

Dust Effect of Yasouj Cement Factory on Chemical Properties of Surrounded Soils

MOHAMMAD RAHMANIAN^{*1}

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
(Received: Aug. 3, 2019- Revised: Aug. 18, 2019- Accepted: Dec. 7, 2019)

ABSTRACT

Atmospheric emissions from cement industry are one of the major sources of environmental pollution. To evaluate the effect of cement dust on some soil properties around Yasouj cement factory, 61 soil samples were collected from different land uses at a depth of 0-30 cm. Different properties such as acidity (pH), electrical conductivity (EC), organic matter, calcium carbonate equivalent, sand, clay and silt percentages, total concentration of nickel, manganese, lead and cadmium were measured. The Kolmogorov-Smirnov test was used to verify the normality of the data. The results showed that the studied soils were calcareous, non-saline and alkaline and they had 18.44 to 54 percent calcium carbonate equivalent, 0.82 to 2.19 percent organic matter, 0.07 to 0.96 dS/m electrical conductivity and 6.72 to 8.02 pH. Nickel, Manganese, Lead and Cadmium concentrations ranged from 214.98 to 268.34, 45 to 708, 2.25 to 168.75 and 0.37 to 11.12 mg kg⁻¹, respectively. In the proposed samples, the mean concentration of nickel, manganese, lead and cadmium were 243.53, 436.46, 18.47 and 0.96 mg kg⁻¹, respectively. The order of the average frequency of the heavy metals concentration was Mn > Ni > Pb > Cd. The concentration of nickel and cadmium in all soil samples and the concentration of manganese and lead in some soil samples around Yasouj cement factory were much higher than the USEPA standard levels. The high concentrations of these metals in surrounded soils are the result of different activities applied in the process of cement production and the movement of vehicles around the cement factory, illustrating the effect of pollutants released from this factory in increasing metals concentrations.

Keywords: Environmental pollution, Heavy metals, Kolmogorov-Smirnov test, Sources of pollution

* Corresponding Author's Email: m.rahmanian@yu.ac.ir

تأثیر گردوغبار کارخانه سیمان یاسوج بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های همجوار

محمد رحمانیان*

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۱۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۵/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۹/۱۶)

چکیده

انتشارات اتمسفری از صنعت سیمان یکی از منابع اصلی آلودگی محیط زیست است. برای ارزیابی تأثیر گردوغبار سیمان بر برخی از ویژگی‌های خاک در اطراف کارخانه سیمان یاسوج ۶۱ نمونه خاک از کاربری‌های مختلف در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. ویژگی‌های مختلف خاک شامل pH، هدایت الکتریکی خاک، مواد آلی، کربنات کلسیم معادل، درصد شن، رس، سیلت و غلظت کل فلزات نیکل، منگنز، سرب و کادمیوم اندازه‌گیری شدند. به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. نتایج نشان داد خاک‌های مورد مطالعه آهکی، غیرشور و قلیایی دارای ۱۸/۴۴ تا ۵۴ درصد کربنات کلسیم معادل، ۰/۸۲ تا ۲/۱۹ درصد ماده آلی، ۰/۰۷ تا ۰/۹۶ دسی‌زیمنس بر متر هدایت الکتریکی و pH برابر ۶/۷۲ تا ۸/۰۲ بودند. مقادیر نیکل در دامنه‌ی ۲۱۴/۹۸ تا ۲۶۸/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مقادیر منگنز در دامنه‌ی ۴۵ تا ۷۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مقادیر سرب در نمونه‌های خاک در دامنه‌ی ۲/۲۵ تا ۱۶۸/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مقادیر کادمیوم در نمونه‌های خاک در دامنه ۰/۳۷ تا ۱۱/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بودند. در نمونه‌های بررسی شده، میانگین غلظت فلزات نیکل، منگنز، سرب و کادمیوم به ترتیب ۲۴۳/۵۳، ۴۳۶/۴۶، ۱۸/۴۷ و ۰/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. ترتیب فراوانی میانگین غلظت فلزات سنگین به صورت $Mn > Ni > Pb > Cd$ بود. غلظت نیکل و کادمیوم در تمام نمونه‌های خاک و غلظت منگنز و سرب در تعدادی از نمونه‌های خاک کارخانه سیمان یاسوج بسیار بالاتر از استانداردهای جهانی USEPA بود. غلظت بالای این فلزات در خاک‌های همجوار کارخانه در نتیجه فعالیت‌های مختلف فرآوری مواد در فرآیند تولید سیمان و حرکت وسایل نقلیه در اطراف کارخانه سیمان است که نمایانگر تأثیر آلاینده‌های منتشر شده از این کارخانه در بالا رفتن غلظت فلزات است.

