

بکارگیری شاخص‌های آلودگی به منظور بررسی میزان ترسیب فلزات سنگین در خاک (مطالعه موردی کارخانه سیمان نهاوند)

عیسی سلگی^{۱*}، فوزیه بیگ محمدی^۲، علی زمانیان^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۱۷)

چکیده

فرآیند تولید سیمان به سبب ماهیت و استفاده انبوه از مواد معدنی و سوخت‌های فسیلی به‌عنوان یکی از منابع مهم آلودگی فلزات سنگین از طریق انتشار گرد و غبار می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر فاصله از منبع انتشار (الکتروفیلتر) بر ترسیب فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان نهاوند انجام شد و از فواصل ۳۰۰، ۵۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ متری اطراف کارخانه و از الکتروفیلتر نمونه‌برداری صورت گرفت. در این فواصل به ترتیب ۴، ۳، ۴ و ۲ نقطه و با سه تکرار نمونه‌برداری شد. همچنین ۶ نمونه از ۱۱ کیلومتری کارخانه به‌عنوان منطقه شاهد برداشت شد. پس از آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی به روش شعله اندازه‌گیری شد. جهت مطالعه اثر فاصله از منبع آلودگی، آزمون‌های آماری و شاخص‌های آلودگی به کار گرفته شد. بر اساس نتایج، اختلاف آماری معنی‌داری ($p < 0.05$) بین غلظت Mn و Cr ، Zn ، Pb ، Cd در فواصل مختلف با الکتروفیلتر مشاهده شد. در فاصله ۳۰۰ متری بالاترین مقادیر شاخص‌ها به دست آمد که نشان از آلودگی بیشتر این محدوده نسبت به سایر فواصل بود و با افزایش فاصله از کارخانه آلودگی کاهش یافت. همچنین غلظت فلزات سنگین در منطقه شاهد کمتر از غلظت آن‌ها در اطراف کارخانه سیمان بود. مقادیر شاخص Igeo و CF برای فلزات سنگین کادمیوم، سرب و نیکل از بالاترین مقدار برخوردار بود. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که Pb و Mn ، Cd در مولفه اول و Cr و Ni ، Zn در مولفه دوم قرار دارند. با توجه به معنی‌دار بودن اختلاف بین فواصل مختلف و بالاتر بودن غلظت فلزات سنگین در اطراف کارخانه نسبت به منطقه شاهد این گونه می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کارخانه سیمان نهاوند منبع اصلی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، کارخانه سیمان نهاوند، الکتروفیلتر، شاخص‌های آلودگی

سلگی ع.، بیگ محمدی، ف.، زمانیان ع. ۱۳۹۹. بکارگیری شاخص‌های آلودگی به منظور بررسی میزان ترسیب فلزات سنگین در خاک (مطالعه موردی کارخانه سیمان نهاوند). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸، شماره ۳. صفحه: ۱۸۸-۲۰۱.

۱- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر (مکاتبه کننده)

۲- دانشجوی دکتری آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۳- کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

* پست الکترونیک: e.solgi@yahoo.com; e.solgi@malayeru.ac.ir

مقدمه

برخی از این عناصر برای انسان ضروری هستند، ولی میزان آن‌ها نیز در سطوح بالا می‌تواند به معنای خطر سم شناسی باشد (Shakeri et al., 2010). افرادی که در اطراف کارخانه‌های سیمان زندگی می‌کنند، بیشتر در مورد خطرات بالقوه بهداشتی حاصل از این کارخانه‌ها نگران هستند. مهم‌ترین اثر نامطلوب کارخانه‌های سیمان بر محیط اطراف، انتشار گرد و غبار (به همراه فلزات سنگین) و گازهای آلاینده است (Bilen, 2010). تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک و گرد و غبار در تعیین کیفیت منابع، شرایط آلودگی صنایع و کمک به یافتن راه‌های کنترل آلودگی محیطی بسیار اهمیت دارد (Sayadi & Rezaei, 2013). طیف وسیعی از روش‌های گوناگون برای مشخص کردن آلودگی خاک وجود دارد. در تمام این روش‌ها تلاش بر این است که بر اساس مقایسه مناطق، تحلیل‌های آماری و استفاده از غلظت مرجع میزان آلودگی مشخص شود. بر همین اساس تاکنون این روش‌ها به شکل‌های مختلف طبقه‌بندی شده‌اند. این روش‌ها در یک طبقه بندی به دو دسته کیفی و کمی تقسیم می‌شوند. شاخص‌های آلودگی در دسته‌ی کمی قرار می‌گیرند (Wu et al., 2014). در واقع تعیین فلزات در خاک، گرد و غبار، گیاهان و رسوبات در پایش محیط زیستی آلودگی بسیار اهمیت دارد. با این وجود اندازه‌گیری غلظت مطلق فلزات سنگین همیشه برای ارزیابی آلودگی خاک کافی نیست (Long et al., 1995). در حالی که استفاده از شاخص‌ها برای ارزیابی آلودگی خاک به فلزات سنگین ارزیابی مناسبی از وضعیت آلودگی منطقه خواهد بود (Solgi, 2016). بنابراین در مطالعات مربوط به آلودگی فلزات سنگین محققین در کنار سنجش مقادیر فلزات سنگین شاخص‌های مختلف آلودگی از جمله زمین انباشتگی^۱، فاکتور آلودگی^۲، درجه آلودگی^۳، شاخص آلودگی اصلاح شده^۴، شاخص بار آلودگی^۵، شاخص آلودگی تجمعی^۶،

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های محیط‌زیستی است که با رشد سریع فعالیت‌های صنعتی در جهان طی قرن گذشته شتابان شده است. بر خلاف آلاینده‌های آلی، فلزات سنگین توسط فرآیندهای زیستی و شیمیایی تجزیه نمی‌شوند. بنابراین مدت زمان طولانی در خاک باقی مانده و خطر قابل توجهی برای سلامتی انسان و محیط زیست ایجاد می‌کنند (Chen et al., 2016). تجمع فلزات سنگین در خاک می‌تواند باعث کاهش عملکرد خاک و بهره‌وری آن شود. آلودگی خاک پیامدهایی همچون ایجاد سمیت برای گیاهان در غلظت‌های بالا و در نتیجه انتقال فلزات سنگین به رژیم غذایی انسان را از طریق جذب توسط محصول و یا مصرف دامی که در چراگاه‌های آلوده پرورش یافته را به دنبال دارد (Sayadi et al., 2015).

یکی از منابع ورود فلزات سنگین به محیط زیست صنایع می‌باشند. صنایع مختلف از جمله کارخانه سیمان با توجه به افزایش تعداد و نیز بالا رفتن سرانه تولیدشان در سال‌های اخیر، باید به صورت ویژه مورد توجه قرار گیرند تا از آسیب‌های جدی به محیط زیست جلوگیری به عمل آید، به ویژه در ایران که روز به روز بر تعداد کارخانه‌های سیمان افزوده می‌شود. بی‌شک صنعت سیمان در توسعه ساختارهای این جهان پیشرفته و مدرن دخیل است، زیرا این ماده اساسی بتن مورد استفاده در ساخت سازه‌های مدرن است. با این حال تولید سیمان به علت انتشار زیاد گرد و غبار و فلزات سنگین که بعدها در خاک‌ها ذخیره می‌شود شناخته شده است (Oludoye & Ogunyebi, 2017). در واقع یکی از ۱۷ صنعت بسیار آلوده کننده است که توسط مرکز کنترل آلودگی فهرست شده است (Iqbal & Shafiq, 2001). در فرآیند تولید سیمان به علت ماهیتی که دارد و نیز استفاده انبوه از مواد معدنی و سوخت‌های فسیلی؛ گازهای خروجی از کوره‌های سیمان افزون بر دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسید کربن، حاوی فلزات سنگین نیز بوده و غلظت موجود در آن‌ها برای محیط زیست خطرناک است (Amir Hosseini et al., 2010).

