مجله علمی – تحقیقی علوم انجنیری پوهنتون بغلان
د بغلان پوهنتون د انجنيري علومو علمي او څېړنيزه مجله
https://baghlan.edu.af/

بررسی آلودگی خاک و رسوبات اطراف فابریکه سمنت غوری ناشی از فعالیت فابریکه

[1] پوهنیار محمد ناصر نظری عضو کادر علمی پوهنځی انجنیری، پوهنتون بلخ.

[2] پوهنیار همایون آثم عضو کادر علمی پوهنځی انجنیری، پوهنتون بلخ.

Abstract

Pollution caused by the cement industry is known as one of the most important environmental challenges and concerns in the current century. In this sense, for many years, Ghori cement factory has practically produced cement with classic machines and exposed the surrounding environment to pollution. The purpose of this research is to investigate the pollutants that spread from this factory to the surrounding environment. which, according to the identification of the nature of pollutants, the detection and determination of the concentration of polluting substances, suggested solutions for control and prevention in order to preserve people's health. Based on this, soil samples were randomly taken from the internal and surrounding parts of the Nazar factory according to the wind direction and sediment samples were taken according to the sewage inlet point from the side lagoon of the cement factory according to the sampling rules. Then, in order to analyze the samples, the international standard method (ISO 11466) was used. To determine the contamination status of heavy elements in soil and sediment samples, from the calculation indices of pollution factor (CF), land accumulation index (Igeo), enrichment index (EF), ecological risk factor (Eri), potential ecological risk (RI), Nimro pollution index (NIPI), pollution index vector coefficient (PIvector) was used. Statistical analysis of data was done using SPSS-26 software and samples were analyzed by flame atomic absorption device. The results of the analysis show that there is a change trend of heavy metals in the studied soil and sediment samples considering the average concentration as Al>Ni>Pb>Co>As>Cr>Hg>Cd. In the comparison of heavy elements with the global average of the earth's crust, the elements of cadmium, arsenic and mercury are significantly more than the earth's crust. In terms of individual and cumulative indicators of arsenic, mercury and cadmium elements, it is in the class of high pollution.

Keywords: cement factory, dust, environmental pollution, heavy elements, pollutants, sediments, soil pollution.

[1] *Email: nasirnazari0011@gmail.com*
Mob: (0093) 791650011
[2] *Email: hamayounasim17@gmail.com*
Mob: (0093) 786988288

چکیده

آلودگی ناشی از صنعت سمنت به عنوان یکی از مهمترین چالش و نگرانی‌های محیط زیستی در قرن حاضر شناخته می‌شود. بدین لحاظ سال‌های متمادی است که فابریکه سمنت غوری با دستگاه‌های کلاسیک عملا فعالیت تولید سمنت را انجام داده و محیط اطراف را در معرض آلودگی قرار داده است. هدف از این تحقیق بررسی آلوده‌کننده های است که از این فابریکه به محیط اطراف پخش می‌شود. که با توجه به شناسایی نوعیت آلوده‌کنندها، تشخیص و تعین غلظت موادهای آلوده‌کننده راهکارهای را جهت کنترل و جلوگیری به منظور حفظ سلامتی مردم پیشنهاد کرد. بر این اساس نمونه‌های خاک از بخش‌های داخلی و اطراف فابریکه نظر به جهت باد بصورت تصادفی و نمونه‌های رسوب با توجه به نقطه ورودی فاضلاب از دریاخانه کناری فابریکه سمنت نظر به جریان آب مطابق قوانین نمونه‌برداری برداشته شد. سپس به منظور انالیز نمونه‌ها، از روش استاندارد بین‌المللی (ISO 11466) استفاده گردید. برای تعیین وضعیت آلودگی عناصر سنگین در نمونه‌های خاک و رسوب، از شاخص‌های محاسباتی فاکتور آلودگی (CF) شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}) شاخص غنی‌شدگی (EF)، فاکتور خطر اکولوژیکی (E_r^i)، خطر اکولوژیکی بالقوه (RI)، شاخص آلودگی نمرو (NIPI)، ضریب برداری شاخص آلودگی (PI_{vector}) استفاده گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS-26 و انالیز نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی شعله صورت گرفت. نتایج انالیز نشان می‌دهد که روند تغییرات فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و رسوب مورد مطالعه با در نظر داشت غلظت متوسط آن به صورت Al>Ni>Pb>Co>As>Cr>Hg>Cd وجود دارد. مقادیر عناصر سنگین مانند کادمیوم، آرسنیک و سیماب در مقایسه با استاندارد اوسط قشر جهانی زمین، به طور معنی‌داری بیشتر می‌باشد. از نظر شاخص‌های انفرادی و تجمعی عناصر آرسنیک ، سیماب و کادمیوم نیز در کلاس آلودگی زیاد قرار دارد.

کلمات کلیدی: آلودگی محیط‌زیست، آلوده‌کنندها، آلودگی خاک، رسوبات، عناصر سنگین، فابریکه سمنت و گرد و غبار.

۱. مقدمه

در حال حاضر آلودگی‌های محیطی زیستی یکی از چالش‌های اساسی دنیا، مخصوصاً کشورهای جهان سوم است، لذا افغانستان نیز کشوری است که طی سال‌های متمادی به علت موجودیت جنگ‌های طولانی‌مدت و عدم آگاهی مردم از مسائل محیط زیستی، تراکم نفوس در بزرگ شهرها، ساخت‌کار خانه‌های تولیدی غیر معیاری، فعالیت فابریکه‌های تولیدی سمنت، فابریکه تولید کود کیمیاوی که در آن دستگاه‌های فرسوده شده و تکنولوژی بسیار قدیمی بکار رفته است، استفاده بی‌رویه از وسایل بهداشتی یکبار مصرف، عدم کانالیزاسیون منظم شهری و استفاده از مواد احتراقی مختلف و غیره باعث افزایش آلوده‌کنندهای محیط زیستی شده و زندگی مردم را به خطر مواجه ساخته است. فابریکه سمنت غوری که در شمال شهر پلخمری ولایت بغلان قرار دارد، از سال ۱۳۴۳ بدین‌سو سمنت سیاه