واژه‌های کلیدی: آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، آلودگی محیط زیست، فلزات سنگین، منابع آلودگی

مقدمه

امروزه آلودگی محیط زیست به علت رشد سریع نیروگاه‌های حرارتی، کارخانه‌های سیمان، صنایع فولاد و زغال سنگ در مقایسه با آلاینده‌های گازی یک مشکل جدی است که اثراتی بر زندگی گیاهان، جمعیت میکروبی خاک و دیگر ویژگی‌های خاک دارد (Lafta et al., 2013). در این میان صنعت سیمان جایگاه به‌سزایی در آلودگی محیط زیست دارد. نتایج تحقیقات اخیر بیانگر اثرات نامطلوب زیست محیطی کارخانه‌های سیمان بر محیط اطراف است (Moslempour and Shahdadi, 2013). مهمترین اثر بد کارخانه‌های سیمان بر محیط اطراف، انتشار گردوغبار به همراه فلزات سنگین و گازهای آلاینده است (Pourkhabbaz et al., 2016).

کارخانه‌های سیمان طی عملیات خود مقدار زیادی گردوغبار تولید می‌کنند که بر خاک، گیاهان و محصولات کشاورزی و مناطق مسکونی اطراف رسوب می‌کند (Sayadi et

2018). کارخانه‌های سیمان مواد آهکی و رسی را حرارت می‌دهند و سیمان تولید می‌کنند. پختن این مواد در کوره صورت می‌گیرد، به طوری که پس از حرارت دادن ۲۰ تا ۳۰ درصد مواد ذوب و سبب چسبیدن سایر دانه‌ها به هم می‌شوند. دانه‌های جدید که به اندازه دانه فندق و دارای رنگ قهوه‌ای روشن هستند، کلینگر نام دارند. در فرآیند تولید سیمان در مراحل حرارت‌دهی، کلینگرسازی، خنک‌کردن کلینگر و انبارکردن سیمان غبار زیادی تولید می‌شود (Riahi Samani and Isazadeh, 2005). اگرچه این کارخانه‌ها به طور معمول دور از مرکز شهری تاسیس می‌شوند، مناطق محلی تحت تأثیر منفی آن‌ها قرار می‌گیرد. گردوغبار سیمان از طریق باد، باران و غیره در مناطق وسیعی گسترش می‌یابد، و درون و روی گیاهان، حیوانات و خاک انباشته می‌شود و ممکن است آثار منفی بسیاری در سلامت انسان داشته باشد (Fan et al., 2017). تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و شکل‌های فلزات سنگین پارامترهای بسیار مهم در نظارت بر

۵۱° شرقی و ۳۱' ۳۰° شمالی در ارتفاع ۲۱۰۰ متری از سطح دریا و در ۲۵ کیلومتری شهر یاسوج قرار دارد. این کارخانه در سال ۱۳۸۳ شروع به فعالیت کرده است. در مجاورت کارخانه منطقه مسکونی وجود دارد. کشاورزی شغل اصلی ساکنان منطقه است. محصول غالب زمین‌های زراعی در اطراف کارخانه جو، گندم، نخود و باغ‌های سیب و هلو است. این باور وجود دارد که در مدت زمان ۲۵ سال تولید سیمان مقدار زیادی گردوغبار تولید کرده است. بنابراین ضروری است که تأثیر گردوغبار سیمان بر محیط اطراف کارخانه ارزیابی شود. با توجه به مواد فوق، هدف از این پژوهش تعیین تأثیر رسوبات گردوغبار سیمان بر تعدادی از ویژگی‌های خاک در اطراف کارخانه سیمان یاسوج بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از اراضی اطراف کارخانه شامل کاربری‌های زراعی، باغی و مرتعی انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در خاک، در همه کاربری‌های اطراف کارخانه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تعداد ۶۱ نمونه خاک نمونه‌برداری و در کیسه‌های پلی‌اتیلن قرار گرفتند و به آزمایشگاه منتقل شدند و پس از هوا خشک کردن، با چکش چوبی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند.