آلومینیوم، بریلیوم، کروم، مس، منگنز، نیکل و روی در انتشارات حاصل از کارخانه‌های سیمان شناسایی شده‌اند.

1. Geoaccumulation index (Igeo)
2. Contamination factor (CF)
3. Degree of contamination (CD)
4. Modified degree of contamination (mCd)
5. Pollution Load Index (PLI)
6. Integrated Pollution Index (IPI)

زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها تقریباً تا فاصله ۲۰۰۰ متری گسترده شده‌اند فواصل مورد مطالعه تا ۲۰۰۰ متر در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کارخانه سیمان نهاوند به مختصات طول جغرافیایی $34^{\circ} 3'16''$ و $29^{\circ} 54'43''$ عرض جغرافیایی 48° و مساحت ۶۵ هکتار در فاصله ۱۷ کیلومتری شهر نهاوند واقع شده است. این کارخانه در ۱۳۸۲ با موضوع فعالیت تولید سالیانه یک میلیون تن سیمان در حوزه فعالیت استان همدان و سایر استان‌ها و نیز صادرات به کشورهای همجوار تاسیس گردید و در حال حاضر فروش به کشورهای همچون (عراق، یمن، عمان، هندوستان و قرارداد با شرکت‌های چینی) در دستور کار این شرکت است. ظرفیت تولید روزانه سیمان نهاوند ۳۳۰۰ تن کلینکر و سالیانه یک میلیون تن سیمان خاکستری است. به‌طور کلی منطقه از نظر اقلیمی جز مناطق نیمه‌خشک است و از نوع استپی سرد که تابستان‌ها نسبتاً سرد است. بالا بودن نسبی میزان بارندگی این ناحیه، به دلیل موقعیت جغرافیایی و جریانات هوای مدیترانه‌ای است و اغلب نزولات در فصل سرد و اوایل فروردین ماه می‌بارد. منطقه‌ای با طول جغرافیایی $34^{\circ} 5'51''$ و عرض جغرافیایی $23^{\circ} 52'48''$ در ۱۱ کیلومتری کارخانه سیمان به‌عنوان منطقه شاهد در نظر گرفته شد. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

روش نمونه‌برداری

در این مطالعه نمونه‌های خاک از فواصل ۳۰۰، ۵۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ متر از منبع اصلی انتشار آلودگی کارخانه سیمان (دودکش الکتریفیلتر) نمونه‌برداری شدند. تعداد نقاط نمونه‌برداری در فواصل ۳۰۰، ۵۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ متری به ترتیب ۴، ۴، ۳، ۴ و ۲ نقطه بود. از هر نقطه با سه تکرار نمونه برداری انجام شد. محدوده اول تا چهارم داخل کارخانه و محدوده پنجم به فاصله ۲۰۰۰ متری از محوطه اطراف کارخانه انتخاب شد. همچنین از منطقه شاهد ۶ نمونه خاک برداشت گردید. نمونه‌های خاک به وسیله بیلچه استیلی از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک برداشت و

شاخص نمو^۷، شاخص خطر بالقوه محیط زیستی^۸ و پتانسیل سمناکی حاد^۹ را مورد استفاده قرار می‌دهند. در ارتباط با آلودگی فلزات سنگین ناشی از کارخانه سیمان پژوهش‌های متنوعی صورت گرفته است. دریواسی و همکاران (Darivasi et al., 2016) تاثیر میزان فاصله از منبع آلودگی بر غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان شهرستان نکا را مورد بررسی قرار دارند. زمانی و همکاران (Zamani et al., 2017) در پژوهش خود به پهنه‌بندی مقدار فلزات سنگین در خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان کردستان پرداختند. اکبری و عظیم زاده (Akbari & Azimzadeh., 2013) تغییرات مکانی فلز سنگین کروم در خاک اطراف کارخانه سیمان بهبهان را مطالعه نمودند. اگنکنله و فتوبا (Fatoba & Ogunkunle, 2014) آلودگی و توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی اطراف یک کارخانه سیمان در نیجریه مطالعه کردند؛ لافتا و همکاران (Lafta et al., 2013) توزیع فلزات سنگین و تنوع خواص خاک اطراف کارخانه سیمان در عراق را بررسی کردند؛ ایسیکلی و همکاران (Isikli et al., 2003) غلظت عنصر کادمیوم در نمونه خاک و برگ گیاهان موجود در اطراف کارخانه سیمان در ترکیه را بررسی نمودند. اگرچه عموماً کارخانجات سیمان را به دور از مناطق مسکونی احداث می‌کنند، اما آثار مضر آن بر محیط از طریق باد و باران به انسان انتقال داده می‌شود (Isikli et al., 2003). نرخ انباشتگی گرد و غبار در اطراف کارخانه‌های سیمان، بیش از ۴۰ تن در هر کیلومتر مربع در هر ماه است. این مقدار زیاد از ذرات گرد و غبار اثرات مخرب بالقوه‌ای را بر محیط و گیاهان دارد (Hegazy, 1996). به سبب وجود زمین‌های کشاورزی، باغ‌ها و همچنین مناطق مسکونی در اطراف کارخانه سیمان نهاوند و مشکلات احتمالی آلودگی فلزات سنگین ناشی از این کارخانه در منطقه مطالعه حاضر با هدف مقایسه میزان ترسیب فلزات سنگین کادمیوم، سرب، روی، کروم و منگنز در خاک فواصل متفاوت از حاشیه کارخانه سیمان نهاوند و بررسی نقش این کارخانه در افزایش آلودگی خاک به کمک شاخص‌های آلودگی انجام شده است و با توجه به اینکه

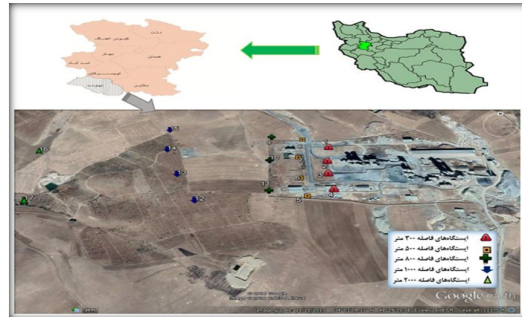
7. Pollution Index Nemerow (PINemerow)

8. Potential Ecological Risk (RI)

9. Potential Acute Toxicity (STU)

مسیر بادهای غالب انجامشد. همزمان با نمونه‌برداری خاک، از الکتروفیلتر کارخانه نیز نمونه‌برداری صورت گرفت. این مطالعه در ماه مهر ۱۳۹۷ انجام شد.