را با مارک ۴۰۰ تولید می‌کند. در این فابریکه تعداد کارمندان که شامل انجنیران فنی، مدیران اداری، کارگرها و محافظین می‌شود، در دو شیفت، شب و روزکار می‌کنند که به‌شدت در معرض آلوده‌کنندهای تولید شده از این فابریکه، مخصوصاً عناصر سمی قرار دارند. از سوی دیگر گرد و غبار خروجی از دودکش‌های بدون فلتر مستقیماً وارد فضای محیط می‌شود. آب که در این فابریکه استفاده می‌گردد به دریای کناری آن می‌ریزد، لذا آلوده‌کنندهای که در سطح منطقه پخش می‌شود، ممکن است به‌شدت محیط اطراف را آلوده سازد. هدف از مطالعه و تحقیق کنونی، تعیین غلظت آلوده‌کنندهای است که از فابریکه سمنت در سطح محیط اطراف فابریکه پخش می‌شود، و همچنین تشخیص عناصر سنگین و خطرناک است. ممکن غلظت آلوده‌کنندها به‌مراتب بیشتر از حد مجاز باشد، از اینکه در اطراف فابریکه منازل مسکونی و زراعتی عملاً وجود دارد، افزایش روز افزون آلوده‌کنندها از این فابریکه زندگی مردم را در واقع به خطر جدی مواجه می‌سازد که در طولانی‌مدت مشکلات متعددی را ببار خواهد آورد. از سوی دیگر ذرات گردوغبار بر روی محصولات زراعتی که در اطراف این فابریکه به‌صورت فصلی زرع می‌شود ته‌نشین شده و یا از خاک وارد ریشه گیاهان می‌شود که در نتیجه خطرات جدی برای انسان‌ها و حیوانات ببار می‌آورد. همچنین از آب دریا که مخلوط شده با فاضلاب فابریکه است در زراعت استفاده می‌گردد که می‌تواند باعث آلودگی محصولات زراعتی متنوع در پایان دست فابریکه و ایجاد امراض در حیوانات خانگی و حیوانات آبزی شود. زغال‌سنگ که به حیث مواد سوخت استفاده می‌گردد، نیز در افزایش آلوده‌کنندهای گازات گلخانه‌ای نقش اساسی دارد که محیط‌زیست را مخصوصاً در زمستان به‌شدت آلوده می‌سازد.

سمنت به عنوان اساس پیشرفت یک کشور در راستای ساخت و ساز منازل مسکونی، فابریکه‌های صنعتی، جاده‌ها و راه‌های مواصلاتی کاربرد بیشتر داشته و بنا بر نیازهای امروزی جامعه تولید سمنت رو به افزایش است (کریمی دردشتی،، ۱۳۷۹). در سال‌های اخیر با رشد سریع صنعت و شهرنشینی تولید گرد و غبار، ذرات معلق نیز افزایش یافته که سالانه به میلیون‌ها تن می‌رسد، این آلوده‌کنندها محیط زیست و سلامت انسان‌ها را عملاً به خطر مواجه ساخته است، یکی از صنایعی که مقدار بیشتر از گرد و غبار را نظر به پروسه تولید آن در محیط نشر و پخش می‌کند صنعت سمنت است (Rai., 2011).

ذرات گرد و غبار آزاد شده از دودکش‌های فابریکه سمنت با سایر آلوده‌کنندهای موجود در هوا ترکیب شده علاوه بر اینکه باعث آلودگی خاک محیط اطراف می‌گردد، اثرات سوء بر گیاهان و

محصولات زراعتی نیز وارد می‌کند. همچنین در استهلاک منسوجات و فرسایش وسایل فلزی اثرات منفی بجا می‌گذارد (Mosavi et al., 2015). به طورکلی ته‌نشین شدن گرد و غبار سمنت روی گیاهان باعث کاهش انرژی ذخیره شده در بافت‌های گیاهی، بسته‌شدن سلول‌ها، کاهش عمل فتوسنتز و بالاخره باعث کاهش رشد گیاهان می‌شود (Sadeghiravesh and Khorasani., 2009). گرد و غبار بلندشده از دودکش های فابریکه سمنت نظر به جهت باد و بر عکس آن از مبدأ، توانایی بالایی در حمل فلزات سنگین دارد (Rajabi and Souri., 2015). فابریکه‌های سمنت به عنوان آلاینده‌ترین صنایع جهان به شمار می‌روند که منابع اصلی فلزات سنگین مانند کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، سرب (Pb)، نیکل (Ni)، منگنز (Mn)، مس و جست است، این فلزات در مراحل مختلف از پروسه تولید سمنت در محیط پخش می‌شود (Yahya et al, 2013). فلزات سنگین بنا بر داشتن اثر بر میکروارگانیسم‌ها و اثرات فیزیولوژیکی آنها بر انسان‌ها و سایر موجودات زنده در غلظت های خیلی کم، اهمیت بیشتر دارد (Saeb et al., 2015). در میان تمام فلزات سنگین کادمیوم، کروم و سرب به دلیل سمیت بالا بیشترین نگرانی را دارد، بر این اساس شناسایی منابع احتمالی طبیعی یا انسانی آلوده‌کنندهای خطرناک و سهم آن در ورود آلوده‌کنندها به خاک، اهمیت زیادی دارد. با توجه به آن فابریکه‌های سمنت پتانسیل نسبتاً بالایی در آلودگی محیط‌زیست دارند (Al-Khashman and Shawabkeh., 2006).

