی تا آلودگی بسیار کم) قرار داشته و عناصری چون مس، روی و سرب در طبقه‌بندی جذب متوسط (آلودگی بسیار کم تا کم) تا جذب شدید (آلودگی زیاد تا شدید) قرار گرفته است (۱۳، ۶). بهویان و همکاران (۲۰۱۰) آلودگی فلزهای سنگین را در خاک‌های کشاورزی با استفاده از چندین شاخص، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشتگی و شاخص بار آلودگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان از غنی‌شدگی معنی‌دار خاک‌ها با فلزهای تیتانیوم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتیموان به‌دست آمده از فعالیت‌های معدنی بود (۴).

پروین نیا و خامه‌چیان (۲۰۰۹) مدل‌سازی تحلیلی حرکت فلزهای سنگین در محیط‌های متخلخل جاذب را جهت تصفیه رواناب‌های آلوده صنعتی در منطقه پارس به‌کار گرفتند (۲۴). در زمینه مدل انتشار آلاینده‌های مختلف، علیایی و حیدرپور (۲۰۱۳) بررسی‌های عددی بر روی محیط‌های خاکی به‌منظور امکان تخمین مدل انتشار آلودگی‌های نفتی در خاک‌هایی با مقادیر مختلف نفوذپذیری با استفاده از مدل عددی که بر پایه‌المان محدود است، انجام دادند و نتایج کاربردی برای تعیین الگوی کلی انتشار آلودگی‌های نفتی در خاک‌های مختلف را ارائه دادند (۱۱). همچنین در پژوهشی دیگر عوامل مهم و تأثیرگذار بر انتشار آلاینده‌های نفتی در خاک‌ها و همچنین سفره‌های آب زیرزمینی، با استفاده از روش اجزا محدود^۳ برای تعیین الگوی انتشار آلودگی‌های نفتی در خاک‌هایی با شرایط مختلف را مورد بررسی قرار دادند (۲۲).

کادمیم و آرسنیک نیز از طریق نشت شیرابه از محل‌های دفن زباله به خاک و زمین‌های مجاور منتقل می‌شود. همچنین دفع و دفن خاکستر زغال و ضایعات سوخت‌های گوناگون نیز می‌تواند آلودگی سرب و مس را در منابع آب و خاک به همراه داشته باشد (۱۵).

آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشکی مانند ایران، که متوسط بارندگی آن کم‌تر از یک‌سوم میانگین بارندگی کره زمین است، اهمیت زیادی داشته و نقش قابل‌توجهی را به‌عنوان مخزنی برای آب شیرین ایفا می‌کند. از طرفی آلوده شدن منابع آب زیرزمینی تهدیدی جدی در این مناطق می‌باشد. در بعضی موارد، فرآیندهای طبیعی به‌طور جدی سبب آلودگی می‌شوند، اما بیش‌تر نگرانی‌های بشر در مورد آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی بر اثر فعالیت انسانی است (۱۲).

پژوهشگران متعددی در مناطق شهری و صنعتی، به بررسی پراکنش فلزهای سنگین در خاک پرداختند، از جمله شهبازی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی توزیع مکانی فلزهای سنگین با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین‌آمار و تأثیرات ساختارهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی بر غلظت این فلزها در خاک پرداختند و غلظت فلزهای کروم، مس، نیکل و روی را با شاخص‌های زمین‌انباشتگی، فاکتور آلودگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی جهت تعیین میزان آلودگی مورد استفاده قراردادند (۲۷). در یک پژوهش که با هدف مقایسه شاخص‌های زمین‌انباشتگی^۱ و غنی‌شدگی^۲ در برآورد شدت آلودگی‌های زیست‌محیطی رودخانه شیروود واقع در غرب استان مازندران انجام شد، غلظت کل عناصر مس، روی، سرب، وانادیم، نیکل، منگنز و آهن اندازه‌گیری و رسوبات منطقه با

1- Geoaccumulation Index

2- Enrichment Factor

3- Finite Element Method (FEM)

فلزها در مناطق صنعتی پتروشیمی‌ها، فازهای فعال و مناطق مسکونی بیش از پیش احساس می‌گردد. این پژوهش به بررسی تأثیر صنایع منطقه بر آلودگی خاک به فلزهای سنگین و تعیین شاخص‌های غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشتگی و سپس مدل‌سازی حرکت این آلاینده‌ها در خاک به سمت آب‌های زیرزمینی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه، شکل ۱ در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در جنوب شرقی استان بوشهر در حاشیه خلیج فارس در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرقی بندر بوشهر و واقع در گستره جغرافیایی شهرستان کنگان قرار دارد و حدود ۱۰۵ کیلومتر از میدان گازی پارس جنوبی که در میان خلیج فارس واقع شده (دنباله حوزه گنبد شمالی قطر) فاصله دارد. این منطقه اقتصادی در سال ۱۳۷۷ طبق مصوبه شورای عالی مناطق آزاد تجاری-صنعتی برای بهره‌برداری از منابع نفت و گاز حوزه پارس جنوبی و انجام فعالیت‌های اقتصادی در زمینه نفت و گاز و پتروشیمی در محدوده نوار ساحلی عسلویه و خلیج نابیند به وسعت ۳۰ هزار هکتار تأسیس شد (۲۹).

در سال‌های اخیر رشد مواد زائد تولیدشده در واحدهای صنعتی محدوده مورد مطالعه، در منطقه ویژه پارس باعث ایجاد خطرات زیادی بر زندگی انسان، محیط زیست، آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی شده است. مواد زائد خطرناک صنعتی در منطقه پارس شامل روغن‌های مستعمل (به دلیل داشتن حلال‌های کلره در ساختمان خود سرطان‌زا و به شدت خطرناک هستند)، لجن تصفیه‌خانه‌ها (وجود فلزهای سنگین در مواد ته‌نشین‌شده)، کربن فعال، واکس‌های پلیمری است. به‌عنوان نمونه واحد تصفیه پساب‌های

در پژوهشی دیگر که به‌منظور بررسی میزان تجمع فلزهای سنگین به‌عنوان یکی از آلاینده‌های مهم ناشی از فعالیت‌ها در خاک سطحی صورت گرفت. با توجه به این منظور این پژوهش با هدف تعیین میزان آلودگی فلزهای سنگین کروم، مس، نیکل و روی در شهرستان نهاوند با استفاده از معیارهای شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور آلودگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی و همچنین ارزیابی وضعیت آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه به این فلزها انجام گرفت. در بسیاری از مطالعات برای تعیین سطوح آلودگی از این شاخص‌ها استفاده شده است (۱۰، ۱۸).

مطالعات نشان می‌دهد که بیش‌ترین آلودگی به فلزهای سنگین در خاک‌های تحت اثر آلودگی به‌ویژه در لایه‌های صفر تا بیست سانتی‌متر خاک مشاهده می‌شود. آلودگی فلزهای سنگین به‌سمت پایین پروفیل خاک کاهش می‌یابد. به‌طورکلی در خاک با بیش‌تر از ۲۵ درصد خاک رس، غلظت فلزهای سنگین زیر عمق ۲۰ سانتی‌متر بسیار کم و در خاک‌های درشت‌دانه آلودگی فلزهای سنگین به زیر این عمق نیز نفوذ می‌کند و مقدار آن در عمق ۵۰ الی ۸۰ سانتی‌متر قابل توجه است (۵).

در کشور ما به دنبال رشد ناموزون صنایع در سال‌های اخیر و به‌خصوص صنایع مرتبط با نفت و گاز، آلودگی‌های ناشی از فعالیت این واحدها به خطرناک‌ترین عامل آلاینده محیط زیست تبدیل شده است. افزایش مقدار فلزهای سنگین، بر سطح کمپلکس جذب‌کننده خاک، آلودگی خاک به فلزهای سنگین را در پی خواهد داشت و با توجه به قرار گرفتن این عناصر در زنجیره غذایی، مخاطرات بهداشتی ناگواری در محیط زیست به بار خواهد آورد (۱۵). با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده و استقرار متراکم صنایع در خط ساحلی کنگان-عسلویه نیاز به تعیین شاخص‌های مناسب جهت گزارش آلودگی به

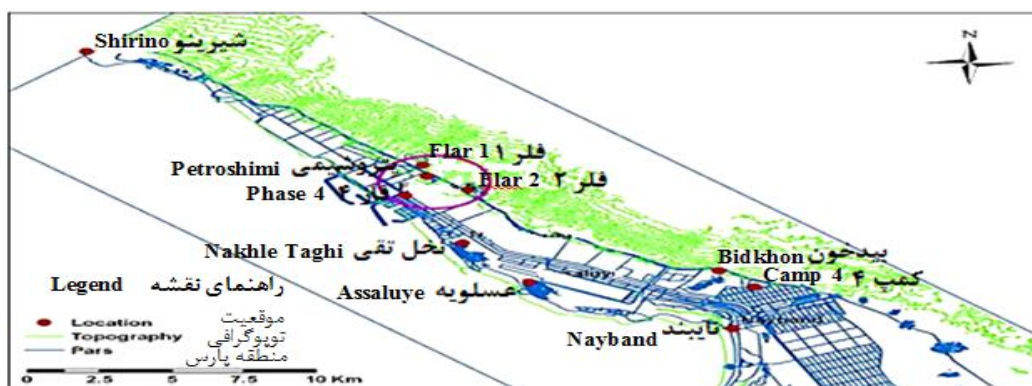
ضعیفی با خاک دارند، ابتدا نمونه‌های خاک را در محلول آب مقطر قرار داده تا مشخص گردد آزاد شدن فلز موردنظر در آب به چه میزان می‌باشد.