بعد از حذف سنگ‌های بزرگ و سایر مواد خارجی در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده و در شرایط استاندارد به آزمایشگاه منتقل شد (Addo *et al.*, 2012) نمونه‌برداری از قسمت شمال‌غربی کارخانه سیمان و به با توجه به



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Location of the studied area

گرم بر کیلوگرم گزارش شد. جهت کنترل کیفیت آنالیزها، نمونه شاهد نیز در کنار سایر نمونه‌ها آنالیز شد. در این مطالعه حد تشخیص دستگاه (LOD) برای فلزات کروم، نیکل، روی و منگنز به‌ترتیب ۰/۹۷۳، ۰/۲۰۵ و ۰/۲۲۶ ppm بود.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

به‌منظور اندازه‌گیری pH و EC نسبت ۱ به ۵ خاک (۵ گرم) به آب (۲۵ سی سی) به مدت ۲ ساعت روی شیکر قرار داده شد و پس از آن مقادیر pH عصاره‌ها با استفاده از دستگاه pH متر (AZ 86552) و EC با استفاده از EC متر (AZ 86505) سنجش شد. مواد آلی خاک نیز به روش سوزاندن در کوره (Loss On Ignition) اندازه‌گیری شد بدین منظور نمونه‌های خاک خشک و الک شده در کوره با دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس و به مدت ۴ ساعت سوزانده شدند. اختلاف وزن خاک‌ها در قبل و بعد از سوزاندن به عنوان میزان ماده آلی موجود در خاک‌ها مد نظر قرار گرفت (Hashemi Beni *et al.*, 2009; 2000, ASTM D2974-00).

شاخص‌های آلودگی خاک

در یک طبقه‌بندی روش‌های ارزیابی در دو گروه منفرد و ترکیبی قرار می‌گیرند. روش‌های ارزیابی منفرد مانند فاکتور غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی، شاخص زمین‌انباشتگی و فاکتور ارزیابی خطر، آلودگی هر فلز را جداگانه بررسی می‌کنند؛ اما روش‌های ترکیبی از جمله شاخص آلودگی میانگین وزنی و شاخص Nemerow، اثر

آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها

نمونه‌های پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت چند روز متوالی در دمای اتاق قرار گرفتند تا هواخشک شوند. پس از آن نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی متر عبور داده شد تا هیچ گونه ناخالصی نداشته باشد و در مرحله بعد نمونه‌های خاک مجدد با الک ۰/۱۴۹ میلی‌متر الک شدند (Solgi & Khodabandelo, 2016). جهت سنجش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، خاک عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متر و برای سنجش فلزات سنگین از خاک عبور داده شده از الک ۰/۱۴۹ میلی‌متر استفاده شد به‌منظور هضم نمونه‌ها جهت سنجش فلزات سنگین دو گرم خاک الک شده به دقت وزن شد و به نمونه‌ها ترکیبی از سه اسید شامل ۴ میلی‌لیتر HNO_3 ، ۱۲ میلی‌لیتر HCl و ۴ میلی‌لیتر HClO_4 اضافه شد و سپس به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس گرما داده شد. پس از اتمام عملیات هضم نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده و توسط آب دو بار تقطیر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسیدند (Solgi *et al.*, 2020). در نهایت غلظت فلزات (Pb و Cd، Cr، Zn، Mn) در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی (ContrAA 700) تعیین شد. روش اندازه‌گیری فلزات سنگین در الکتروفیلتر کارخانه نیز همانند اندازه‌گیری فلزات سنگین نمونه‌های خاک بود بدین منظور ۲ گرم از نمونه برداشته شد و مراحل طی شده برای خاک، روی آن انجام شد و در نهایت میزان فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد. فلزات سنگین بر حسب میلی

شاخص‌های Igeo، CF، CD، mCd، PLI، IPI،
 PI_{Nemerow}، RI و ΣTU استفاده شد که در جدول ۱
 رابطه‌ها و توضیحات این شاخص‌ها ارائه شده است.

تجمعی آلودگی بیش از یک فلز را مورد بررسی قرار
 می‌دهند (Qingjie *et al.*, 2008). در این پژوهش برای
 ارزیابی وسعت آلودگی خاک به فلزات سنگین از

جدول ۱- روابط و توضیحات مربوط به شاخص‌های آلودگی
 Table 1. Equation and explanation of contamination indices

Index	Equation	Explanation	Reference
Geoaccumulation index	$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5B_n}$	C _n : Heavy metal concentration B _n : Concentration background	Muller, 1969
Contamination factor	$CF = \frac{C_{metal}}{C_{background}}$	C _{metal} : Heavy metal concentration C _{background} : concentration of element in shale	Hakanson, 1980
Degree of contamination	$CD = \sum_{i=1}^n CF$	Contamination factor :CF	Hakanson, 1980
Potential Ecological Risk	$C_{fi} = \frac{C_n}{B_n}$ $E_{ri} = T_{ri} \times C_{fi}$ $RI = \sum_{i=1}^n E_{ri}$	C _{fi} : Contamination factor C _n : Heavy metal concentration B _n : Concentration background E _{ri} : potential ecological risk index of a single element T _{ri} : toxic-response factor	Gurumoorthi <i>et al.</i> , 2016
Modified degree of contamination	$mCd = \frac{\sum_{i=1}^n Cd}{n}$	CD: degree of contamination n: The number of heavy metals studied	Abraham, 2005
Potential acute Toxicity	Toxicity Unit = $\frac{C_i}{PEL_i}$ $\Sigma TU = TU_{Cr} + TU_{Mn} + TU_{Zn} + \dots$	C _i : Heavy metal concentration PEL _i : probable effect level TU : The toxic unit	Long <i>et al.</i> , 1995
Pollution Load Index	$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n}$	CF: Contamination factor n: The number of heavy metals studied	Angulo, 1996
Integrated Pollution Index	$IPI = (\sum_{i=1}^n PI)^{\frac{1}{n}}$ $PI = \frac{C_i}{B_i}$	C _i : Heavy metal concentration B _i : Concentration background n: The number of heavy metals studied	He <i>et al.</i> , 2019
PI _{Nemerow}	$PI = \sqrt{\frac{(C_{f_{average}})^2 + (C_{f_{max}})^2}{2}}$	C _{f_{max}} : maximum Cf value of each heavy metal C _{f_{average}} : average Cf value of each heavy meta	Nemerow, 1991

مقادیر فلزات سنگین) نیز از آزمون اسپیرمن استفاده
 شد. برای تعیین منشأ فلزات سنگین در اطراف کارخانه
 سیمان تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) انجام شد.
 همه آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS
 نسخه ۱۶ و رسم نمودارها و محاسبه شاخص‌ها با استفاده
 Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام شد.

نتایج و بحث

از بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک درصد ماده
 آلی، pH و EC اندازه‌گیری شد که بر اساس نتایج به-
 دست آمده تغییرات pH و EC در فواصل مورد بررسی از
 روند خاصی برخوردار نبود (جدول ۲). اما مقدار این دو
 پارامتر در خروجی الکتروفیلتر بسیار بالاتر از خاک
 فواصل مورد مطالعه است به طوری که pH بالاتر از ۷ در

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-
 Wilk و همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene's test مورد
 بررسی قرار گرفت. در مطالعات به‌طور معمول به‌منظور
 بررسی اثر آلودگی صنایع در منطقه اثر فاصله از منبع
 آلودگی بررسی می‌شود. در مطالعه حاضر نیز اثر فاصله
 بر آلودگی فلزات سنگین از طریق آنالیز واریانس انجام
 شد. به‌منظور مقایسه فواصل مختلف با توجه به نرمال-
 نبودن داده‌ها از آزمون ناپارامتری Kruskal Wallis و
 جهت مقایسه دو به دوی فواصل از آزمون Mann- U
 Whitney استفاده شد.

برای به دست آوردن همبستگی بین غلظت فلزات
 سنگین و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی (pH، EC،

2018). بالابودن ماده آلی در منطقه به‌دلیل استفاده مداوم و زیاد از کود حیوانی در باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی است.