با توجه به عوامل مهمی مانند ترکیب کیمیاوی مواد خام مورد استفاده در فابریکه‌های سمنت، با قوانین محیطی منطقه‌ای یا ملی، گرد و غبار تولید شده از این فابریکه‌ها در نقاط مختلف جهان، حاوی مقادیر متفاوتی از فلزات سنگین است. این فلزات در فواصل مختلف بسته با سرعت و جهت باد غالب و همچنین اندازه ذرات از طریق گرد و غبار خروجی از دودکش های فابریکه سمنت در خاک رسوب می‌کند (Cutillas-Barreiro et al., 2016). گزارش به‌دست آمده از چندین پژوهش: فابریکه‌های تولید سمنت را به عنوان بزرگ‌ترین منبع انتشار ذرات معلق تشخیص داده اند که ۲۰ تا ۳۰ درصد را این ذرات در بر می‌گیرد و در مجموع ۴۰ درصد کل آلودگی را آلوده‌کنندهای فابریکه سمنت تشکیل می‌دهد (Hua, et al., 2016). تحقیقات مختلف نشان داده است که در مراحل مختلف تولید سمنت (از استخراج و میده کردن سنگ آهک شروع تا بسته بندی و استفاده آن) گرد و غبار آزاد می‌شود (Abdul-Wahab., 2006). همچنین گرد و غبار از پروسه‌های مختلفی چون جابجای مواد خام، میده کردن سنگ‌آهک، انتقال به کوره، تولید و ذخیره کلینکر، آسیاب کلینکر، تولید

سمنت، بسته بندی، باربری و تأسیسات برق ناشی می شود (Zhang et al., 2015). ماهیت و مقدار مواد خام و همچنین توپوگرافی و شرایط اقلیمی بر غلظت گرد و غبار و پراکندگی ذرات نیز تأثیر می‌گذارد، همچنین گرد و غبار متشکله بر سلامت افراد ساکن در اطراف فابریکه، هوای مناطق داخل و اطراف فابریکه و روی رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد (Bertoldi et al., 2011). خطر افزایش مبتلاشدن به سرطان برای افرادی که در نزدیکی فابریکه سمنت زندگی می‌کنند ۰,۰۳ خواهد بود. گرد و غبار سیلیس باعث سیلوکوزیس[1] و بیماری‌های کشنده ریه می‌شود. وجود ترکیبات کروم در گرد و غبار سمنت ممکن است منجر به بروز امراضی سرطانی شود (Abdul-Wahab., 2006).

در نتیجه با افزایش گردوغبار خروجی از دودکش‌های فابریکه سمنت غوری و انتقال آن نظر به جهت باد، به سمت مرکز شهر و منازل مسکونی ممکن عناصر فلزی خطرناک را با خود انتقال دهد که باعث تهدید حیات و سلامتی شهروندان گردد، لذا با دریافت نتایج این تحقیق می‌توان راهکارهای جهت کنترل و پیشگیری به اداره محیط‌زیست و ادارات زیر ربط جهت حل مسئله پیشنهاد کرد، تا باشد یک محیط پاک و عاری از آلوده‌کننده‌های خطرناکی که زندگی انسان‌ها را به‌صورت جدی تهدید می‌کند داشت. با توجه به مشکلات محیط زیستی موجود لازم است که تحقیقاتی در مورد انجام شود، تا با درک مسائل محیط زیستی برای مهار آن اقدام گردد.

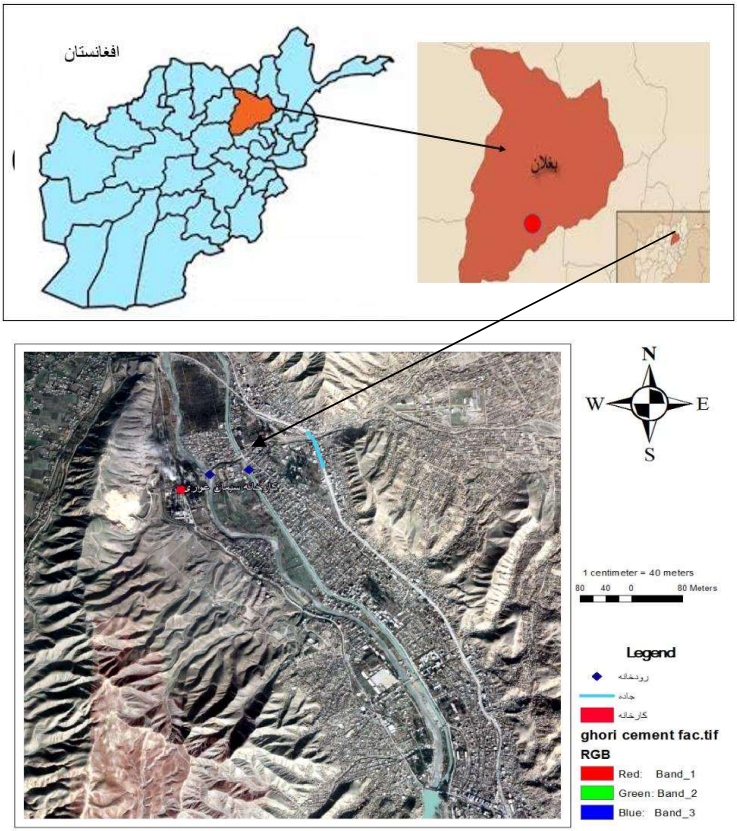
۲. مواد و روش تحقیق

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

فابریکه سمنت غوری طوری که در شکل (۱) نشان داده شده است در شمال شهر پلخمری و در کنار دریای بغلان با آب و هوای معتدل که در تابستان گرم و زمستان خیلی سرد است، با ارتفاع ۶۳۴ متر از سطح بحر با طول جغرافیایی "۴۱.۰۴ ’۴۰ °۶۸ تا "۳۸.۰۵ ’۴۱ °۶۸ شرقی و عرض جغرافیایی "۳۳.۰۸ ’۵۷ °۳۵ تا "۳۱.۴۴ ’۵۸ °۳۵ شمالی واقع است (Google Eearth-2023). محدوده مورد مطالعه شعاع یک‌کیلومتری فابریکه سمنت را در برد می‌گیرد، که در سمت غرب آن کوه تشکیل‌دهنده مواد خام سمنت (سنگ‌آهک) و در سه جهت دیگر خانه‌های مسکونی و زمین‌های زراعتی قرار دارد. این فابریکه در کنار شهر پلخمری که بیشترین جمعیت این شهر در شعاع یک الی چهار کیلومتری آن زندگی می‌کنند موقعیت دارد. دریای بغلان از کنار این فابریکه از سمت جنوب به شمال جریان داشته

[1] *Silicosis:* یکنوع بیماری تنفسی که در تماس طولانی مدت با گردوغبار بوجود می آید.