شکل ۱ محل‌های مربوط به نمونه‌گیری را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود محل یکی از نمونه‌برداری‌ها یعنی شیرینو خارج از محدوده منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی است و به‌عنوان یک نقطه شاهد انتخاب شده است، این مسأله به این خاطر است که ایستگاه شیرینو با آلودگی‌ها فاصله بیش‌تری داشته و پیش‌بینی می‌شود آلودگی‌ها به این نقطه کم‌تر برسد. در این نمونه‌ها، غلظت نه فلز سنگین منگنز، کادمیوم، آهن، نیکل، کروم، کبالت، سرب، مس و جیوه، بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده از این اندازه‌گیری در جدول ۵ ارائه شده است.

در ارزیابی دوم جهت به‌دست آوردن اطلاعات جامع از وضعیت آلودگی خاک و فلزهای سنگین در مجموع ۱۳ ناحیه انتخاب شد (جدول ۱). از هر ناحیه سه نمونه از عمق صفر تا پنج سانتی‌متر تهیه و سپس به این دلیل که خاک هموزن نبود، نمونه‌ها با هم مخلوط گردید، تا یک نمونه خوب در منطقه داشته باشیم و بتوانیم به یک غلظت واقعی دست پیدا کنیم. در این نمونه‌ها غلظت ۱۲ فلز سنگین اندازه‌گیری شد. برای این منظور یک لوله از جنس فولاد ضدزنگ مجهز به یک پیستون جهت خارج نمودن خاک استفاده شد. برای تعیین میزان غلظت فلزهای سنگین نمونه‌ها در این ارزیابی از آزمایش‌های تجزیه کامل و دسترسی بیولوژیک استفاده شد.

صنعتی مبین که در فاز یک پتروشیمی واقع شده است در کنار بزرگ‌ترین پتروشیمی‌های دنیا (مجتمع پتروشیمی برزویه، بزرگ‌ترین تولیدکننده آروماتیک دنیا، مجتمع پتروشیمی جم بزرگ‌ترین تولیدکننده الفین^۱ دنیا و مجتمع پتروشیمی زاگرس بزرگ‌ترین تولیدکننده متانول دنیا) قرار دارد. پسماندهای مجتمع‌های مذکور آغشته به انواع مواد صنعتی خطرناک است. وجود فلزهای سنگین در صنایع مرتبط با نفت و گاز و پتروشیمی از جمله، وانادیوم، جیوه و ترکیبات سمی خطرناک آرسنیک در پسماندهای این صنعت باعث بروز بیماری‌های خطرناک و مرگ‌آور می‌شود (۲).

آزمایش بر روی نمونه‌های خاک در دو مرحله جهت بررسی دقیق مقدار فلزهای سنگین انجام شد، در مرحله اول هدف بررسی کلی منطقه بوده و نمونه‌های خاک از خاک سطحی و حداکثر تا عمق ۵ سانتی‌متر و از مناطق صنعتی که احتمال آلودگی داشتند و مناطق بکر و دست‌نخورده که تحت تأثیر مستقیم منابع آلاینده نبودند، جمع‌آوری شد. از هر محل تقریباً دو کیلوگرم خاک برداشت شد که به دو قسمت مساوی تقسیم‌شده و یک کیلوگرم از آن در کیسه‌های نایلونی برای تجزیه فلزهای سنگین به آزمایشگاه پژوهشکده صنعت نفت تهران ارسال گردید. برای تعیین کل فلزهای سنگین در خاک روش عصاره‌گیری، به‌ترتیب زیر انجام شده است، پس از جوشاندن نمونه با ۱۰۰ سی‌سی اسید نیتریک غلیظ حجم نمونه را با آب مقطر به یک لیتر رسانیده و سپس توسط کاغذ صافی فیلترشده و در نهایت با دستگاه جذب اتمی فلزهای سنگین محلول اندازه‌گیری شده است. جهت مشخص شدن میزان فلزهای سنگینی که هنوز به‌طور کامل جذب نشده‌اند و پیوند



شکل ۱- محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

Figure 1. Soil samples Stations.

جدول ۱- ایستگاه‌های نمونه‌برداری در ارزیابی دوم.

Table 1. Soil Sample stations at the second evaluation.

| محل ایستگاه Station Local | شماره ایستگاه Station No. |
|---|------------------------------|
| فلر پتروشیمی پارس* | 1 |
| Pars petrochemical flare | |
| فلر پتروشیمی آریا ساسول | 2 |
| Aria sasool petrochemical flare | |
| پتروشیمی غدیر | 3 |
| Ghadir petrochemical | |
| پتروشیمی مبین | 4 |
| Mobin petrochemical | |
| خروجی تصفیه‌خانه مبین | 5 |
| Output of Mobin refinery | |
| فرودگاه قدیم | 6 |
| Old airport | |
| جاده فرودگاه قدیم | 7 |
| Line of old airport | |
| پتروشیمی پتروجم | 8 |
| Petrojam petrochemical | |
| فاز ۲ و ۳ | 9 |
| Phase 2 and 3 | |
| منطقه حفاظت‌شده نایبند | 10 |
| Nayband protected area | |
| نایبند رو به روی بازار پردیس | 11 |
| Nayband, in front of Pardis market | |
| نایبند پروژه‌های عمرانی | 12 |
| Nayband, Civil projects | |
| محل دفن لجن حوضچه ذخیره گاز مایع | 13 |
| Landfill of sludge burial of fluid gas store pond | |

* محل سوختن گازهای اضافی پالایشگاه

The burning place of excess gas of refinery

و B_n غلظت ماده آلاینده در پوسته زمین یا غلظت اولیه عناصر در زمانی که آلودگی وجود نداشته باشد، است. مولر بر اساس این شاخص، خاکها را از نظر درجه آلودگی به شش گروه طبقه‌بندی نموده است (جدول ۲).

معادله حاکم در انتقال فلزهای سنگین در محیط متخلخل: دو پارامتر اساسی در پدیده انتقال آلودگی، جابه‌جایی آلودگی بین دو نقطه و پراکندگی آلودگی هنگام جابه‌جایی است. پدیده جابه‌جایی بین دو نقطه یعنی حرکت آلودگی همراه جریان سیال موجود در خاک، بین دو نقطه (۲۲). پراکندگی نیز به معنی گسترده شدن ناحیه انتقال آلودگی در خلال جریان سیال حاوی ماده آلاینده است. معادله حاکم برای انتقال آلودگی به صورت انتشار و پخش^۳ است که معادله دیفرانسیل حاکم مورد استفاده در مدل CTRAN/W را به صورت زیر می‌باشد:

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} + \rho_d \frac{\partial S}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial t} = \theta D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} - \lambda \theta C - \lambda S \rho_d \quad (3)$$

در این پژوهش برای بررسی حرکت آلودگی فلزهای سنگین (Cu، Cd، Ni و Zn) در خاک به سمت آبخوان‌های منطقه، تحت شرایط مختلف خاک و آلاینده، گمانه‌ای به عمق شش متر به صورت استوانه‌ای در نظر گرفته شد. این گمانه شامل منطقه اشباع و غیراشباع در یکی از آلوده‌ترین ایستگاه‌های مورد بررسی در محل فرودگاه قدیم عسلویه است. حل مسأله به روش اجزا محدود و بعد از تکرار المان‌های متعدد در نهایت تعداد ۱۵۰۰۰ المان به‌عنوان شبکه بهینه انجام گرفت. منحنی رخنه با استفاده هم‌زمان از نرم‌افزارهای SEEP/W و CTRAN/W

فاکتور غنی‌شدگی: جهت تعیین میزان آلاینده‌گی خاک به عناصر سنگین در یک منطقه، باید میزان غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته‌شده مقایسه شود. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است زیرا شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند.