شکل (۱) موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در اطراف کارخانه سیمان یاسوج را نشان می‌دهد. نمونه‌برداری به صورت تصادفی در کاربری‌های مختلف در جهت باد غالب در اراضی همجوار کارخانه به گونه‌ای انجام شد که نمونه‌ها نماینده کاملی از کل منطقه نمونه‌برداری باشند. ابتدا به منظور همگن‌سازی از نمونه خاک‌ها در عمق موردنظر، تکه سنگ‌ها، آلاینده‌های فیزیکی و واریزه‌ها جدا گردید. تمام نمونه‌ها با بیلچه برداشت و به داخل کیسه‌های پلاستیکی انتقال داده شد.

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک مورد بررسی شامل قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره صاف شده ۱ به ۲ خاک و آب مقطر، pH در سوسپانسیون ۱ به ۲ خاک به آب مقطر، درصد کربنات کلسیم معادل با روش خنثی‌کردن کربنات کلسیم با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود (Loeppert and Sparks., 1996)، درصد کربن آلی به روش اکسایش تر (Nelson and Sommers., 1996) و غلظت فلزات سنگین با روش هضم در نمونه‌های خاک، توسط محلول اکیو ریجا دارای اسید کلریک و اسید نیتریک غلیظ (نسبت ۳:۱)، استفاده شد و غلظت

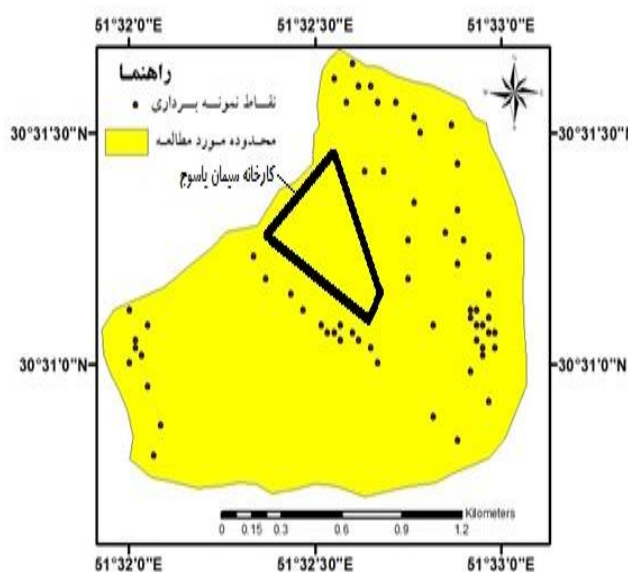
آلودگی محیط زیست هستند (Lafta et al., 2013). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل pH، درصد سیلت و رس، مقدار کربنات کلسیم موجود در خاک، مقدار مواد آلی، قابلیت تبادل کاتیونی، نوع کانی رسی، درصد وزنی اکسیدهای سیلیسیوم، آلومینیوم و آهن تأثیر مشخصی در مقدار جذب فلزات سنگین دارند (Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

تأثیر گردوغبار سیمان بر ویژگی‌های خاک و تولید گیاهان توسط برخی پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است (Al-Khashman and Shawabkeh, 2006; Ibanga et al., 2008; Al-Ibanga et al., 2011; Al-Husseini, 2018). pH خنثی تا کمی اسیدی (۵/۸)، مقادیر کلسیم تبدالی متوسط تا زیاد (۳/۰۲ تا ۷/۴۴ سانتی‌مول بر کیلوگرم) و مقادیر متوسط تا زیاد سدیم تبدالی (۰/۲۷ تا ۱۳۸ سانتی‌مول بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان در نیجریه را گزارش کردند. Asadu and Agada (2008) اثر گردوغبار سیمان بعد از ۲۵ سال فعالیت کارخانه را بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد مقادیر کلسیم، سدیم، هیدروژن و منیزیم تبدالی و مقادیر ماده آلی به طور معنی‌داری در خاک‌های تحت تأثیر گردوغبار سیمان بیشتر از خاک‌هایی بود که تحت تأثیر گردوغبار سیمان قرار نگرفته بودند. Al-Khashman and Shawabkeh (2006) مقادیر زیاد سرب، روی و کلسیم را در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان در اردن را گزارش کردند. Al-Omran et al., (2011) در مطالعه تأثیر گردوغبار سیمان بر تعدادی از ویژگی‌های خاک در اطراف کارخانه سیمان در عربستان سعودی گزارش کردند خاک‌های اطراف کارخانه سیمان آهکی (۲۲/۱ تا ۳۵/۵ درصد CaCO_3)، بافت لومی شنی تا شنی لوم، pH اسیدی ضعیف تا قلیایی ضعیف (۶/۰۶ تا ۸/۳۰)، مقادیر کلسیم تبدالی (۱/۴۷ تا ۵/۴۴ سانتی‌مول بر کیلوگرم)، مقادیر سدیم تبدالی (۰/۳۴ تا ۲/۹۰ سانتی‌مول بر کیلوگرم)، ظرفیت تبادل کاتیونی کم تا متوسط (۱/۹۴ تا ۸/۱۴ سانتی‌مول بر کیلوگرم) و به فلزات آرسنیک، سرب، کادمیوم و نیکل آلوده بودند. گردوغبار در حال نشست بر روی خاک اطراف کارخانه سیمان، به‌ویژه مناطق پایین‌دست، باعث تغییر pH خاک به سمت قلیایت می‌شود، که این عمل برای جو، مطلوب ولی برای مراتع نامطلوب می‌باشد (Ahiamadjie et al., 2011).