و از آب آن در این فابریکه و موارد مختلف چون زراعت و باغداری استفاده می شود. در این فابریکه ۸۱۲ نفر در بخش‌های تولیدی، تخنیکی، استخراج، خدماتی، امنیتی و باغداری مشغول کار هستند. ساحه کاربری این فابریکه شامل منطقه تولیدی، مسکونی، زراعتی، منطقه سبز، تفرجی، باغداری و پرورشگاه ماهی می‌شود (نورانی، ۲۰۱۵).

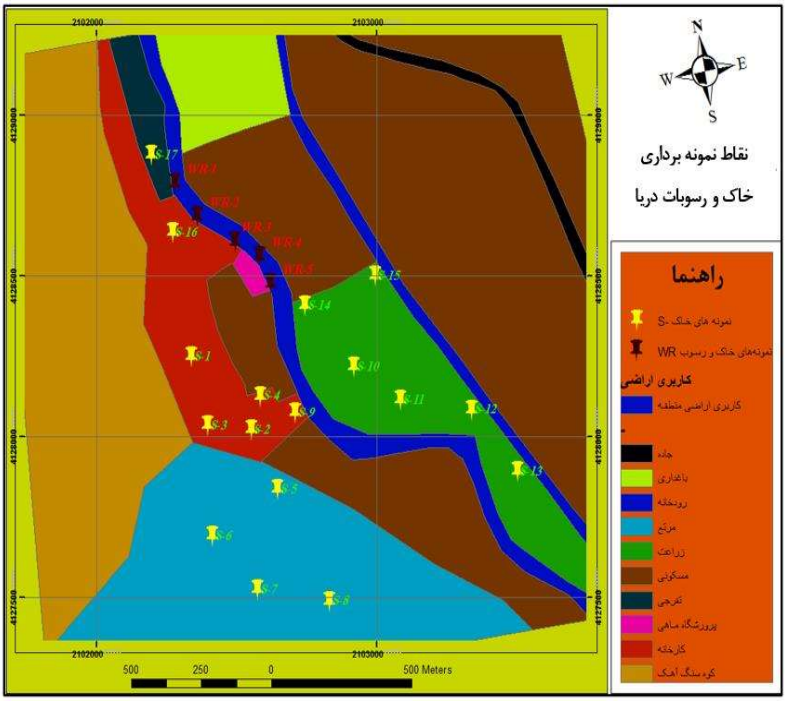


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی فابریکه سمنت غوری (Google & Google Eearth-2023)

۲-۲. نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

طوری که در شکل (۲) نشان داده شده است، به تعداد ۱۷ نمونه از خاک سطحی منطقه اطراف فابریکه سمنت غوری در عمق (صفر تا ۱۵ سانتی‌متر) در خزان ۱۴۰۱ بصورت تصادفی نظر به جهت

باد و مناطق مسکونی گرفته شد. نمونه های رسوب نیز به تعداد ۶ نمونه نظر به نقطه ورودی فاضلاب به دریاخانه طوری که ۲ نمونه از قسمت پایین‌دست نقطه ورودی فاضلاب و ۲ نمونه از قسمت بالادست آن با فاصله ۲۰۰ متر از هم، یک نمونه از فاضلاب فابریکه و یک نمونه از فاصله ۱۳ کیلومتری سمت جنوب فابریکه به عنوان نمونه شاهد برداشته شد. نمونه‌های رسوب بعد از انتقال به آزمایشگاه دو نمونه بالادست و دو نمونه پایین‌دست با هم ترکیب و انالیز گردیدند. در شکل (۲) که در زیر دیده می‌شود نمونه شاهد به علت داشتن فاصله بیشتر نشان داده نشده است.



شکل ۲: نقاط نمونه برداری نمون‌های خاک و رسوبات

به منظور هضم (انحلال) کیمیاوی نمونه‌های خاک و رسوب از روش استاندارد بین‌المللی (ISO 11466) استفاده شد. طبق این روش نمونه‌های خاک به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد گذاشته شد تا کاملا خشک گردد و نمونه‌های رسوب نیز آب آن توسط هیتر کاملا خشک گردید. سپس نمونه‌های خاک با استفاده از غربال دو میلیمتری (مش ۶۰) غربال شده و به مقدار سه گرام از هرکدام نمونه‌های

خاک و رسوب با ترازو با دقت ۰،۰۰۱ اندازه‌گیری و در بالون استریل‌شده ریخته شد. در ادامه به میزان یک میلی‌لیتر آب مقطر جهت مرطوب سازی اضافه شد و بعد از مخلوط‌شدن ۲۱ میلی‌لیتر کلوریک اسید[1] غلیظ (۳۷٪) به خاک اضافه گردید و پس از اتمام تعامل هفت میلی‌لیتر نیتریک اسید[2] غلیظ (۶۵٪) به بالون اضافه شد و پس از خروج بخارات ۱۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۰/۵ مولار با محتویات داخل بالون افزوده گردید و در نهایت با گذاشتن درپوش (شیشه ساعتی استریل) به مدت ۱۶ ساعت در حرارت اتاق رها گردید. پس از آن به مدت دو ساعت بر روی هیتر قرار داده شد، تا مقدار از محلول تهیه شده بخار شود و یک سوم آن باقی بماند. پس از سرد شدن ۱۰ میلی‌لیتر نیتریک اسید رقیق (۰/۵ مولار) به بالون‌ها افزوده و در ادامه به کمک کاغذ صافی محلول به دست آمده را صاف‌کرده و با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در نهایت عصاره به داخل بطری‌های پلاستیکی منتقل گردید. مراحل هضم کیمیاوی در شکل۳ نشان داده شده است.