معیارهایی برای بررسی درجه آلودگی خاک ارائه شده است که می‌توان بر اساس آن‌ها به وجود یا عدم وجود آلودگی خاک پی برد. از جمله این معیارها می‌توان به فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشتگی اشاره نمود (۱۷). بر اساس این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید، این فاکتور از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$EF = \frac{S_c}{R_c} \quad (1)$$

که در آن، EF فاکتور غنی‌شدگی، SC غلظت عنصر در خاک^۱ و RC غلظت عنصر در ماده مرجع^۲ است. غلظت ماده مرجع، میانگین جهانی غلظت عناصر موجود در پوسته است (جدول ۶).

شاخص زمین‌انباشتگی: شاخص زمین‌انباشتگی که توسط مولر معرفی شده است، شاخص دیگری است که می‌تواند درجه آلاینده‌گی خاک را تعیین کند و در هر دو ارزیابی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (۲۱):

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right) \quad (2)$$

که در آن، I_{geo} شاخص زمین‌انباشتگی یا شاخص شدت آلودگی در رسوبات، Log_2 لگاریتم بر پایه ۲، C_n غلظت ماده آلاینده در رسوبات سطحی و خاک

1- Soil Concentration
2- Reference Concentration

3- Advection-Dispersion

قابلیت معرفی نفوذپذیری به صورت تابعی از فشار وجود دارد. همچنین می‌توان درصد رطوبت حجمی را نیز به صورت تابعی از فشار و نسبت نفوذپذیری در دو راستای X و Y به برنامه معرفی کرد.

به دست آمد. در نرم‌افزار استفاده شده GeoStudio، ابتدا مدلی در بسته SEEP/W از نرم‌افزار برای محاسبه سرعت و دبی جریان‌های آب زیرزمینی ساخته شده و مدل ساخته شده جهت انتقال آلودگی در محیط CTRAN/W وارد شده است. در این برنامه

جدول ۲- مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی در آلودگی خاک (۱۷).

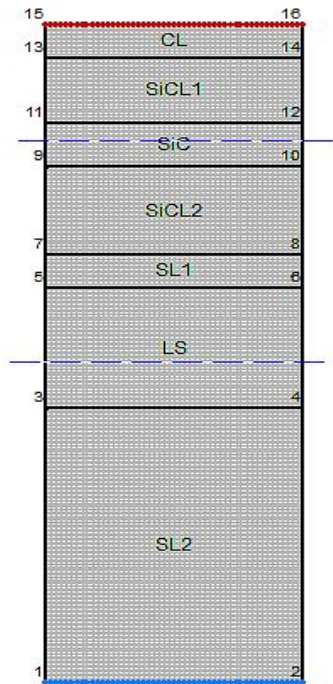
Table 2. Geoaccumulation Index values of soil contamination.

| شاخص زمین‌انباشتگی Geoaccumulation Index | درجه آلودگی خاک Degree of soil contamination |
|---|---|
| کم‌تر از صفر Less than zero | غیرآلوده Uncontaminated |
| 1-0 | غیرآلوده تا کمی آلوده Uncontaminated to slightly contaminated |
| 2-1 | کمی آلوده Slightly contaminated |
| 3-2 | کمی آلوده تا خیلی آلوده Slightly contaminated to Highly contaminated |
| 3-3 | خیلی آلوده Highly contaminated |
| 5-4 | خیلی آلوده تا شدیداً آلوده Highly contaminated to strongly Highly contaminated |
| بزرگ‌تر از ۵ Bigger than 5 | شدیداً آلوده Highly contaminated |

مشخصات مصالح: مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی برای گمانه مورد بررسی به دست آمده که برای ایستگاه مورد نظر میانگین هدایت هیدرولیکی $(m/sec) 5/3241 \times 10^{-6}$ اندازه‌گیری شد و در مدل به کار برده شده است، تا نتایج مدل با واقعیت همخوانی بیشتری داشته باشد. در شکل ۲ نمایی از هندسه، شرایط مرزی و المان‌بندی مدل نشان داده شده است. مقادیر چگالی خشک و ضریب انتشار هیدرودینامیکی^۱ برای هر مصالح به دست آمد و مقدار

$\alpha_L = 0/06m$ و $\alpha_T = 0/06m$ در مدل‌سازی به کار برده شده است که به صورت جدول ۳ استفاده شده است. شرایط مشخص شده در مرزهای مسأله، یکی از مؤلفه‌های اصلی تجزیه و تحلیل عددی است. در این پژوهش بحرانی‌ترین شرایط مرزی به عنوان شرط مرزی بالادست طبق جدول ۴ در مدل‌سازی به کار برده شد. شرط مرزی به کار برده شده در مدل CTRAN/W، به صورت $Mass\ Concentration\ (C) = 50 \frac{gr}{m^3}$ آمده است.

۱- Hydrodynamic Dispersion Coefficient



شکل ۲- هندسه مسأله، شرایط مرزی و المان‌بندی مدل عددی گمانه در مدل SEEP/W.

Figure 2. Geometry, Boundary condition and Element of numerical model of borehole in SEEP/W model.

جدول ۳- مشخصات لایه‌های مختلف خاک.

Table 3. Specification of different soil layers.

| D_L | | | | میزان رطوبت حجمی Volumetric Water Content | چگالی خشک Dry Density ($gr\ m^{-3}$) | مصالح گمانه Borehole Material |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|-------------------------------------|
| Zn | Ni | Cu | Cd | | | |
| 7.1×10^{-8} | 7.04×10^{-8} | 7.05×10^{-8} | 7.04×10^{-8} | 0.3312 | 1.49×10^6 | CL |
| 6.9×10^{-8} | 6.9×10^{-8} | 6.9×10^{-8} | 6.9×10^{-8} | 0.3879 | 1.55×10^6 | SiCL |
| 6.9×10^{-8} | 6.9×10^{-8} | 6.9×10^{-8} | 6.9×10^{-8} | 0.3582 | 1.49×10^6 | SiC |
| 7.2×10^{-8} | 7.2×10^{-8} | 7.2×10^{-8} | 7.2×10^{-8} | 0.122 | 1.63×10^6 | SL |
| 7.5×10^{-8} | 7.5×10^{-8} | 7.5×10^{-8} | 7.5×10^{-8} | 0.0712 | 1.69×10^6 | LS |

جدول ۴- تغییرات هد نسبت به زمان در مدل SEEP/W (شرط مرزی بالادست).

Table 4. The head changes over time in SEEP/W model (Upstream boundary condition).

| هد کل Head (m) | زمان Time (sec) |
|-------------------|--------------------|
| 6.134 | 0 |
| 6.12 | 600 |
| 6.1 | 1800 |
| 6.08 | 3600 |
| 6.06 | 18000 |
| 6.03 | 36000 |
| 6.01 | 72000 |
| 6 | 86400 |

این اندازه‌گیری در جدول ۵ ارائه شده است. در جدول ۶ میزان غلظت‌های دو استاندارد مختلف United State و Great London Council, GLC Environmental Protection Agency, USEPA و همچنین میانگین جهانی برای عناصر سنگین موردنظر را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

نتایج غلظت و توزیع مکانی فلزهای سنگین: غلظت نه فلز سنگین منگنز (Mn)، کادمیوم (Cd)، آهن (Fe)، نیکل (Ni)، کروم (Cr)، کبالت (Co)، سرب (Pb)، مس (Cu) و جیوه (Hg)، بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک سطحی ایستگاه‌های موردنظر اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده از

جدول ۵- غلظت عناصر مختلف در خاک‌های منطقه (میلی‌گرم بر کیلوگرم).