مواد خروجی از الکتروفیلتر نشان‌دهنده قلیایی بودن آن‌ها است. pH، EC و ماده آلی خاک منطقه شاهد کمتر از اطراف کارخانه سیمان است. کاربرد کود دامی موجب افزایش ماده آلی در خاک می‌شود (Javadi *et al.*,

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی فواصل مورد بررسی و خروجی الکتروفیلتر
Table 2. Chemical properties of soil in studied distances and Electrophilter

	300 m	500 m	800 m	1000 m	2000 m	Electrophilter	Control area
pH	7.2	7.36	7.70	7.48	7.67	12.40	6.97
EC (ds m ⁻¹)	0.39	0.216	0.211	0.239	0.15	3.92	0.165
OM (%)	7.9	6.25	7.77	7.42	9.2	9.8	6.6

OM: درصد ماده آلی

این قلیائیت به‌دلیل نمکی بودن ذاتی مواد مصرف شده در سیمان در منطقه است. بنابراین به نظر می‌رسد با توجه به اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی خاک تحرک فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه تا حدودی محدود باشد.

در جدول ۳ میانگین و انحراف معیار فلزات سنگین مورد بررسی در خاک سطحی فاصله‌های مختلف از کارخانه سیمان نهبوند، منطقه شاهد و الکتروفیلتر آورده شده است. همچنین به‌منظور مقایسه این نتایج با استانداردهای جهانی مقادیر استاندارد USEPA در این جدول ارائه شده است (Darivasi *et al.*, 2016).

تحرک عناصر در خاک تا حد زیادی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد، با توجه به میزان pH (۷/۴۸) منطقه مورد مطالعه قلیایی است به علاوه میانگین EC اندازه‌گیری شده در منطقه کمتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر بود که نشان می‌دهد خاک منطقه بر اساس طبقه‌بندی نه‌گانه علوم آمریکا (۱۹۸۷) در رده خاک‌های معمولی و غیر شور قرار می‌گیرد. pH و ماده آلی خاک می‌تواند تحرک فلزات را تغییر دهد (Sayadi, 2013؛ Rezaei & Addo *et al.*, 2012). به‌طوری‌که میزان نسبتاً بالای آن‌ها می‌تواند تحرک فلزات را محدود کند.

جدول ۳- میانگین غلظت فلزات سنگین (mg/kg) مورد بررسی و مقایسه نتایج با استاندارد

Table 3. Average concentration of heavy metals (mg / kg) and comparison of results with standard

	Cd	Cr	Ni	Mn	Pb	Zn
USEPA standard	0.06	100	40	600	10	50
Concentration background	0.1	69	55	950	17	67
Distances (m)						
300	1.04±0.10	13.4±5.3	201.2±50.7	257.3±78.7	95.5±41.2	44.1±2.9
500	0.95±0.08	20.07±5.5	189.7±55.4	196.7±24.8	44.7±27.3	41.3±6.3
800	0.94±0.07	15.6±4.2	193.02±41.4	193.9±33.3	60.08±15.4	38.3±6.5
1000	0.99±0.09	21.3±7.4	210.9±58.2	197.8±26.6	31.6±4.8	40.6±6.5
2000	0.88±0.02	22.2±7.7	250.7±4.9	220.1±29.5	17.3±1.03	38.8±9.8
Control area	ND*	10.97±12.28	154.16±19.81	195.7±11.45	20.25±3.79	31.47±1.11
Electrophilter	1.4±0.04	23.8±1.2	164.7±4.3	223.6±19.8	215.7±9.2	39.7±0.5

ND*=Non-detect

بررسی بیشتر از استاندارد و غلظت در پوسته زمین است. بنابراین به نظر می‌رسد این فلزات سنگین در خاک مورد مطالعه دارای منشا انسانی هستند. مقادیر این عناصر در الکتروفیلتر نیز بیشتر از استاندارد ذکر شده است و به‌نظر می‌رسد الکتروفیلتر منبع انتشار فلزات سنگین در اطراف کارخانه سیمان است که با گذشت زمان هم بر دامنه انتشار و هم بر میزان تجمع آن‌ها در خاک اطراف کارخانه افزوده می‌شود و کشت در

بر اساس این نتایج میانگین غلظت فلزات سنگین روی، کادمیوم، منگنز و سرب در فاصله ۳۰۰ متری بیشتر از سایر محدوده‌های مورد مطالعه است و با فاصله گرفتن از کارخانه و منبع آلودگی آن که الکتروفیلتر است از غلظت این عناصر سنگین کاسته می‌شود. با توجه به مقادیر استاندارد و غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین که در جدول ۳ ارائه شده، ملاحظه می‌شود که مقادیر کادمیوم، نیکل و سرب در تمام فواصل مورد

الکتروفیلتر (Cd > Cr > Zn > Ni > Pb > Mn)، ۳۰۰ متری (Ni > Cr > Cd > Zn > Pb > Ni > Mn)، ۵۰۰ متری (Ni > Pb > Cr > Cd > Zn > Mn) و ۸۰۰ متری (Ni > Cr > Cd > Zn > Pb > Mn) تا حدودی متفاوت است. اما به طور کلی مقادیر منگنز و نیکل بیشتر از سایر فلزات سنگین بود در حالی که کروم و کادمیوم نیز کمترین مقادیر را داشتند. جهت بررسی نقش کارخانه سیمان بر آلودگی فلزات سنگین در منطقه اثر فاصله روی تجمع فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه توسط آزمون کروموسکال والیس بررسی شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. این نتایج نشان داد غلظت تمامی عناصر به جز Ni تفاوت معنی داری را در فواصل مورد مطالعه نسبت به خروجی الکتروفیلتر نشان می دهد. بنابراین اثر فاصله معنی دار بوده و بالاترین مقدار تجمع اکثر فلزات در نزدیک کارخانه اتفاق افتاده است. نتایج به دست آمده گویای این واقعیت است که کارخانه سیمان می تواند عامل اصلی در این الگوی پراکنش فلزات باشد. این نتایج مشابه آهیامدجی و همکاران (Ahiamadjie et al., 2011)، و الود و همکاران (Al-Oud et al., 2011) است. همچنین الود و همکاران (Al-Oud et al., 2011) با تعیین میزان غلظت فلزات سنگین در فواصل ۵۰، ۲۰۰، ۸۰۰ و ۳۲۰۰ متری از کارخانه نشان دادند که میزان فلزات سنگینی چون Cu، Pb، Zn با افزایش فاصله از کارخانه سیمان کاهش می یابد که با مطالعه حاضر مطابقت دارد. وجود بادهای غالب گاه از تداوم حرکت فلزات سنگین به نقاط مختلف جلوگیری می نماید. و ته نشینی ذرات خروجی از دودکش در نواحی نزدیک بیشتر است (Mousavi et al., 2013).