شکل۳: مراحل انحلال کیمیاوی نمونه‌های خاک و رسوب

۲-۳. تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور تعیین درصد خطای نمونه برداری از فورمول کربز طبق رابطه ۱ استفاده گردید:

[1] *Hydro chloric acid (HCl)*
[2] *Nitric acid (HNO^3)*

$$N=\frac{t^2 \times CV\%^2}{E\%^2} \quad (1)$$

در رابطه فوق N تعداد نمونه‌های مورد نظر، E درصد خطا، از جدول مربوط، با در نظر داشت درجه آزادی بی‌نهایت در سطح معنی‌دار ۵ درصد ۱,۹۶ تعیین گردید. CV ضریب تغییرات که مساوی به نسبت انحراف معیار دادها بر اوسط مقادیر نمونه‌های اندازه‌گیری شده است (کیانی، بهمن.، ۱۳۹۳). همچنین از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ به منظور کارهای آماری در این تحقیق استفاده گردید: طوری که برای بررسی توزیع نرمال متغیرها در نمونه‌های خاک و رسوب، از آزمون Kolmogorov-Smirnov استفاده شد. برای بررسی رابطه بین متغیرها از آزمون پیرسیون و اسپرمن استفاده گردید. به منظور مقایسه عناصر با قشر زمین از آزمون t استودینت تک نمونه‌ای و برای مقایسه عنصر سیماب که توزیع داده‌های آن نرمال نبود از آزمون ویلکاکسون تک نمونه‌ای استفاده گردید. برای ترسیم نقشه منطقه و نقاط نمونه برداری از نرم افزار Arc gis 10.4.1 و Google Erarth، و به منظور ترسیم گراف‌ها و کارهای محاسباتی از اکسل استفاده گردید.

۲-۴. شاخص‌های ارزیابی آلودگی خاک و رسوب

معیارهای متعددی برای بررسی آلودگی پدیده‌های مانند خاک و رسوبات ارائه شده است که می‌توان بر اساس آن‌ها به آلوده بودن یا پاک بودن پدیده‌های مانند خاک و رسوب پی برد. یکی از راهکارهای اساسی به منظور جلوگیری از آلودگی محیط زیستی استفاده از شاخص‌های محاسباتی آلودگی جهت تشخیص میزان غلظت عناصر سنگین در خاک و بررسی حد آلودگی آن است (صیادی و همکاران، ۱۳۹۶).

در این مطالعه برای تشخیص وضعیت آلودگی منطقه مورد مطالعه از نظرداشتن فلزات سنگین از شاخص‌های منفرد مانند فاکتور آلودگی(CF)، شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})، شاخص غنی‌شدگی (EF)، فاکتور خطر اکولوژیکی (Eri) و شاخص‌های تجمعی مانند شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (RI)، شاخص آلودگی نمرو (NIPI)، شاخص بار آلودگی (PLI) ضریب برداری شاخص آلودگی (PI_{vector}) گردیده است.

۳. یافته‌های تحقیق

۳-۱. غلظت فلزات سنگین

با توجه به اوسط غلظت فلزات سنگین. عناصر سرب (Pb)، کدمیم (Cd)، آلومینیوم (Al)، نیکل(Ni)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، آرسنیک (As) و سیماب (Hg) در خاک و رسوب به ترتیب ۱۴،۶۲، ۰،۲۱۵۴، ۶۱۵۱،۲۸۲۱، ۱۹،۳۹۲۳، ۶،۸۵۶۴، ۳،۰۴۶۲، ۵،۲۷۱۸، ۰،۳۵۷۲ میلی گرم بر کیلوگرم وجود داشته و روند تغییرات غلظت عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه به صورت Al>Ni>Pb>Co>As>Cr>Hg>Cd وجود دارد.

در جدول ۱ آمارهای توصیفی عناصر اندازه‌گیری شده در خاک و رسوب نشان داده شده است. طوری که دیده می‌شود، از نظر اوسط بیشترین غلظت را عنصر آلومینیوم و کمترین غلظت را کادمیم دارد. برای بررسی توزیع نرمال متغیرها در نمونه‌های خاک و رسوب، از آزمون Kolmogorov-Smirnov استفاده گردید. نتایج به دست‌آمده طبق ستون معنی‌داری نشان‌دهنده این است که توزیع عناصر سرب، کادمیوم، آلومینیوم، نیکل، کبالت، کروم و آرسنیک در نمونه‌های خاک و رسوب مورد مطالعه نورمال (p-value>0.05) بوده، اما توزیع عنصر سیماب نورمال (p-value<0.05) نیست.