Table 5. Concentration of elements in soil (mg/kg).

| شماره نمونه Example No. | | | | | | | | | | عناصر Element |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|
| عسلویه ایستگاه ۱۰ St. 10 | فلر ۲ ایستگاه ۹ St. 9 | بیدخون ایستگاه ۸ St. 8 | فاز ۴و ۵ ایستگاه ۷ St. 7 | نابند ایستگاه ۶ St. 6 | کمپ ۴ ایستگاه ۵ St. 5 | شیرینو ایستگاه ۴ St. 4 | پتروشیمی ایستگاه ۳ St. 3 | نخل تقی ایستگاه ۲ St. 2 | فلر ۱ ایستگاه ۱ St. 1 | |
| 200 | 300 | 200 | 200 | 100 | 500 | 100 | 400 | 200 | 100 | Mn |
| 0.56 | 0.57 | 0.53 | 0.62 | 0.49 | 0.69 | 0.41 | 0.58 | 0.64 | 0.66 | Cd |
| 7000 | 12000 | 6000 | 6500 | 1900 | 14000 | 7300 | 12000 | 7200 | 5900 | Fe |
| 57 | 56 | 29 | 58 | 44 | 71 | 42 | 78 | 55 | 63 | Ni |
| 16.4 | 17.6 | 18.5 | 19.4 | 15.7 | 16.2 | 12.6 | 15.3 | 18.4 | 17.8 | Cr |
| 26.5 | 28 | 21.3 | 21.1 | 33 | 35.6 | 18.5 | 25.3 | 31.4 | 29.2 | Co |
| 41.7 | 33.1 | 40.2 | 35.4 | 42.4 | 41.2 | 30.5 | 40.7 | 45 | 42.6 | Pb |
| 7.8 | 8.3 | 7.4 | 7.9 | 6.7 | 9.6 | 5.7 | 8.8 | 7.7 | 8.4 | Cu |
| <0.025 | <0.025 | <0.025 | <0.025 | <0.025 | <0.025 | <0.025 | <0.025 | <0.025 | <0.025 | Hg |
| 6.9 | 8 | 7.5 | 7.9 | 8.4 | 7.5 | 8.1 | 8.2 | 7.8 | 8.3 | PH |

جدول ۶- مقادیر غلظت عناصر سنگین (میلی‌گرم بر لیتر) از دیدگاه دو استاندارد و میانگین جهانی این عناصر (۱۴).

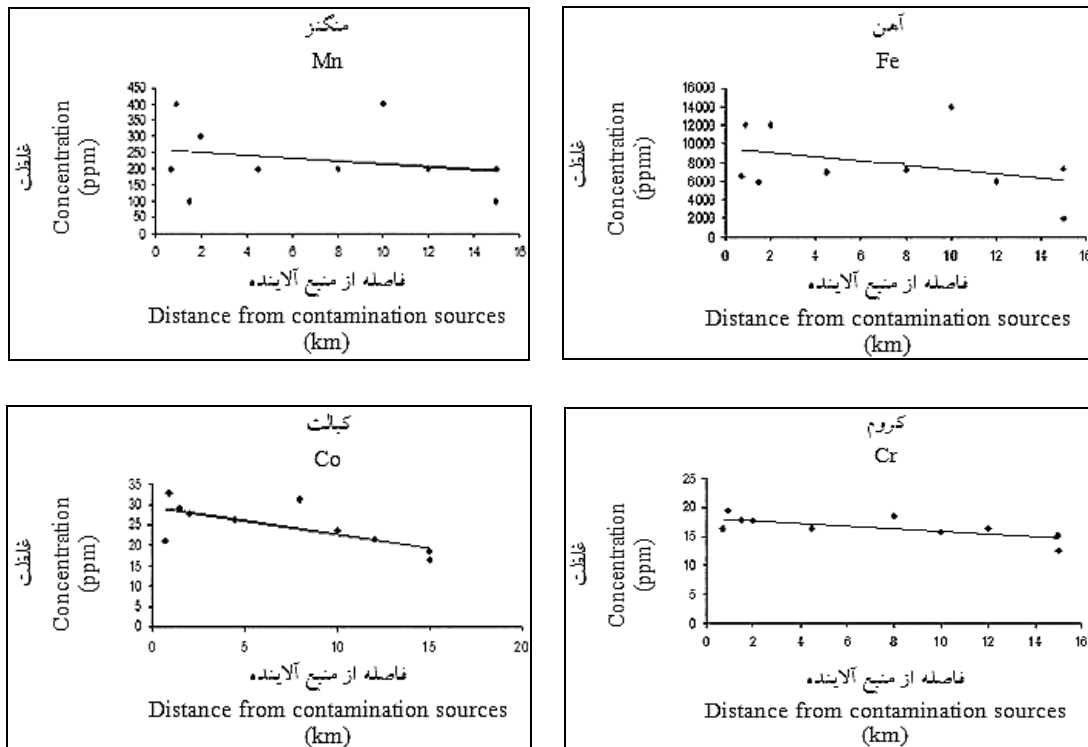
Table 6. Concentration of heavy metals of two different standards and the global average of these elements.

| Cu | Pb | Co | Cr | Ni | Fe | Cd | Mn | استاندارد Standard |
|----|----|----|----|----|-------|-----|-----|---------------------------------|
| 30 | 10 | 8 | 10 | 40 | NR | - | 600 | USEPA |
| NR | ۲۰ | NR | 10 | 20 | NR | - | 600 | GLC |
| 45 | 20 | 19 | 90 | 68 | 47200 | 0.3 | 850 | میانگین جهانی Global average |

NR(Not Recorded): ثبت نشده

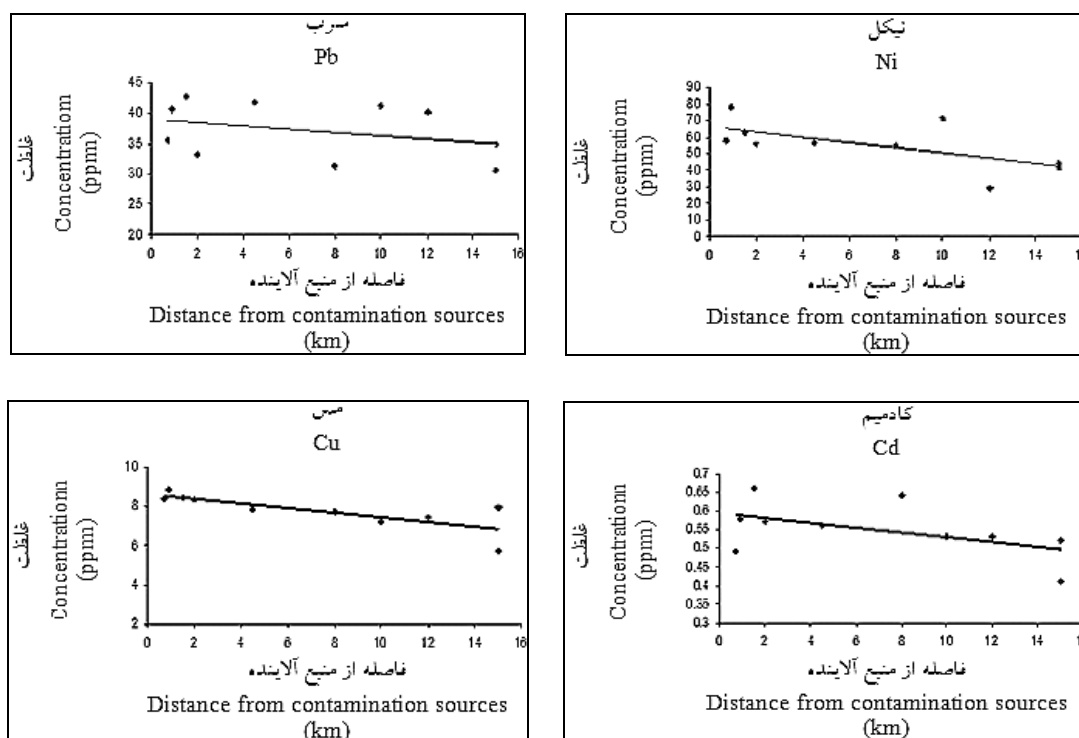
و نایبند) مساوی با نقطه شاهد بوده است و در سایر محل‌ها مقادیر بالاتری دارد. در مورد عنصر آهن، پراکندگی‌هایی دیده می‌شود و غلظت‌های اندازه‌گیری شده نزدیک به غلظت نقطه شاهد است. به‌منظور تبیین روند تغییرات مکانی عناصر مختلف، تغییرات غلظت این عناصر با فاصله از منشأ آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. به‌دلیل این‌که بیش‌تر صنایع پتروشیمی و فازهای فعال در محدوده دایره مشخص شده در شکل ۱ قرار دارند، این نقطه به‌عنوان مرکز منابع آلوده‌کننده انتخاب گردید. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود غلظت تمام عناصر با فاصله گرفتن از منابع آلاینده کاهش می‌یابند. بیش‌ترین روند کاهشی مربوط به آهن، منگنز، نیکل و کبالت است.

مقایسه نتایج مربوط به آنالیزهای انجام‌شده بر روی خاک منطقه مورد مطالعه جدول ۵ و استانداردهای ارائه‌شده جدول ۶ نشان می‌دهد که در مقایسه با استاندارد سازمان محیط زیست آمریکا (EPA) مقادیر سرب و کبالت در نمونه‌ها بیش‌تر از حد استاندارد هستند. در مورد بقیه عناصر مقدار بالاتر از حد استاندارد EPA دیده نمی‌شود. در مقایسه با استاندارد GLC مقادیر سرب در نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد است. مقادیر همه نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد (شیرینو) مقایسه شدند که در این مقایسه مشخص گردید که از پنج عنصر مورد بررسی کادمیم، کروم، کبالت، سرب و مس در نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد مقادیر بالاتری نشان می‌دهند، این موضوع قابل‌انتظار است. غلظت منگنز فقط در دو نقطه (فلر ۱



شکل ۳- کاهش غلظت فلزهای سنگین در خاک با افزایش فاصله از صنایع منطقه.