این گونه خاکها برای سلامت انسان و موجودات زنده مشکلاتی را به دنبال خواهد داشت. در فرایند تولید سیمان شامل مراحل گوناگون نظیر حرارت دهی، کلینگر سازی، خنک کردن کلینگر و انبار کردن سیمان گرد و غبار زیادی تولید می شود (Akbari & Azimzadeh, 2013) که حاوی فلزات سنگین گوناگون است به عنوان مثال کروم، شاخص آلودگی آجرهای نسوز استفاده شده در کوره کارخانه سیمان می باشد (Zamani et al., 2017). در مطالعه ای که کریمی سورند و همکاران (Karimi Sorand et al., 2018) انجام دادند به این نتیجه رسیدند که غلظت سرب در اراضی کارخانه سیمان شاهرود بالاتر از مقدار میانگین در پوسته زمین می باشد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. در مورد فلز سنگین سرب نتایج این مطالعه نشان داد در محدوده های ۳۰۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ متری بعد از منگنز و نیکل بیشترین غلظت را داشت که با توجه به ویژگی های سرب که در فواصل نزدیک از منبع آلودگی ته نشست می کند در اینجا نیز در فواصل نزدیک بخش زیادی از سرب خروجی از الکتروفیلتر در خاک تجمع یافته و به سمت فواصل دورتر مقدار سرب نسبت به سایر فلزات سنگین کمتر شده است. بر اساس نتایج به دست آمده ملاحظه شد که در فاصله ۳۰۰ متری و نزدیک ترین فاصله به کارخانه غلظت فلزات سنگین بالاتر از سایر فواصل مورد بررسی است که با نتایج در یواسی و همکاران (Darivasi et al., 2016)؛ سلگی (Solgi, 2015) و سلگی و خدابنده لو (Solgi & Khodabandelo, 2016) مطابقت دارد. مقدار فلزات سنگین در منطقه شاهد کمتر از مقدار آنها در اطراف کارخانه سیمان است. بنابراین کارخانه سیمان عامل افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف می تواند باشد. روند تغییرات فلزات سنگین در خروجی

جدول ۴- نتایج مقایسه غلظت فلزات سنگین در نمونه های خاک و الکتروفیلتر

Table 4. Results of comparison of heavy metals concentration in soil samples and Electrophilter

heavy metals	Chi-Square	df	Sig
Cd	26.33	5	0.00
Cr	15.25	5	0.018
Ni	55.08	5	0.128
Mn	13.02	5	0.00
Pb	55.08	5	0.00
Zn	13.02	5	0.043

جهت بررسی ارتباط بین فلزات سنگین، EC و pH خاک در منطقه مورد مطالعه آزمون اسپیرمن انجام شد که

بررسی همبستگی بین پارامترهای اندازه گیری شده در خاک

و معنی‌داری بود. سرب با کادمیوم ($p < 0.01$) و کروم ($p < 0.05$) نیز همبستگی مثبت و معنی‌دای با هم داشتند. همچنین نیکل با کروم و روی ($p < 0.01$) و منگنز با کادمیوم، سرب ($p < 0.01$) و نیکل ($p < 0.05$) دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری بودند.

نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس این نتایج قابلیت هدایت الکتریکی همبستگی مثبت و معنی‌داری را با سرب ($p < 0.01$)، کادمیوم ($p < 0.01$) و منگنز ($p < 0.05$) نشان داد. pH با قابلیت هدایت الکتریکی ($p < 0.01$) و کادمیوم ($p < 0.05$) دارای همبستگی مثبت

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین، pH و EC در نمونه‌های خاک اطراف کارخانه سیمان
Table 5. Correlation coefficients between heavy metals concentration, pH and EC in soil samples surrounding cement factory

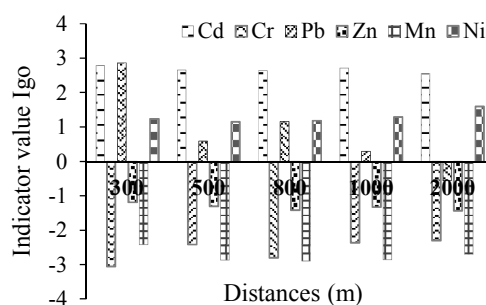
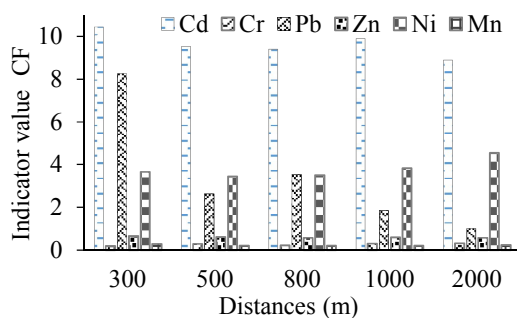
	Cd	Cr	Pb	Zn	Ni	Mn	EC	PH
Cd	1							
Cr	-0.15	1						
Pb	0.52**	-0.35*	1					
Zn	0.26	0.28*	0.15	1				
Ni	0.02	0.37**	-0.19	0.55**	1			
Mn	0.59**	-0.05	0.39**	0.22	0.30*	1		
EC	0.42**	-0.14	0.46**	0.15	-0.18	0.37*	1	
pH	-0.28*	0.02	-0.23	-0.17	-0.003	-0.16	-0.39**	1

که این موضوع می‌تواند ناشی از تغییرات کم این پارامترها در ناحیه مورد مطالعه باشد که تحقیقات قاسمی و همکاران (Ghasemi *et al.*, 2012) آن را تایید می‌کند.

بررسی آلودگی منطقه با استفاده از شاخص‌های آلودگی خاک

در شکل ۲ آلودگی منطقه مورد مطالعه از نظر فلزات سنگین مورد بررسی با استفاده از دو شاخص Igeo و CF و همچنین در شکل ۳ و ۴ با توجه به شاخص‌های CD، mCd، PLI، IPI، Nemerow، PI و RI و STU مقایسه شده است.

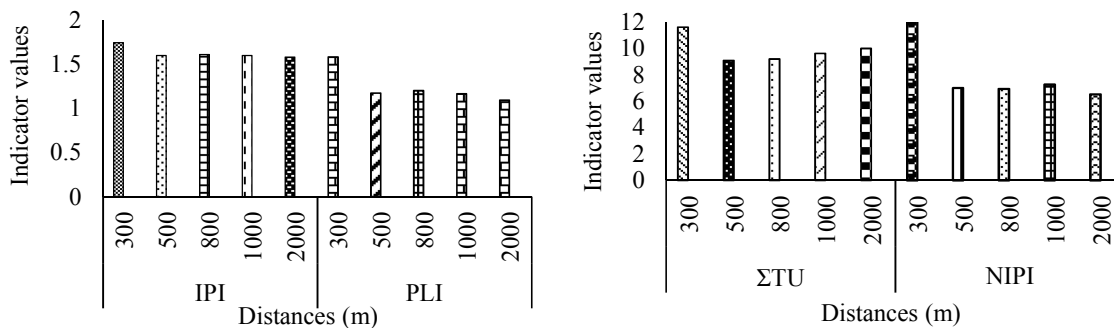
همبستگی بالا بین عناصر می‌تواند ناشی از ورود این عناصر از طریق منابع مشترک مانند ورود از طریق اتمسفر و یا از طریق مواد سازنده خاک باشد (Yalcin *et al.*, 2007). بنابراین همبستگی بین فلزات سنگین در این مطالعه گویای این است که منشأ ورود این آلاینده‌ها به خاک می‌تواند کارخانه سیمان باشد. نتایج این مطالعه نشان داد بین فلزات منگنز و سرب همبستگی مثبتی وجود دارد که با نتایج تحقیق دامیان همکاران (Damian *et al.*, 2008) مطابقت دارد. EC تنها با کادمیوم، سرب و منگنز و pH فقط با کادمیوم دارای همبستگی می‌باشد.