کارخانه سیمان یاسوج در منطقه دشتروم در مجاورت جاده یاسوج-گچساران از توابع شهرستان بویراحمد با مختصات ۳۲'

فلزات مورد نظر در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی اندازه گیری گردید (Gupta., 2000).

برای بررسی توزیع و آزمون نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، از آماره کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محاسبه شد. محاسبه‌های آماری اطلاعات به‌دست آمده در تحقیق با نرم‌افزار Excel انجام شد.



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه

بررسی مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک

توصیف آماری شامل میانگین، میانه، واریانس، ضریب تغییرات، مقادیر حداکثر و حداقل، چولگی و کشیدگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی در جدول (۱) خلاصه شده است. تحرک فلزات در خاک تا حدی بستگی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارد. در این میان pH و ماده آلی خاک می‌توانند تحرک فلزات را تغییر دهند (Pourkhabbaz *et al.*, 2016)، به طوری که مقادیر نسبتاً بالای آن‌ها تحرک فلزات را محدود می‌کنند. بر اساس میانگین مقدار pH ۷/۱۷ (۶/۷۲ تا ۸/۰۲) منطقه مورد مطالعه قلیایی و میانگین مقدار هدایت الکتریکی گزارش شده کمتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر بود که نشان می‌دهد خاک منطقه در رده خاک‌های معمولی و غیرشور است. بنابراین انتظار می‌رود تحرک فلزات در خاک محدود شود. با توجه به نتایج جدول (۱) خاک‌های اطراف کارخانه سیمان آهکی با میانگین کربنات کلسیم معادل ۳۴/۴۷ درصد و میانگین ماده آلی ۱/۵۴ درصد بودند. به عبارت دیگر، یون‌های کلسیم و سیدیم کاتیون‌های غالب در این خاک‌ها هستند. مقادیر رس در دامنه‌ی ۱۲ تا ۶۸ درصد، سیلت در دامنه-ی ۲۲ تا ۵۶ درصد و شن در دامنه‌ی ۸ تا ۵۴ درصد متغیر بودند. در خاک‌های مورد مطالعه میانگین غلظت نیکل، منگنز، سرب و کادمیوم به ترتیب ۲۴۳/۵۳، ۴۳۶/۴۶، ۱۸/۴۷ و ۰/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