Figure 3. Reducing the concentration of heavy metals in the soil with increasing distance from the Industries sites.

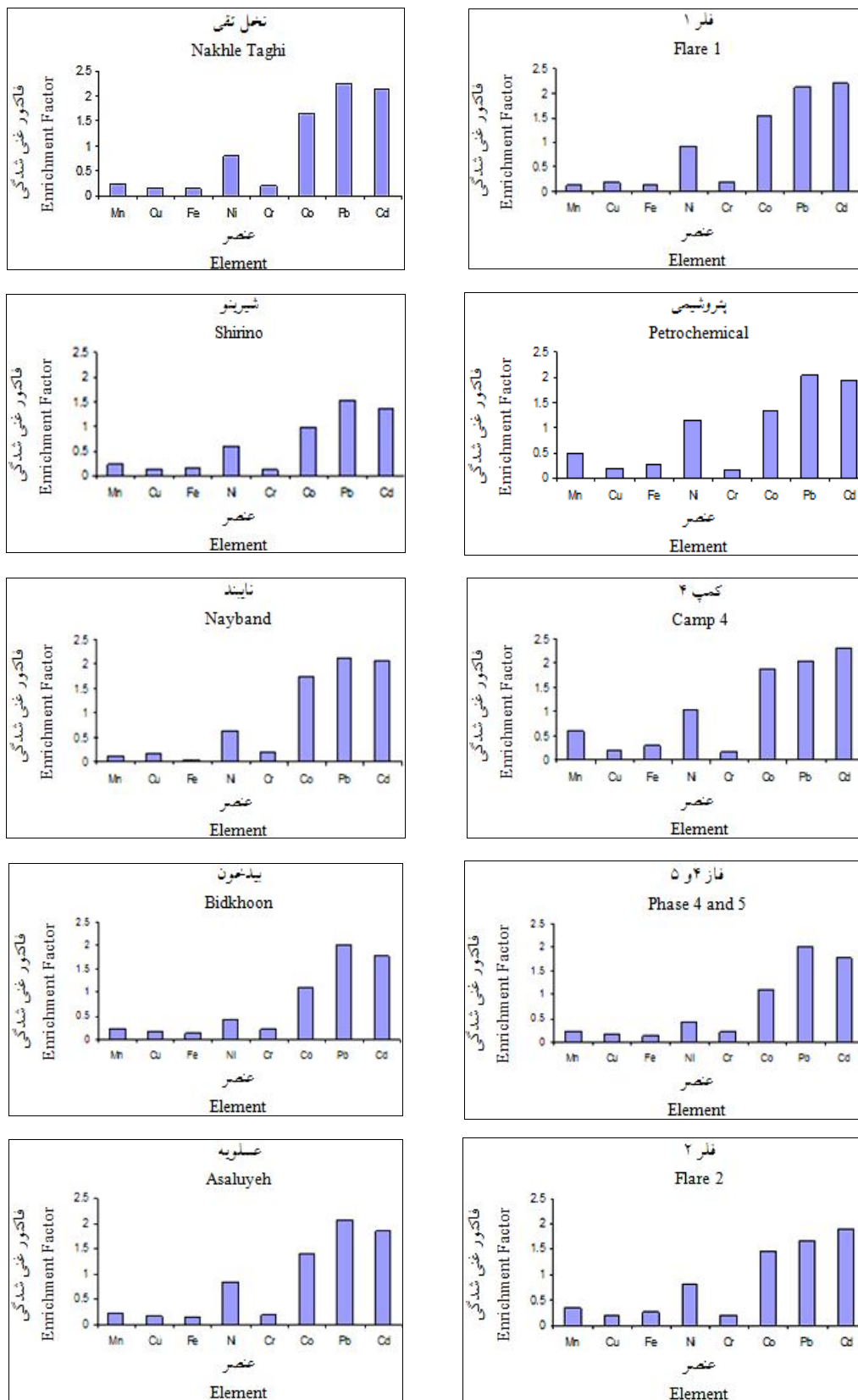


ادامه شکل ۳-

Continue Figure 3.

نتایج شاخص‌های غنی‌شدگی و زمین‌انباشتگی: مقادیر غنی‌شدگی عناصر مختلف برای هر نمونه خاک محاسبه و به صورت نمودار در شکل ۴ آمده است. این نمودارها نشان می‌دهند که غنی‌شدگی Pb، Cd و Co در تمامی نمونه‌های خاک نسبت به باقی عناصر بیشتر می‌باشد. بعد از این سه عنصر، عنصر نیکل و در بعضی نمونه‌ها (پتروشیمی و کمپ ۴)، عنصر منگنز غنی‌شدگی بیشتری را نشان می‌دهد. عناصر Cu، Fe و Cr در همه نمونه‌ها کم‌ترین غنی‌شدگی را نشان می‌دهند. همان‌طور که انتظار می‌رفت و در شکل ۴ مشاهده می‌شود شیرینو که به عنوان یک نقطه شاهد انتخاب شده مقادیر فلزهای سنگین در آن کم‌تر از دیگر مکان‌ها می‌باشد. هم فاصله این محل از صنایع و هم جهت باد غالب منطقه به سمت جنوب شرق بیش‌تر می‌باشد (به طرف مخالف).

در رابطه با غلظت فلزهای سنگین در مقایسه با استانداردها، کلانتری و همکاران (۲۰۱۱) خصوصیات شیمیایی خاک و آب زیرزمینی دشت آبرفتی عسلویه را با تأکید بر آلودگی فلزهای سنگین در ۱۱ نمونه آب و ۷ نمونه از خاک منطقه عسلویه مورد ارزیابی قرار دادند و همبستگی عناصر، نمودارهای پراکنش و روند تغییرات مکانی را مقایسه کردند. ضرایب همبستگی بین عناصر سنگین با سایر عوامل به‌ویژه pH، Na، Cl و HCO_3 نمونه آب تعیین‌کننده ماهیت ژئوشیمیایی و رفتار مشابه این عناصر در آب می‌باشد. نتایج بیانگر زیاد بودن غلظت برخی فلزهای سنگین در نمونه‌های آب و خاک است. همچنین عناصر B و F در آب زیرزمینی و Pb، Mn، Sr و Ni در برخی نمونه‌های خاک دارای غلظتی بیش از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی است (۱۶).



شکل ۴- مقادیر غنی شدگی برای نمونه‌های مورد مطالعه شاخص زمین‌انباشتگی.

Figure 4. Enrichment Factor values for samples Geoaccumulation Index.

عناصر سنگین نظیر منگنز، مس، آهن، نیکل و کروم از فاکتور غنی‌شدگی نسبی برخوردار هستند اما به نسبت سه عنصر سرب، کادمیم و کبالت دارای غنی‌شدگی کم‌تری می‌باشند. با توجه به غلظت‌های پایین این عناصر نمی‌توان گفت که آلودگی ناشی از صنایع در این موارد بی‌تأثیر است بلکه به مطالعه بیش‌تری از جمله تبیین واکنش‌های ژئوشیمیایی مؤثر نیاز است.

با استفاده از رابطه ۲، شاخص زمین‌انباشتگی برای نمونه‌های خاک مورد مطالعه محاسبه شده و نتایج حاصله در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به جدول ۵ و شاخص زمین‌انباشتگی مولر (۲۱)، مشاهده می‌شود که مقادیر عناصر Cd و Pb در همه نمونه‌ها و Co در چهار نمونه فلر ۱، نخل تقی، کمپ ۴ و نایبند تا حدودی خاک را آلوده نموده و از نظر درجه آلودگی در رده خاک‌های غیرآلوده تا کمی آلوده قرار می‌گیرند. دیگر عناصر آلودگی خاصی ایجاد نکرده و در رده خاک‌های غیرآلوده قرار می‌گیرند. در زمینه تعیین شدت و غلظت آلودگی خاک بررسی‌هایی در رسوبات منطقه پارس صورت گرفته، در سواحل شمال‌غربی و بخش مرکزی خلیج فارس، کرباسی (۲۰۰۰) مطالعه‌ای را در خصوص تعیین شدت آلودگی فلزهای سنگین با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر انجام داد و نتایج نشان داد که غلظت عناصر مورد پژوهش در حد فاصل رسوبات غیرآلوده تا بسیار آلوده قرار می‌گیرند (۱۴). فخری و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور بررسی وضعیت آلودگی رسوبات سطحی آب‌های ساحلی عسلویه از نظر فلزهای سنگین، که با توجه به شرایط خاص جغرافیایی منطقه و ورود فاضلاب‌های صنعتی موجود در منطقه و نزدیکی محل مورد نظر با منطقه حفاظت‌شده نایبند صورت گرفت، شاخص تجمع زمینی مولر برای بررسی آلودگی رسوبات منطقه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که رسوبات از نظر آلودگی به فلز سرب در کلاس ۳،