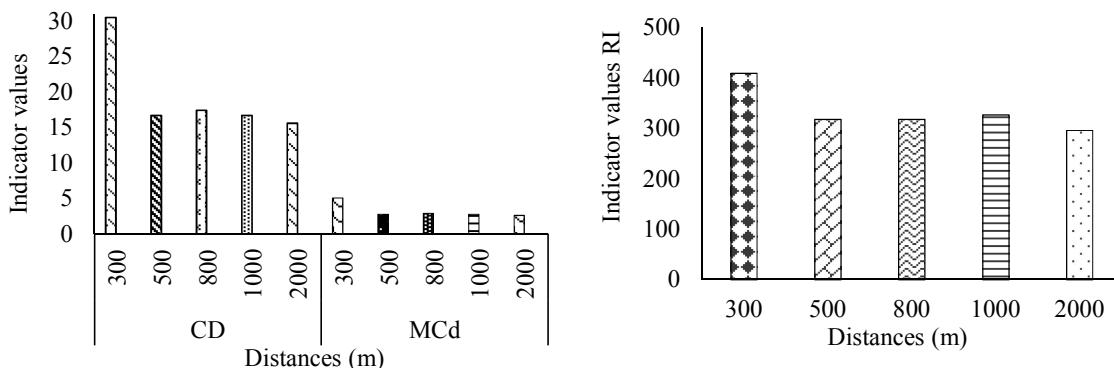
شکل ۲- وضعیت آلودگی فلزات سنگین در منطقه با توجه به شاخص‌های Igeo و CF
Figure 2. Heavy metals pollution in the region according to Igeo and CF indices

همکاران (Olowoyo *et al.*, 2015) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که Cr و Ni، Pb بالاترین مقادیر آلودگی را بر اساس شاخص PI داشتند. لفتا و همکاران (Lafta *et al.*, 2013) در تحقیقات خود بیان کردند که منطقه مورد مطالعه آن‌ها برای سه فلز کبالت، کادمیوم و نیکل آلوده بوده در حالی که برای سایر فلزات غیرآلوده بوده و تا حدودی با نتایج تحقیق حاضر مشابه می‌باشد. در مطالعه موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2013) نیز مشخص شد که سرب، نیکل و کروم از بالاترین مقادیر شاخص برخوردارند. بر اساس شاخص PLI خاک تمام فواصل مورد مطالعه در طبقه دارای آلودگی قرار دارند ($PLI > 1$). طبق شاخص ΣTU فواصل مورد بررسی دارای سمناکی حاد هستند ($\Sigma TU > 4$). نتایج شاخص IPI نشان داد منطقه دارای آلودگی متوسط است ($IPI > 2$) و بر اساس شاخص نمره منطقه مورد مطالعه ($IPI < 1$) و بر اساس شاخص بالای آلودگی است ($NIPi > 3$).

بر اساس تمام شاخص‌های مورد بررسی محدوده ۳۰۰ متر از بالاترین مقدار هر شاخص برخوردار است. به طوری که با دور شدن از خروجی الکتروفیلتر مقدار این شاخص‌ها کاهش می‌یابد که با نتایج سلگی (Solgi, 2015) مطابقت دارد. طبق نتایج شکل ۲ و بر اساس شاخص CF برای نیکل مقدار این شاخص بین ۳ تا ۶ و ضریب آلودگی قابل توجه است، برای کادمیوم بیشتر از ۶ و ضریب آلودگی بسیار بالا است و در مورد سرب مقدار شاخص بین ۱ تا ۳ و ضریب آلودگی متوسط است. بر اساس شاخص Igeo کادمیوم در طبقه آلودگی متوسط تا شدید ($Igeo > 3$)، نیکل در طبقه آلودگی متوسط ($Igeo > 2$) و سرب در فاصله ۳۰۰ و ۸۰۰ متر در طبقه آلودگی متوسط و در سایر فواصل در طبقه غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار داشت ($Igeo < 0$). بنابراین این سه فلز سنگین کادمیوم، نیکل و سرب درای بیشترین مقادیر شاخص آلودگی هستند. اولویو و



شکل ۳: وضعیت منطقه مورد مطالعه از نظر آلودگی فلزات سنگین با توجه به شاخص‌های IPI، PLI، $PI_{Nemerow}$ و ΣTU
Figure 3: Heavy metals pollution in the region according to PLI, IPI, $PI_{Nemerow}$ and ΣTU indices



شکل ۴- وضعیت منطقه مورد مطالعه از نظر آلودگی فلزات سنگین با توجه به شاخص‌های CD، mCd و RI

Figure 4. Heavy metals pollution in the region according to CD, mCd and RI indices

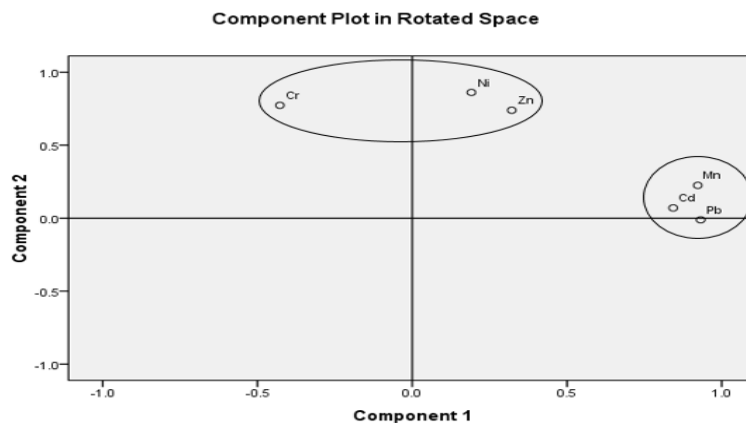
شاخص MCD آلودگی در فاصله ۳۰۰ متر درجه بالا از آلودگی ($MCD > 8$) و در سایر فواصل درجه

بر اساس شاخص CD برای تمام فواصل مورد بررسی درجه آلودگی بسیار بالا است ($CD > 14$). بر اساس

وابستگی‌های نهان بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده است (Zamani *et al.*, 2017). مولفه‌هایی که به یک گروه تعلق دارند با یکدیگر همبستگی بالایی دارند و دارای منشا آلودگی یکسان هستند و سایر گروه‌ها کمترین شباهت را با هم دارند (Sistani *et al.*, 2017). این مولفه‌ها نقش مهمی در بیان چگونگی آلودگی فلزات سنگین در منطقه دارند. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد کادمیوم، منگنز و سرب در مولفه اول و روی، نیکل و کروم در مولفه دوم قرار گرفتند. که با نتایج زمانی و همکاران (Zamani *et al.*, 2017) که سرب، منگنز و کادمیوم به همراه مس، آهن و کبالت در مولفه اول قرار گرفتند مطابقت دارد. با توجه به حضور کادمیوم و سرب در مولفه اول و کروم در مولفه دوم به عنوان فلزات سنگینی که بیشتر منشا انسانی دارند (Qing *et al.*, 2015).

متوسط از آلودگی است ($2 < MCD < 4$). طبق شاخص RI فاصله ۲۰۰۰ متری در طبقه خطر متوسط ($300 < RI < 150$) و سایر فواصل در طبقه خطر قابل ملاحظه قرار دارند ($RI > 600$ و $RI < 300$).