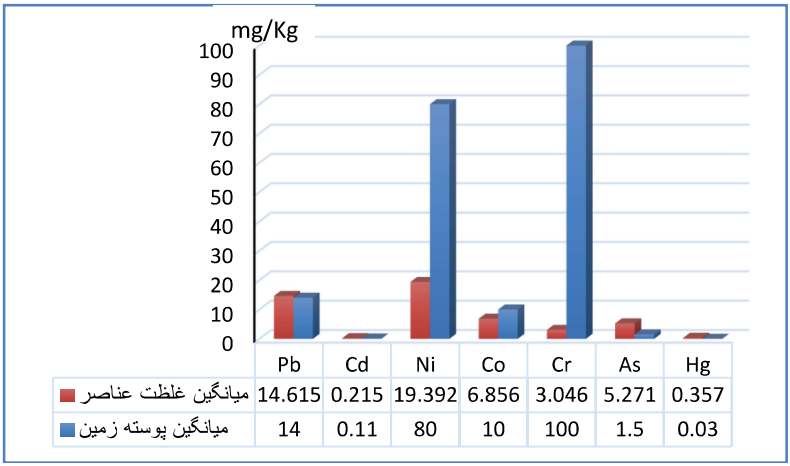
جدول ۱: آمار توصیفی متغییرها در خاک و رسوب

عنصر	تعداد نمونه	اوسط غلظت عناصر به mg/kg	انحراف معیار	کمترین	بیشترین	معنی‌داری
Pb	۱۳	۱۴،۶۱۵	۴،۸۲۲	۳،۶۷	۲۰،۰۰	۰،۲
Cd	۱۳	۰،۲۱۵	۰،۱۴۸	۰،۰۳	۰،۵۳	۰،۰۵
Al	۱۳	۶۱۵۱،۲۸۲	۱۷۰۲،۸۰۸	۳۶۶۶،۶۷	۱۰۳۳۳،۳۳	۰،۲
Ni	۱۳	۱۹،۳۹۲	۵،۰۳۵	۱۰،۰۰	۲۵،۱۰	۰،۲
Co	۱۳	۶،۸۵۶	۱،۰۶۰	۴،۳۳	۸،۰۷	۰،۰۹۱
Cr	۱۳	۳،۰۴۶	۰،۶۵۳	۲،۰۷	۴،۰۰	۰،۲
As	۱۳	۵،۲۷۱	۰،۷۶۹	۴،۲۰	۶،۷۳	۰،۲
Hg	۱۳	۰،۳۵۷	۰،۱۵۹	۰،۱۰	۰،۵۰	۰،۰۰۰۰۰۱

طبق جدول ۲ و شکل ۴ از مقایسه غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های خاک و رسوب با اوسط قشر جهانی زمین می‌توان به این نتیجه رسید که نمونه‌ها از نظر عنصر سرب اختلاف معنی‌داری ندارد. با توجه به عناصر آلومینیوم، نیکل، کبالت و کروم به طوری معنی‌داری کمتر از قشر جهانی زمین است. اما با توجه به عناصر کادمیم، آرسنیک و سیماب به طور معنی‌داری بیشتر از اوسط جهانی قشر زمین بوده که نگرانی شدیدی را بوجود می آورد.

جدول ۲: مقایسه مقادیر عناصر با اوسط جهانی قشر زمین برحسب mg/ kg

شماره	عنصر	اوسط غلظت عناصر به mg/kg	اوسط جهانی قشر زمین	معنی‌داری
۱	Pb	۱۴,۶۱۵	۱٤	۰,٦٥٤
۲	Cd	۰,۲۱۵	۰,۱۱	۰,۰۲٥
۳	Al	٦۱٥۱,۲۸۲	۱۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰۳
٤	Ni	۱۹,۳۹۲	۸۰	۰,۰۰۰۰۰۰۱٤
٥	Co	٦,۸٥٦	۱۰	۰,۰۰۰۰۰۰۱۷
٦	Cr	۳,۰۴٦۲	۱۰۰	۰,۰۰۰۰۰۰۰٦۷
۷	As	٥,۲۷۱	۱,٥	۰,۰۰۰۰۰۰۰٥۸
۸	Hg	۰,۳٥۷	۰,۰۳	۰,۰۰۱



شکل ۴: مقایسه اوسط غلظت عناصر سنگین با اوسط جهانی قشر زمین

پراکنش فلزات سنگین در نمونه‌های گرفته‌شده از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند، اما از مقایسه اوسط نمونه‌ها نتیجه گرفته می‌شود که غلظت فلزات سنگین نظر به فواصل و ایستگاه نمونه‌ها دارای نوسانات است. همچنین پراکنش فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب نظر به اوسط غلظت فلزات سنگین با جهت جریان آب متمرکز است.

۳-۲. سطح آلودگی نظر به شاخص‌ها

با توجه به شاخص‌های آلودگی منفرد: خاک مورد مطالعه به لحاظ شاخص فاکتور آلودگی (CF) از

نظر عناصر سرب و کادمیم در کلاس آلودگی متوسط، بر اساس عنصر آرسنیک در کلاس آلودگی شدید، از لحاظ عنصر سیماب در کلاس آلودگی بسیار شدید و با توجه به عناصر آلومینیوم، نیکل، کبالت و کروم فاقد آلودگی است. با توجه به شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}) از لحاظ عناصر سرب، کروم، آلومینیوم، نیکل و کبالت فاقد آلودگی هستند، اما از نظر عناصر کادمیم و آرسنیک در کلاس آلودگی متوسط و براساس عنصر سیماب در کلاس آلودگی شدید قرار دارد. بر اساس شاخص ضریب غنی‌شدگی (EF) از نظر عناصر آلومینیوم، نیکل، کبالت، کادمیم و کروم در کلاس غنای حد اقل، از لحاظ عنصر سرب در کلاس غنای متوسط، با توجه به عنصر آرسنیک در کلاس غنای قابل‌توجه و از نظر سیماب در کلاس غنای شدید قرار دارد. بر اساس شاخص خطر اکولوژیکی (Eri)، از نظر عناصر سرب، آلومینیوم، نیکل، کبالت، کروم و آرسنیک در کلاس خطر اکولوژیکی پایین، اما از لحاظ عناصر کادمیوم و سیماب به ترتیب در کلاس آلودگی متوسط و بسیار بالا قرار دارد. بر اساس شاخص فاکتور آلودگی نمرو منفرد (NIPI)، از نظر عناصر کروم و نیکل در سطح غیر آلوده، به لحاظ عناصر آلومینیوم و کبالت در سطح در معرض آلودگی و با توجه به عنصر سرب در سطح آلودگی پایین و بر اساس عناصر کادمیوم، آرسنیک و سیماب در کلاس آلودگی بالا قرار دارد. بر اساس شاخص‌های آلودگی تجمعی: خاک مورد مطالعه از نظر شاخص ضریب برداری آلودگی (PI) و شاخص جامع فاکتور آلودگی نمرو (NIPI) در کلاس آلودگی بالا، بر اساس شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی (RI) در سطح آلودگی بسیار زیاد و فوق‌العاده زیاد، از لحاظ شاخص بار آلودگی (PLI) در سطح آلودگی متوسط تا شدید قرار دارد.