مقایسه روند تغییرات فلزهای سنگین بر حسب فاکتور غنی‌شدگی نشان می‌دهد که منطقه شیرینو کم‌ترین فاکتور غنی‌شدگی را دارا می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رفت مقادیر آلاینده‌ها در این نقطه کم‌تر از دیگر مکان‌ها می‌باشد. بیش‌ترین فاکتور غنی‌شدگی مربوط به کمپ ۴ می‌باشد. این منطقه اگرچه فاصله‌ای برابر با شیرینو از منابع انتشار آلاینده‌ها دارد اما چون در مسیر بادهای غالب و در سمت جنوب‌شرقی منطقه واقع است فلزهای سنگین منتشرشده از صنایع باعث بالا رفتن غلظت این آلاینده در این ناحیه شده است. سرب در سطح وسیعی برای مقاصد مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله در کارخانه‌های تغلیظ‌کننده اسید، باتری‌سازی، ترکیبات الکیل سرب در بنزین، مهمات‌سازی و ساخت غلاف سیم مصرف می‌گردد (۷). این عنصر به‌طور عمده در اثر احتراق بنزین سرب‌دار وارد هوا شده و در نهایت وارد خاک می‌شود (۱). به‌نظر می‌رسد بالا بودن مقدار سرب نمونه‌ها به دلیل نزدیکی نقاط نمونه‌برداری به جاده‌ها است و سرب به‌دست آمده از احتراق سوخت خودروها در این مورد دخیل است.

میانگین غلظت کادمیم در خاک‌ها و سنگ‌ها در حدود ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم یا کم‌تر است. آلودگی کادمیم از کودهای فسفاته به‌عنوان منبع اولیه صورت می‌گیرد و منابع ثانویه آن نزولات جوی، ضایعات رنگ، احتراق گاز طبیعی و زغال‌سنگ می‌باشد (۸، ۹). با توجه به این‌که کبالت در نمونه‌های آب باران و آب سطحی آنالیز شده در منطقه نیز مشاهده شده است (۲۰).

می‌توان گفت که در هوای منطقه نیز وجود دارد و احتمال این‌که از احتراق سوخت‌های فسیلی منطقه وارد محیط شود بسیار بالا است. با توجه به غلظت این عنصر در خاک منطقه، احتمال رسوب این آلاینده از هوا و نزولات جوی در منطقه زیاد است. سایر

می‌توانند در خاک داشته باشند در ترکیب با کربنات‌ها و اکسیدهای آهن و منگنز است. این شکل از فلزهای سنگین در مقایسه با دو دسته اول به نسبت کم‌تری در دسترس گیاهان قرار می‌گیرند. ۴- چهارمین حالتی که فلزهای سنگین می‌توانند در خاک داشته باشند، سولفید و ترکیبات نامحلول آن‌ها است که در این حالت نسبت به سایر حالات ذکر شده به مقدار کم‌تری در دسترس گیاهان قرار می‌گیرند.

فلزهای سنگین در خاک‌ها دارای حرکت و قابلیت جذب متفاوتی می‌باشند. مقادیر اضافی فلزها در خاک می‌تواند منجر به جذب بیشتر توسط گیاهان شود. جذب فلزهای سنگین توسط گیاهان نه تنها متأثر از غلظت آن‌ها در خاک، شکل‌های آن‌ها و خواص فیزیکی شیمیایی خاک است بلکه به تغذیه گیاه، مرحله رشد و عوامل متعدد دیگری بستگی دارد. گیاهان مختلف قابلیت تحمل متفاوتی را برای فلزها از خود نشان داده‌اند و به این دلیل نمی‌توان استاندارد را برای غلظت مجاز فلزها در خاک تدوین نمود. ولی باید در نظر داشت که ذخیره و تجمع فلزها در بافت گیاهان و محصولات آن‌ها سبب به خطر افتادن سلامت انسان و حیوانات می‌گردد. بنابراین لازم است از افزایش بی‌رویه فلزهای سنگین در خاک جلوگیری کرد. میزان تجمع فلزهای سنگین در خاک‌های اراضی عسلیه طبق آنالیز دسترسی بیولوژیکی به ترتیب زیر می‌باشد:

Mn (48ppm) > Cu (26ppm) > Zn (14/5ppm)
> Ni (12ppm) > Fe (3.4ppm) > As (3ppm)
> Ca (0.2ppm) > Cd (0.1ppm)

جبهه ردیابی مدل‌سازی شده: برای درک درست از رفتار املاح در پروفیل خاک موردنظر، لازم است چگونگی حرکت املاح در زمان‌های مختلف بررسی شوند تا بتوان توصیف مناسبی از رفتار جریان و املاح

یعنی آلودگی متوسط تا زیاد و برای فلز کادمیوم در کلاس ۱ یعنی غیرآلوده تا آلودگی متوسط و در مورد سایر فلزها، رسوبات در کلاس آلودگی صفر یعنی غیرآلوده قرار می‌گیرند (۷).

نتایج تجزیه کامل: مواد آلی موجود در خاک ناشی از مراحل مختلف تجزیه گیاهان و فضولات و بقایای حیوانی می‌باشد که به‌طور شیمیایی و یا بیولوژیکی در خاک ساخته می‌شود. این مواد به‌طور وسیعی در خاک، رسوبات و آب‌های طبیعی پخش شده است. باید توجه کرد که ترکیب و خواص مواد آلی بستگی به شرایط اقلیمی، نوع خاک و کاربردهای کشاورزی دارد.

میزان تجمع فلزهای سنگین در خاک‌های اراضی عسلیه طبق آنالیز تجزیه کامل به ترتیب زیر می‌باشد:

Mn (1323ppm) > Cu (289ppm) >
Zn (230ppm) > Ni (90ppm) > Pb (58ppm) >
V (31ppm) > CO (13ppm) > As (12ppm)

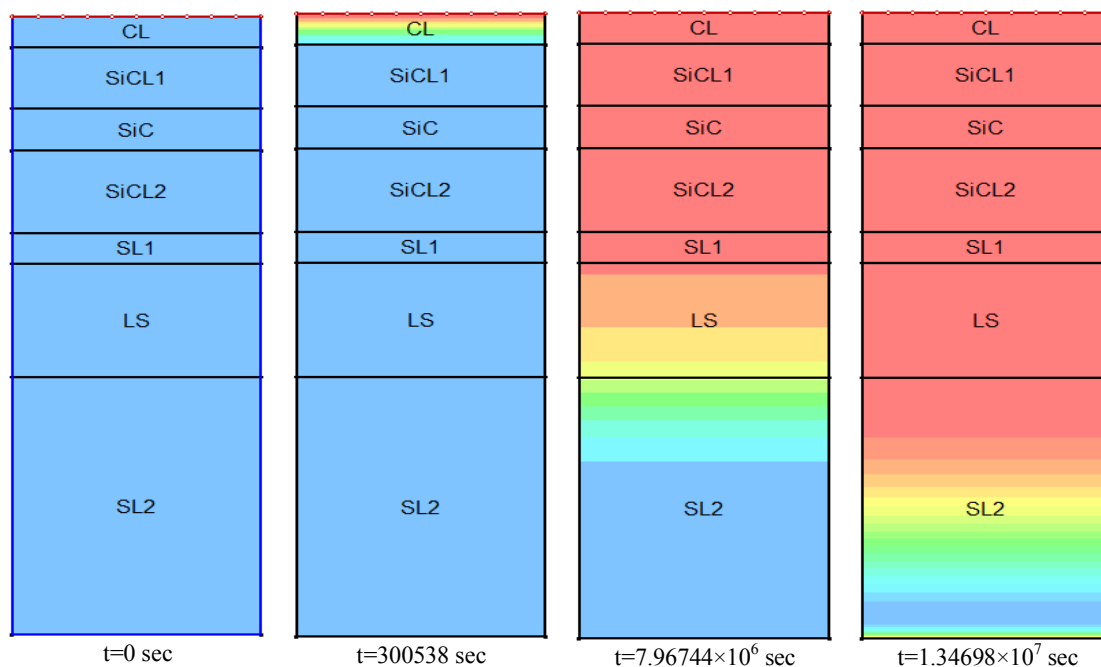
بیش‌ترین میانگین فلز سنگین موجود در خاک منطقه عسلیه مربوط به فلز منگنز به مقدار ۱۳۲۳/۰۹ و کم‌ترین آن مربوط به فلز آرسنیک به مقدار ۱۲/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

نتایج دسترسی بیولوژیکی: بر اساس مطالعات انجام‌شده پژوهشگران دریافته‌اند که فلزهای سنگین در خاک به چهار صورت عمل می‌کنند، ۱- نسبت کمی از این عناصر به اشکال قابل جذب برای گیاهان می‌باشد.