بررسی منشاء فلزات سنگین در خاک مورد مطالعه
برای تعیین منشا فلزات سنگین در اطراف کارخانه سیمان تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) انجام شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس این نتایج مقدار KMO برای این آزمون ۰/۶۰ به دست آمد که نشان می‌دهد آزمون PCA برای پارامترهای مورد بررسی مناسب است. کادمیوم، منگنز و سرب در مولفه اول و روی، نیکل و کروم در مولفه دوم قرار گرفتند (شکل ۵). این دو مولفه به ترتیب ۴۷/۸۲ و ۳۰/۴۳ درصد واریانس را بیان می‌کنند و در مجموع ۷۸/۲۵ درصد واریانس کل را تبیین می‌نمایند (جدول ۶). هدف از تحلیل مولفه‌های اصلی پیدا کردن و توضیح ترکیب‌های پیچیده یا همان



شکل ۵- وضعیت فلزات سنگین نسبت به مولفه‌ها

Figure 5. The state of heavy metals relative to the components

جدول - نتایج آزمون تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) برای فلزات سنگین
Table 6. Principal Component Analysis (PCA) for Heavy Metals

	Component	
	1	2
Cd	0.84	0.07
Cr	-0.42	0.77
Pb	0.93	-0.01
Zn	0.32	0.73
Ni	0.19	0.86
Mn	0.92	0.22
Eigenvalues	2.86	1.82
of Variance %	47.82	30.43
% Cumulative	47.82	78.25

سیمان اوتاوا، کازرون، بهبهان و نکا بالاتر می‌باشد. در سایر موارد غلظت فلزات سنگین در مطالعه حاضر کمتر از سایر مطالعات ذکر شده است. بنابراین به نظر می‌رسد آلودگی اصلی کارخانه سیمان نهاوند در ارتباط با کادمیوم، سرب و نیکل باشد. به طور کلی تفاوت در مقدار فلزات سنگین در کارخانه سیمان مناطق مختلف با تکنولوژی، میزان تولید و شرایط محیطیست منطقه اطراف آنها مرتبط خواهد بود.

مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان نهاوند با نتایج سایر مطالعات
مقایسه مقدار میانگین فلزات سنگین در خاک‌های سطحی محدوده مورد مطالعه اطراف کارخانه سیمان نهاوند با مقادیر میانگین فلزات سنگین در برخی از نقاط دنیا در جدول ۷ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج میانگین غلظت کادمیوم در مطالعه حاضر بالاتر از کارخانه سیمان همدان، کردستان، کازرون و نکا است، میانگین غلظت سرب از اوتاوا، همدان، کردستان، کازرون و نکا بیشتر بود، غلظت نیکل از غلظت نیکل در کارخانه

جدول ۷- غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در اطراف کارخانه سیمان نهاوند و مقایسه با برخی پژوهش‌های دیگر

Table 7. Concentration of heavy metals (mg / kg) in around Nahavand Cement factory and comparison with some other researches

	Mn	Ni	Zn	Pb	Cr	Cd	Reference
The results of this study	216.7	209.1	40.6	49.8	18.5	0.96	
Ottawa Canada	431.5	15.2	112.5	39.1	43.3	-	Rasmussen <i>et al.</i> , 2001
Africa	-	-	168.1	469.2	186.2	298.9	Ogunkunle and Fatoba, 2014
Hamedan	-	-	-	5.1	-	0.13	Solgi and Khodabandelo, 2016
Kurdistan	-	-	-	1.5	-	0.37	Solgi, 2015
Volta (Ghana)	635	-	-	60.9	-	-	Ahiamadjie <i>et al.</i> , 2011
Neka (Iran)	84.5	34.5	747	31.06	125.5	0.36	Darivasi <i>et al.</i> , 2016
Karoon	-	72.6	78.1	41.1	115.8	0.11	Mousavi <i>et al.</i> , 2013
Behbahan	-	64	-	64.6	-	75.2	Pour Khabbaz <i>et al.</i> , 2016

بنابراین توصیه می‌شود که در فاصله ۳۰۰ متری جهت کاهش و جلوگیری از انتشار ذرات و تحت تأثیر قرار دادن گیاهان حساس و خوش‌خوراک مرتعی اقدام به ایجاد کمربند پوشش گیاهی محافظتی حول محور کارخانه شود. همچنین باید از انتشار این ذرات از مبدأ نیز جلوگیری کرد که با توجه به این که قسمت قابل‌توجهی از گرد و غبار خروجی، به علت وجود درز و شکاف و پوسیدگی در قسمت‌های مختلف فرایند تولید شامل سالن‌ها، سوله‌ها، سیلوهای سیمان است، می‌بایستی عملیات درزگیری، تهویه و هدایت گرد و غبار به تجهیزات غبارگیری و به موازات آن سرویس مرتب تجهیزات و غبارگیرها صورت پذیرد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج غلظت Cd، Ni و Pb بیشتر از استاندارد USEPA و غلظت پوسسته زمین است و این فلزات از بالاترین مقادیر شاخص‌های مورد بررسی برخوردار می‌باشند. بنابراین کارخانه سیمان در مورد این فلزات نسبت به سایر فلزات سنگین آلودگی بیشتری ایجاد کرده است. در نتیجه باید در برنامه‌ریزی کنترل آلاینده‌ها، پایش و بررسی اثرات بر موجودات زنده در اولویت قرار گیرند. پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین آلودگی در فاصله ۳۰۰ متری از کانون انتشار ایجاد می‌شود و با توجه به کاهش آلودگی فلزات سنگین با افزایش فاصله از کارخانه به نظر می‌رسد آلودگی ایجاد شده ناشی از فعالیت کارخانه سیمان نهاوند باشد.

References

- Addo M.A., Darko E.O., Gordon C., Nyarko B.J.B. Gbadago J.K., Nyarko E., Affum H.A., and Botwe B.O. 2012. Evaluation of heavy metals contamination of soil and vegetation in the vicinity of a cement factory in the volta region, Ghana, *International Journal of Science and Technology*, 2(1):40-50.
- Ahiamadjie H., Tandoh A., Gyampo J.B., Nyarko O., Mumuni M., Agyemang I. I., Ackah O., Otoo M., and Dampare S.B. 2011. Determination of the elemental contents in soils around Diamond Cement Factory, Aflao. *Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3(1): 46-50.