با توجه به شاخص‌های آلودگی منفرد: رسوب مورد مطالعه بر اساس شاخص فاکتور آلودگی (CF)، از نظر عناصر آلومینیوم، نیکل، کبالت و کروم در کلاس آلودگی کم، به لحاظ عنصر سرب در کلاس آلودگی متوسط، با توجه به عنصر کادمیم در کلاس آلودگی متوسط، شدید تا بسیار شدید و بر اساس عناصر آرسنیک و سیماب در کلاس آلودگی شدید قرار دارد. بر اساس شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})، از نظر عناصر آرسنیک و سیماب در کلاس آلودگی متوسط قرار دارد، اما از لحاظ عناصر سرب، کادمیم، آلومینیوم، نیکل، کروم و کبالت فاقد آلودگی است. از نظر شاخص ضریب غنی‌شدگی (EF)، با توجه به عناصر آلومینیوم، نیکل، کبالت و کروم در کلاس غنای حداقل، از لحاظ عناصر سرب و کادمیوم در کلاس غنای حد اقل تا متوسط و با توجه به عناصر آرسنیک و سیماب در کلاس غنای قابل‌توجه قرار دارد. طبق شاخص خطر اکولوژیکی (Eri)، از نظر عناصر سرب، نیکل و کروم در کلاس خطر اکولوژیکی پایین، از لحاظ عناصر کادمیوم و آرسنیک در کلاس خطر اکولوژیکی

پایین تا متوسط و با توجه به عنصر سیماب در کلاس خطر اکولوژیکی قابل توجه تا بالا قرار دارد. با توجه به شاخص فاکتور آلودگی نمرو (NIPI)، به لحاظ عناصر سرب و کادمیم در سطح آلودگی پایین، از نظر عناصر آرسنیک و سیماب در سطح آلودگی بالا قرار دارد. اما با توجه به عناصر آلومینیوم، کروم، نیکل و کبالت فاقد آلودگی است.

با توجه به شاخص‌های آلودگی تجمعی: رسوب مورد مطالعه از نظر شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی (RI) در کلاس آلودگی زیاد، با توجه به ضریب برداری شاخص آلودگی (PI) در کلاس آلودگی بالا، به لحاظ شاخص جامع فاکتور آلودگی نمرو (NIPI) در سطح آلودگی متوسط تا بالا و بر اساس شاخص بار آلودگی (PLI) در سطح آلودگی کم تا متوسط قرار دارد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی (RI) خاک و رسوب موردمطالعه در کلاس آلودگی زیاد تا فوق‌العاده زیاد قرار دارد، پس می‌توان گفت که غلظت عناصر اندازه‌گیری شده برای اکوسیستم‌های آبی و خاکی خطرناک است. از نظر شاخص جامع فاکتور آلودگی نمرو (NIPI) در سطح آلودگی متوسط تا بالا قرار دارد، و نشان می‌دهد که سطح خطر عناصر کادمیوم، آرسنیک و سیماب به ترتیب در خاک نسبت به رسوب بیشتر است، و نظر با سایر عناصر خطری وجود ندارد. از لحاظ شاخص بار آلودگی (PLI) در کلاس آلودگی متوسط تا شدید قرار دارد که در واقع احتمال تخریب خاک این منطقه نسبت به نقاط دیگر بیشتر است. با توجه به ضریب برداری شاخص آلودگی (PI) که در کلاس آلودگی بالا قرار دارد، مشخص می‌شود که شدیدترین عنصر که دارای وزن بیشتر و آلایندگی بیشتر است عنصر سیماب می‌باشد.

خاک مورد مطالعه از نظر غلظت عنصر سرب در مقایسه با اوسط قشر زمین اختلاف معنی‌داری ندارد. با مطالعه اکبری و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی شاخص‌های آلودگی و زمین انباشت فلز سرب در خاک اطراف فابریکه سمنت بهبهان بیان داشتند: مقدار این فلز در خاک درون و بیرون کارخانه از حد استاندارد کمتر است، که همسو با نتایج این تحقیق است. خاک منطقه مورد مطالعه با توجه به غلظت عنصر کروم در مقایسه با اوسط قشر جهانی زمین کمتر از حد استاندارد است. با مطالعه اکبری و عظیم‌زاده (۱۳۹۲) در پژوهشی تحت عنوان بررسی تغییرات مکانی کروم در خاک اطراف فابریکه سمنت بهبهان به این نتیجه رسیدند، که غلظت کروم در محدوده کارخانه نظر به اطراف بیشتر اما در مقایسه با حد استاندارد ارائه شده کمتر است، که با نتیجه این پژوهش همخوانی دارد.

اما با فرق اینکه در این تحقیق خاک مورد مطالعه با خاک محیط اطراف مقایسه نشده است. همچنین بر اساس عناصر کروم و کادمیوم در مقایسه با اوسط قشر زمین کمتر از حد استاندارد است، که با مطالعه‌ای یادگارنیا نائینی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش تحت عنوان تاثیرات گرد و غبار فابریکه سمنت نایین بر روی انسان و محیط زیست در مناطق خشک نشان می‌دهد: خاک مورد مطالعه از لحاظ مقادیر کروم و کادمیوم در تمام بخش‌ها از حد استاندارد بالاتر بوده است، که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد.