۲- دسته‌ای از این عناصر با مواد موجود در خاک و فاضلاب ترکیب می‌شوند (مقادیر زیادی از مس در خاک و فاضلاب معمولاً به این شکل یافت می‌شوند) این عناصر در حالت ترکیب‌شده با مواد آلی برای گیاهان قابل جذب نیستند. ولی با گذشت زمان از پیوند با مواد آلی آزاد شد و می‌توانند در اختیار گیاه قرار گیرند. ۳- سومین شکلی که فلزهای سنگین

که خطوط هم‌غلظت به مقداری معادل ۰/۹۵ مقدار غلظت موجود در منبع آلاینده واقع در سطح زمین (C/C_0) رسیده باشند.

ارائه نمود (شکل ۵)، حرکت جبهه ردیاب فلز کادمیوم به سمت آب‌های زیرزمینی در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. انتشار آلودگی تا زمانی فرض می‌شود

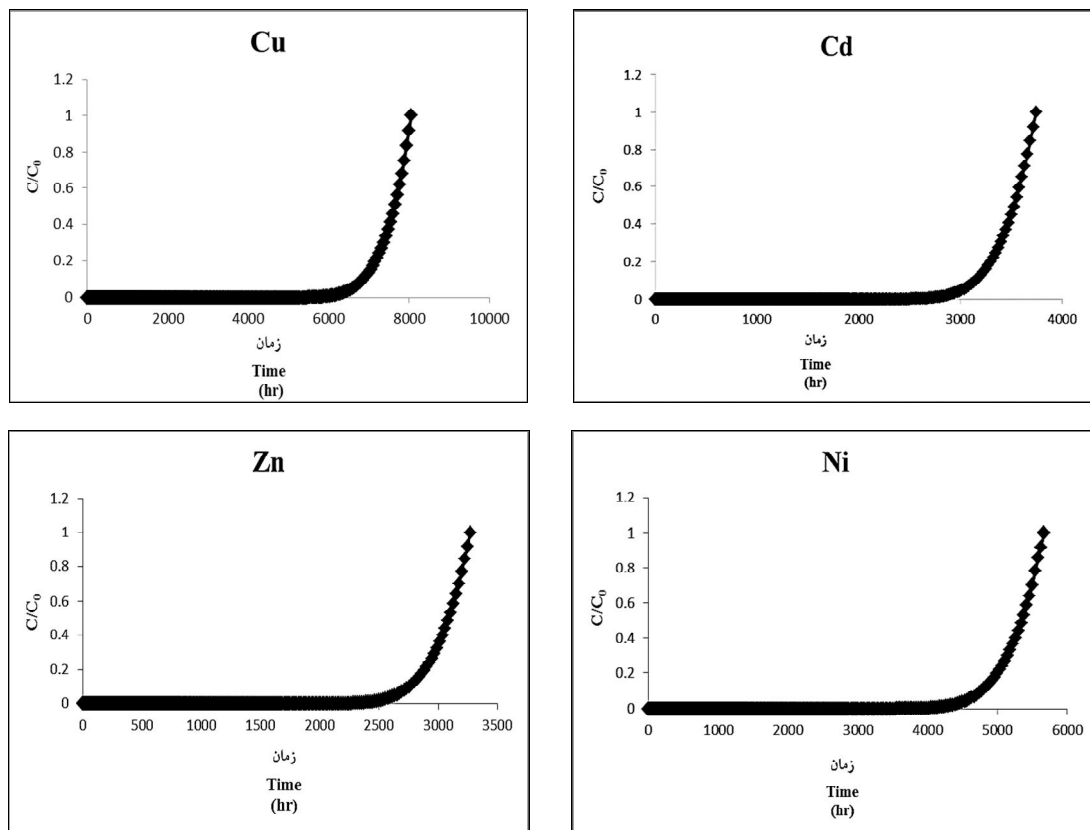


شکل ۵- جبهه ردیابی فلز کادمیوم در زمان‌های مشخص شده.

Figure 5. Trace of Cd at specified times.

زمانی که محلول فلزهای سنگین با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، در سطح پروفیل خاک وجود دارد، با توجه به جبهه ردیابی در زمان‌های مختلف، مشاهده می‌شود که این ترکیب با زمان تغییر یافته و در نهایت بعد از گذشت مدت زمان مشخصی در خروجی پروفیل خاک آشکار می‌شود (شکل ۶)، منحنی رخنه برای فلزهای نامبرده در قسمت خروجی پروفیل را نشان می‌دهد، C غلظت متناظر با زمان t در خروجی ستون و C_0 غلظت اولیه تزریق می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت حرکت فلز کادمیوم به سمت آب‌های زیرزمینی بیش‌تر از سایر فلزها بوده و ۱۵۶ روز طول می‌کشد به سطح آب زیرزمینی در محل موردنظر برسد.

منحنی‌های رخنه به دست آمده از مدل‌سازی عددی: پدیده جابه‌جایی اختلاط‌پذیر یا ترکیب‌پذیر و منحنی BTC نه تنها از نظر علمی، بلکه از نظر عملی نیز اهمیت فراوان داشته و آبشویی املاح از خاک‌های شور و سدیمی، توزیع عناصر غذایی در محلول خاک، آلودگی و انتقال آلاینده‌ها در خاک از سطح خاک تا آب‌های زیرزمینی در چارچوب آن مطالعه می‌شوند (۳). از نظر اصولی، منحنی BTC باید پس از خروج یک حجم مایع معادل تخلخل کل خاک، که بین پنجاه درصد جابه‌جایی است، شکل قرینه‌ای داشته باشد و اگرچه چنین وضعیتی مثلاً در خاک‌های شنی و بسیار سبک مشاهده می‌شود ولی در خاک‌های سنگین و با افزایش رس خاک و ایجاد خاک‌دانه‌ها، از حالت قرینگی خارج می‌شود.



شکل ۶- منحنی رخنه فلزهای سنگین گمانه در مدل CTRAN/W.

Figure 6. Heavy metals Break Through Curve of borehole in SEEP/W model.

است. پس از مقایسه میزان میانگین غلظت فلزهای سنگین در خاک طبیعی با خاکهای آلوده به پسماندهای نفتی به وضوح مشخص گردید که تخلیه پسماندها سبب افزایش میزان فلزهای سنگین در خاک شده است و میزان فلزهای مذکور در خاکهای آلوده بیش از استاندارد مجاز می باشد. نتایج مربوط به آنالیزهای انجام شده بر روی خاک منطقه نشان می دهد که در مقایسه با استاندارد سازمان محیط زیست آمریکا (EPA) مقادیر سرب و کبالت و در مقایسه با استاندارد GLC سرب بالاتر از حد مجاز است. نتایج در ارزیابی دوم نشان می دهد فلزهای کادمیم، کبالت، مس، نیکل، سرب، روی، آهن، آلومینیوم، وانادیوم، کلسیم و آرسنیک وجود دارد. بیشترین میانگین فلز سنگین موجود در خاک منطقه عسلویه مربوط به فلز منگنز می باشد.

نتیجه گیری کلی

انتشار فلزهای سنگین اثرات زیست محیطی زیانباری از خود در محدوده مورد مطالعه بر جای گذاشته است. بررسی خاک سطحی منطقه ویژه اقتصادی پارس نشان می دهد که فلزهای سنگین کادمیم، سرب و کبالت در خاکهای منطقه وجود دارند. مقایسه نمونه شاهد با سایر نمونه های خاک نشان می دهد که مقادیر پنج عنصر کادمیم، سرب، کبالت، کروم و مس در نمونه ها نسبت به نمونه شاهد بیشتر بوده که این امر به خاطر دوری نمونه شاهد از منطقه آلوده است.

بررسی های شاخص زمین انباشتگی و فاکتور غنی شدگی در ارزیابی اول نشان داد که بیشترین غلظت فلزها مربوط به کادمیم، سرب و کبالت است و از لحاظ شاخص زمین انباشتگی درجه آلودگی خاک توسط این سه عنصر در حد خاکهای کمی آلوده

زیرزمینی می‌باشند. بنابراین آلاینده‌های منتشرشده در منطقه توسط جریان هوا و نزولات جوی باعث تجمع این عناصر در خاک شده که نه تنها به وسیله جذب در گیاهان به چرخه غذایی وارد شود بلکه می‌تواند اکوسیستم دریا و منطقه حساس اکولوژیک خلیج ناپیند را به مخاطره بیندازد.