- Akbari A., and Azimzadeh H.R. 2013. Soil chromium concentrations spatial changes around Behbahan cement factory, *Journal of Natural environment*, 66(2): 137-146. (In Persian)
- Al-Oud S. S., Nadeem M.E.A., and AlShbel B. H. 2011. Distribution of heavy metals in soils and plants around a cement factory in Riyadh City, Central of Saudi Arabia. *Journal of Agricultuer and Environmental Sciences*, 11(2): 183-191.
- Amir Hosseini A., Mehrabi B., and Masoudi F. 2010. Environmental impact assessment of Zarand Saveh Cement Factory on the soil surrounding areas, The 14th Conference of Iranian Geological Society, Urmia University, 25 p. (In Persian)
- ASTM D2974-00. 2000. Standard Test Method for Moisture, Ash and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils (Test Method C).
- Bilen S. 2010. Effect of cement dust comparison of total and bioavailable heavy metals in top soils of Bonab District in Zanjan Province, *Journal of Soil Science*, 2: 123-132.
- Chen Y., Xie T., Liang Q., Liu M., Zhao M., Wang M., and Wang G. 2016. Effectiveness of lime and peat applications on cadmium availability in a paddy soil under various moisture regimes. *Environmental Science and Pollution Research*, 23:7757-7766.
- Damian F., Damian G., Lacatușu R., Macovei G., Iepure G., Napradean I., Chira R., Kollar L., Rața L., and Zaharia, D.C. 2008. Soils from the Baia Mare zone and the heavy metals pollution, *Journal of Earth and Environmental Sciences*, 3(1): 85-98.
- Darivasi S., Saeb K., and Mollashahi M. 2016. Effects of distance from pollutant sources on heavy metal concentrations around Neka cement Factory Soil, *Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4): 33-44. (In Persian)
- Fatoba P. O., and Ogunkunle C. O. 2014. Contamination and spatial distribution of heavy metals in topsoil surrounding a mega cement factory, *Atmospheric Pollution Research*, 5: 270–282.
- Ghasemi H., Garavand M., and Hafezi Moghddas N. 2012. Geochemical and environmental assessment of the heavy metals in the soils derived from the Gorgan Schists, *Journal of Earth Sciences*, 22(86): 46-35. (In Persian)
- Hashemi Beni O., Salehi M., and Beigi Harchegani H. 2010. Estimation of soil organic matter by loss-on-ignition procedure in four major plains of Chaharmahal-va-Bakhtiari Province. *Journal of Science And Technology Of Agriculture And Natural Resources*, 13 (50) :77-89. (In Persian)
- Hegazy A. K., 1996. Effects of cement –kiln dust pollution on the vegetation and seedbank species diversity in the eastern desert of Egypt. *Environmental Conservation*, 23(3): 249-258.
- Iqbal M.Z., and Shafiq M. 2001. Periodical effect of cement dust pollution on the growth of some plant species. *Turkish Journal of Botany*, 25: 19-24.
- Isikli B., Demir T.A., Urer S.M., Berber A., Akar T., and Kalyoncu C. 2003. Effects of chromium exposure from a cement factory, *Environmental Research*, 91: 113–118.
- Javadi H., Rezvani Moghaddam P., Rashed Mohasel M. H., and Seghatoleslami M. J. 2018. Effect of fertilizer management on some chemical properties of soil and absorption of nitrogen and phosphorus elements by purslane (*Portulaca oleracea L.* *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(2): 187-205. (In Persian)
- Karimi Sorand M., Norouzi Enhani A., and Khalafi Kitabasra M. 2018. Investigation of the concentration of heavy metals of soils around the cement factory and its effects, th² national conference on knowledge and technology of agricultural science, natural resources and environment of Iran, p8. (In Persian)
- Lafta J. G., Fadhil H. S., and Hussein A.A. 2013. Heavy metals distribution and the variation of soil properties around alqaim cement factory in Anbar Governorate – Iraq, *international Journal of Engineering and Advanced Technology*, 3(1): 2249 – 8958.
- Long E.R., Macdonald D.D., Smith S.L., and Calder F.D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19(1):81-97.
- Mousavi M.H., Pornia M., and Amiri F. 2013. Distribution of Heavy Metals in Agricultural Soils around the Karoon Cement Factory, Southeast of Masjed Soleiman, *Geochemistry*, 1(3): 226-215. (In Persian)
- Oludoye O. O., and Ogunyebi L.A. 2017. Nutrients assessment of tropical soils around a Mega cement factory in southwest Nigeria, *Journal of Ecological Engineering*, 18(2): 21–28.

- Pour khabbaz H.R., Javanmardi S., Yousefnia H., Islami M., Makroni S., and Aghdar H. 2016. Environmental assessment of heavy metals pollution in the soils around the Behbahan Cement Factory, *Journal of Geography and Environmental Planning*, 27(3): 87- 105. (In Persian)
- Qing X., Yutong Z., and Shenggao L. 2015. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 120: 377-385.
- Qingjie G., Jun D., Yunchuan X., Qingfei W., and Liqiang Y. 2008. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. *Journal of China University of Geosciences*, 19(3):230-41.
- Sayadi M. H., and Rezaei M. R. 2013. Toxic metals in the deposited particles from air of training space Amir Abad Campus, *Journal of Occupational Health and Epidemiology*, 12: 67-75.
- Sayadi M. H., Rezaei M. R., Rashki O., Afsari K., and Poor Mollaei N. 2015. Natural and concentration factor distribution of heavy metals in sediments of Chah nimeh Reservoirs of Sistan, Iran. *Ecopersia*, 3:1021-1030.
- Shakeri A., Moor F., and Razikordmahalleh L. 2010. Distribution of soil heavy metal contamination around industrial complex zone, Shiraz, Iran, 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 2010. Brisbane, Australia, 51-54.
- Solgi E. 2015. An investigation on Cd and Pb concentrations of soils around the Kurdistan cement factory in Western Iran, *Journal of Chemical Health Risks*, 5(3): 179-191.
- Solgi E. 2016. Contamination of two heavy metals in topsoils of the urban parks Asadabad, Iran 2013. *Archives of Hygiene Sciences*, 5: 92-101.
- Solgi E., and Khodabandelo H. 2016. Cadmium and Lead disruption in soils around the Hegmatan Cement Factory, Iran, *Health Scope*, 5(2): 1-7.
- Solgi E., Keramaty M., and Solgi M. 2020. Biomonitoring of airborne Cu, Pb, and Zn in an urban area employing a broad leaved and a conifer tree species. *Journal of Geochemical Exploration*, 208:106400.
- Sistani N., Mooain al-Dini M., Ali Taleshi M. S., Khorasani N., Hamidiyan A.H., and Azimi Yancheshmeh R. 2017. Source identification heavy metal contamination of soils adjacent steel industry Kerman, *Journal of Natural environment*, 70(3): 627-641. (In Persian)
- Yalcin M.G., Battaloglu R., and Ilhan S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology*, 53(2): 399-415.
- Wu J., Teng Y., Lu S., Wang Y., and Jiao X. 2014. Evaluation of soil contamination indices in a mining area of Jiangxi, China. *PLoS Open Access Journal*, 9(11): 1-14.
- Zamani A.A., Ahmadpour E., Zanganeh A., and Khosravi Y. 2017. Mapping the heavy metals proportions in surface soils of the closed Kurdistan cement factory zone, *Journal of Research in Environmental Health*, 3(1): 40-55. (In Persian)

Application of Pollution Indices to Investigate of Heavy Metals Sequestration in Soil (Case Study of Nahavand Cement Factory)

Eisa Solgi^{1*}, Fouzieh Beigmohammadi², Ali Zamanian³

(Received: June 2019 Accepted: December 2019)

Abstract

The cement production process is a major source of heavy metal contamination through dust emissions due to massive use of minerals and fossil fuels in this industry. The purpose of this study was to investigate the effect of distance from the source (Electrophilter) on the amount of heavy metals in the surrounding soils of Nahavand cement factory. Soil samples were collected at 300, 500, 800, 1000 and 2000 meter from the cement factory and also Electrophilter dust were sampled. At these intervals, 4, 4, 3, 4 and 2 points with three replicates were sampled, respectively. Also, 6 samples were collected 11 km from the factory as control area. Samples were prepared, digested and then the concentration of heavy metals was measured by atomic absorption spectrometry. According to the results, there was a significant difference ($p < 0.05$) in the heavy metals concentration (Cd, Pb, Zn, Cr and Mn) between different distances and Electrophilter. The highest values of the pollution indices were observed at the distance of 300 meter and pollution decreased along with increasing distance from the cement factory. Meanwhile, the heavy metal concentrations in the control area were less than their concentration around the cement factory. The highest values of contamination factor (CF) and Igeo index were determined for cadmium, lead and nickel. The results of principal component analysis showed that the first component include Cd, Mn, and Pb and the second component include Zn, Ni, and Cr. Regarding to the, statistically significant difference between the distances, and higher concentrations around the cement factory than the control area, it can be concluded that Nahavand cement factory is the main source of heavy metals pollution in its surrounding soils.

Keywords: Electrophilter, Heavy Metals, Nahavand cement factory, Pollution Indicators, Soil Pollution

Solgi E., Beigmohammadi F., and Zamanian A. 2020. Application of pollution indices to investigate of heavy metals sequestration in soil (Case Study of Nahavand Cement Factory). *Applied Soil Research*. 8(3):188-201.

1. Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University

2. Ph. D student of Environmental Pollution, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University

3. MSc Environmental Pollution, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University

* Corresponding Author Email: e.solgi@yahoo.com; e.solgi@malayeru.ac.ir