بطور خلاصه نتایج مهم از این تحقیق را می‌توان چنین بیان کرد: با توجه به مقایسه اوسط غلظت فلزات سنگین حاصله از نمونه‌های انالیز شده خاک و رسوب با اوسط قشر جهانی زمین عناصر سنگین آلومینیوم، کروم، نیکل، سرب و کبالت کمتر از قشر زمین بوده و قابل نگرانی نیست، اما غلظت عناصر بسیار خطرناک مانند سیماب، آرسنیک و کادمیم بیشتر از اوسط قشر زمین بوده که قابل تأمل است. با توجه به شاخص‌های آلودگی منفرد نمونه‌های خاک و رسوب مورد مطالعه از نظر عناصر سرب، کبالت، کروم، نیکل و آلومینیوم در کلاس آلودگی پایین و یا کم قرار داشته، اما بر اساس عناصر کادمیوم، آرسنیک و سیماب در کلاس آلودگی شدید و یا بالاتر قرار دارد. همچنین خاک و رسوب منطقه مد نظر به لحاظ شاخص‌های آلودگی تجمعی نیز در سطوح آلودگی بالا تا فوق العاده زیاد قرار دارد.

نکته قابل توجه این است، عناصر که دارای ضریب خطر اکولوژیکی و سمیت بیشتر هستند، مانند کادمیوم، آرسنیک و سیماب در محیط‌های آبی و خاکی در کلاس آلودگی متوسط، زیاد و شدید قرار دارد. . با توجه به خطر اکولوژیکی بالای این عناصر و احتمال عواقب خطرناک آن راهکارهای کنترلی جدا در نظر گرفته شود. در اخیر می‌توان گفت این تحقیق به حیث یک پژوهش توجهی و اکتشافی کمک می‌کند تا تحقیقات متعددی در رابطه با انالیز تعداد نمونه‌های بیشتر و با توجه مقاطع زمانی صورت گیرد.

۵. فهرست منابع

۱. صیادی، م. ح.، رضایف م. ر.، و حاجیانی، م.، (۱۳۹۶). بررسی آلودگی خاک‌های سطحی اطراف فابریکه سمنت قائن با فلزات سنگین سرب و کروم. مجله محیط‌زیست و مهندسی آب. (۴)، ۳۲۲-۳۱۲.

۲. کریمی دردشتی، ا.، (۱۳۷۹). روند توسعه صنعت سمنت. ماهنامه علمی فنی اقتصادی سمنت، ۷ (۵۵)، ۶-۱۹.

۳. کیانی، ب.، (۱۳۹۳). کاربرد روش‌های پیشرفته آماری در منابع طبیعی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه یزد.

4. Abdul-Wahab, S. A., 2006. Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities. Ecol Modell 195:338–348.
5. Al-Khashman, O.A., Shawabkeh, A.R., (2006). Metals distribution in soils around the cement factory in Southern Jordan. Environmental pollution, 140, 387-394.
6. Bertoldi, M., Borgini, A., Tittarelli, A., Fattore, E., Cau, A., Fanelli, R., & Crosignani, P., (2011). Health effects for the population living near a cement plant: an epidemiological assessment. Environ Int 41:1–7.
7. Cutillas-Barreiro, L., Pérez-Rodríguez, P., Gómez-Armesto, A., Fernández-Sanjurjo, M.J., Álvarez-Rodríguez, E., Núñez-Delgado, A., Arias-Estévez, M. Carlos Nóvoa-Muñoz, J., (2016). Lithological and land-use based assessment of heavy metal pollution in soils surrounding a cement plant in SW Europe. Science of the total environment, 562, 179–190.
8. Hua, Sh., Tian, H., Wang, K., Zhu, C., Gao, J., Ma, Y., Xue, Y., Wang, Y., Duan Sh., & Zhou, J., (2016) Atmospheric emission inventory of hazardous air pollutants from China's cement plants: temporal trends, spatial variation characteristics and scenario projections. Atmos Environ. 128:1–9.
9. Mosavi, Z., Motassadi, S., Jozi, A., Khorasani, NA., (2015). Investigating the effects of the dust from cement industry on vegetation diversity and density, case study: Shahroud cement industry. Journal of Health; 6(4):429-38. [In Persian].
10. Rajabi, M., Souri, B., (2012). Evaluation of heavy metals among dustfall particles of Sanandaj, Khorramabad and Andimeshk cities in western Iran 2012-2013. Iranian Journal of Health and Environment; 8(1): 11-22. [In Persian].
11. Rai, PK., (2011). Bio monitoring of particulates through magnetic properties of roadside plant leaves. In: Tiwari. Advances in Environmental Chemistry. India: Mizoram University.
12. Pejman, A., Bidhendi, G. N., Ardestani, M., Saeedi, M., Baghvand, A., (2015). "A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: A case study." Ecological Indicators. 58: 365-373.

13. Sadeghiravesh, M., Khorasani, N., (2009). Effects of dust from the cement industry on vegetation cover case study: Abiek cement factory. Journal of Environmental Sciences and Technology; 11(1): 107-19. [In Persian].
14. Saeb, K., Ghorbanzadeh, S., Kardar, S., Khademi, R., (2015). Survey the amount of heavy metals in species leaf around cement production industries (Case study: Payvand Golestan cement factory). Agronomic Research in Semi Desert Regionns; 11(4): 245- 54. [In Persian].
15. Yahaya, T., Okpuzor, J., Ajayi, T., (2013). The protective efficacy of selected phytonutrients on liver enzymes of albino rats exposed to cement dust. IOSR J Pharm Biol Sci; 8(3): 38-44.
16. Zhang, S., Worrell, E., Crijns-Graus, W., (2015). Evaluating co-benefits of energy efficiency and air pollution abatement in China's cement industry. Appl Energy 147:192–213.