مدل‌سازی با نرم‌افزار CTRAN/W برآورد منطقی و دقیقی را از روند حرکت آلاینده در آبخوان موردنظر انجام داد. نتایج بیانگر این است که حرکت فلز کادمیم در ایستگاه انتخاب شده به سمت آب‌های زیرزمینی بیش‌تر از سایر فلزها بوده و به ترتیب فلزهای روی، نیکل و مس دارای بیش‌ترین حرکت در منطقه آب

منابع

1. Afyuni, M., and Erfan Manesh, M. 2002. Environmental pollution, water, soil and Air. Arcan Esfahan Publication. 330p. (In Persian)
2. Amiri, Sh., and Parvinnia, M. 2010. Evaluation and management of hazardous waste in Pars special Economic Energy. The Fourth Conference and Exhibition of Environmental Engineering, Tehran. (In Persian)
3. Bay Burdi, M. 2004. Soil Physics. Eighth Edition, No. 1672, Tehran University Press. (In Persian)
4. Bhuiyana, M.A.H., Parvez, L., Islam, M.A., Dampare, S.B., and Suzukia, S. 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. J. Hazard. Mater. 173: 384-392.
5. Cabrera, U.F., Clemente, L., D'iaz Barrientos, E., L'opez, R., and Muriillo, J.M. 1999. Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiamar toxic flood. J. Sci. Tot. Environ. 242: 117-129.
6. Delijani, F. 2008. Model evaluation and monitoring of pollutants in the air of South Pars Special Economic Zone and its effect on precipitation and soil. M.Sc. Thesis, School of Earth Sciences, Shahrood University of Technology. (In Persian)
7. Fakhri, R., Ebadi, T., Hashemi, H., and Parvinnia, M. 2011. Pollution of heavy metals in Asalluieh coastal sediments by Muller index. Tehran, Fifth National Conference and Exhibition of Environmental Engineering. (In Persian)
8. Ghasem, A. 1994. Drink water quality. Mohaghegh Press. 147p. (In Persian)
9. Ghazban, F. 2002. Environmental Geology. Tehran University Press. 416p. (In Persian)
10. Gong, M., Bi, X.Y., Ren, L.M., Wang, L., Ma, Z.D., Bao, Z.Y., and Li, Z.G. 2009. Assessing heavy-metal contamination and sources by GIS-based approach and multivariate analysis of urban-rural topsoils in Wuhan, central China. Environ Geochem Health. 32: 1. 59-72.
11. Heydar Pur, M., and Olyaei, M. 2013. Petroleum pollutants dispersion in soil affected by different conditions of soil and contaminants. J. Omran Modares. 13: 39-51. (In Persian)
12. Jeong, C.H. 2001. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. J. Hydrol. 253: 194-210.
13. Kharat Sadeghi, M., and Karbasi, A. 2008. Comparison of indicators Igeo and EF in the severity of environmental pollution Shiroud River in order to maintain sustainable development criteria. J. Environ. Sci. Technol. 10: 1. 29-39. (In Persian)
14. Karbasi, A. 2000. Standard concentrations and sources of Fe, V, Cd, Co, Cu, Zn, Ni, Mn and Pb in surface sediments of Persian Gulf. Environmental Science and Technology. 5: 66-53. (In Persian)
15. Karim, M. 2009. Effects of heavy metals and total petroleum hydrocarbons in the soil Assaluye. Master's thesis, Department of the Environment, Tehran University. (In Persian)
16. Kalantari, N., Sajadi, Z., Makvandi, M., and Keshavarzi, M.R. 2011. Chemical properties of soil and groundwater of Asalooye alluvial plain, with an emphasis on heavy metal pollution. J. Appl. Geol. 7: 4. 333-342. (In Persian)

17. Kelepertsis, A., Alexakis, D., and Kita, I. 2001. The Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki area, Korinthos, Greece. *Environmental Geochemistry and Health*. 23: 117-135.
18. Liu, W., Zhao, J., Ouyang, Z., Söderlund, L., and Liu, G. 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environment International*. 31: 6. 805-812.
19. Kelly, J.J., and Tate, R.L. 1998. Effects of heavy metals contamination and remediation on soil microbial communities in the vicinity of a Zn smelter. *J. Environ Qual*. 27: 17-609.
20. Mor, F., and Sharefi, A. 2001. *GeoChemical*. Shiraz University Press. 556p. (In Persian)
21. Muller, G. 1979. Schwermetalle in den sediments des Rheins-Veränderungenseitt. *Umschau*. 79: 778-783.
22. Olyaei, M., and Heydar Pur, M. 2011. Numerical study of the effects of permeability on oil pollution dispersion model in soil, Sixth National Congress on Civil Engineering, University of Semnan. (In Persian)
23. Parvinnia, M. 2008. Treatability and reclamation of urban storm runoffs using permeable reactive barriers. PhD Thesis, Department of civil and environmental engineering Shiraz University. (In Persian)
24. Parvinnia, M., and Khameh Chian, S. 2009. Advance purification plant of South Pars phases 6, 7, 8 with PRB methods and pollution of coastal waters due to the different phases of Pars Special Economic Energy Zone. The Third International Conference and Exhibition on Environmental Engineering, Tehran. (In Persian)
25. Roane, T.M., and Kellogg, S.T. 1996. Characterization of bacterial communities in heavy metal contaminated soils. *Can. J. Microb.* 42: 593-603.
26. Ross, S.M. 1994. *Toxic Metal in Soil-Plant Systems*. John Willy and Sons, Singapore.
27. Shahbazi, A., Safiyaniyan, A., Mir Ghafari, N., and Eyngholayi, M.R. 2012. Assessment of Heavy metal contamination of soil, by factor of pollution index, Geo Accumulation and comprehensive pollution index factor (Case study: Nahavand city). *J. Environ. Develop.* 3: 5. 31-38. (In Persian)
28. Testa, S.M. 1997. *The reuse and recycling of contaminated soil*. Boca Raton (FL), Lewis.
29. Tehran Boston Consulting co. report. 2004. *Studies of Asaluyeh Groundwater*.
30. Yalcin, M.G., Battaloglu, R., and Ilhan, S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environ Geol*. 53: 399-415.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(5), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Accumulation and Numerical Modeling of Heavy Metals in Surface Soil of Pars Special Economic Energy Zone

***M. Parvin Nia¹ and Kh. Ahmadi²**

¹Assistant Prof., Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Yasouj,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Yasouj

Received: 05/14/2015; Accepted: 07/09/2016

Abstract

Background and Objectives: Heavy metals contamination in the field of environment is considered as a global problem. In the Pars special economic energy zone, as to the establishment of the gas variant industry, the probability of heavy metals from industrial activities on the territory of the region is high and has become a serious problem. Accession toxic metals through human activities may contaminate soil and as a result of the groundwater, so that the concentration of these elements in the soil and groundwater in many industrial parts exceeded or will exceed soon. Tracking a heavy metal in the soil is very difficult, time consuming and costly, Heavy metals in soil are able to penetrate into the earth deep and are groundwater severe contamination. The aim of this study is to determine the concentrations of heavy metals using two criteria, enrichment factor and Geo Accumulation index in surface soil and modeling of metals movement such as zinc, copper, nickel and cadmium in the groundwater zone.

Materials and Methods: In the first assessment, 10 stations and in the second step 13 samples were taken from 0-5 cm of surface soil and the concentration of heavy metals in the first assessment using two criteria enrichment factors and indices Geo Accumulation and the second assessment by using complete analysis and biological availability was access. Then transport of zinc, copper, nickel and cadmium were modeled with SEEP/W and CTRAN/W.

Results: Results show that heavy metals such as, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Al, V, Ca and As are in the samples. The results indicate that the enrichment of Pb, Cd and Co in all samples was higher than the other elements and Cu, Fe and Cr, indicate the lowest enrichment. Geo Accumulation Index in two elements of Pb and Ca in all samples and Co shows soil contamination in four samples.

Conclusion: The highest average of heavy metals in Asaluyeh soil is related to Mn, 1323.09 ppm and the lowest of them is arsenic, 12.28 ppm, by complete analysis data. The biological availability of Mn, 48 ppm, is greater than the other elements and Ca, 0.09 ppm, is lower than the other elements. Transport modeling of four metals, Cd, Cu, Ni and Zn shows that Cd movement towards the groundwater is more than other metals that 156 days to reach the desired level of groundwater at the site, copper movement is less than other metals.

Keywords: Soil contamination, Geo accumulation index, Asaluyeh, Enrichment, Heavy metal

* Corresponding Author; Email: mparvinnia@yu.ac.ir