جدول ۱- آمار توصیفی ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانه	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
مواد آلی (درصد)	۱/۵۴	۰/۸۲	۲/۱۹	۱/۴۳	۰/۳۵	۲۳/۱۱	-۰/۰۳	-۰/۷۱
کربن آلی (درصد)	۰/۸۸	۰/۴۹	۱/۲۷	۰/۸۲	۰/۲۰	۲۳/۱۱	-۰/۰۳	-۰/۷۱
واکنش خاک	۷/۱۷	۶/۷۲	۸/۰۲	۷/۴۸	۰/۸۵	۱۱/۸۲	-۲/۹۷	۹/۷۶
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۹۶	۰/۱۳	۰/۱۴	۹۰/۶۸	۴/۱۵	۲۱/۰۸
رس (درصد)	۳۴/۴۶	۱۲/۰۰	۶۸/۰۰	۴۴/۰۰	۱۰/۶۹	۳۱/۰۳	۰/۳۵	۰/۳۶
شن (درصد)	۲۶/۴۶	۸/۰۰	۵۴/۰۰	۲۰/۰۰	۱۰/۰۶	۳۸/۰۳	۰/۴۲	۰/۰۵
سیلت (درصد)	۳۹/۲۵	۲۲/۰۰	۵۶/۰۰	۳۶/۰۰	۸/۱۲	۲۰/۶۸	۰/۱۲	-۰/۷۲
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۳۴/۴۷	۱۸/۴۴	۵۴/۰۰	۳۵/۸۸	۱۱/۸۳	۳۴/۳۲	-۰/۰۳	-۱/۷۲
نیکل	۲۴۳/۵۳	۱۵۴/۸۸	۳۵۸/۱۳	۲۰۵/۳۱	۵۸/۲۱	۲۳/۹۰	۰/۱۵	-۱/۲۰
منگنز	۴۳۶/۴۶	۴۵/۰۰	۷۰۸/۰۰	۵۱۱/۸۸	۱۴۶/۰۰	۳۳/۴۵	-۰/۹۱	۰/۱۱
سرب	۱۸/۴۷	۲/۲۵	۱۶۸/۷۵	۱۷/۲۵	۲۰/۶۹	۱۱۲/۰۱	۶/۵۶	۴۸/۱۲
کادمیوم	۰/۹۶	۰/۳۸	۱۱/۲۵	۱/۹۴	۱/۴۱	۱۴۶/۵۷	۶/۷۵	۴۹/۷۸

اندک، $CV \leq 50\%$ ، $21\% \leq CV$ تغییرپذیری متوسط و $CV \leq 100\%$ اندک، $CV \leq 50\%$ تغییرپذیری بالا، در حالی که ضریب تغییرات بالاتر از

ضریب تغییرات (CV)، نشانگر درجه تغییرپذیری یک ویژگی در خاک است. $CV \leq 20\%$ نشان‌دهنده تغییرپذیری

(Alwadi., 1999). مقادیر استاندارد خاصی برای درجه آلودگی خاک با منگنز توسط سازمان محیط زیست ایران گزارش نشده است.

مقادیر سرب در منطقه مورد مطالعه در دامنه‌ی ۲/۲۵ تا ۱۶۸/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. مقدار غلظت سرب بر اساس استاندارد جهانی USEPA، ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (Alwadi., 1999; Hernandez *et al.*, 2003). مقادیر استاندارد سرب گزارش شده توسط سازمان محیط زیست ایران به ترتیب ۷۵ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای کاربری کشاورزی و حفاظت محیط زیست می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد غلظت منگنز و سرب در تعدادی از نمونه‌های خاک کارخانه سیمان یاسوج بسیار بالاتر از استانداردهای جهانی بود. غلظت کادمیوم در منطقه مورد مطالعه در دامنه‌ی ۰/۳۸ تا ۱۱/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار داشت. Cariny (1995) حد مجاز غلظت کادمیوم در خاک را ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرد. مقدار غلظت کادمیوم بر اساس استاندارد جهانی USEPA، ۰/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (Alwadi., 1999). نتایج پژوهش حاضر نشان داد غلظت کادمیوم در تمام نقاط نمونه-برداری شده بیشتر از استاندارد جهانی USEPA برای کادمیوم است. مقادیر استاندارد کادمیوم گزارش شده توسط سازمان محیط زیست ایران به ترتیب ۵ و ۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای کاربری کشاورزی و حفاظت محیط زیست می‌باشد. بر اساس نتایج این پژوهش غلظت کادمیوم در بعضی از نقاط نمونه‌برداری شده بیشتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان محیط زیست ایران است.

بنابراین غلظت فلزات مطالعه شده در منطقه از این روند پیروی می‌کند: $Mn > Ni > Pb > Cd$. مقدار کادمیوم در خاک‌های مورد مطالعه از دیگر فلزات کمتر است، که این موضوع را می‌توان به مقادیر زیاد کربنات کلسیم در این خاک‌ها نسبت داد (جدول ۱). در رابطه با این موضوع کربنات کادمیوم فعال، فعالیت یون کادمیوم (Cd^{2+}) در pH ۷/۸۴ را کنترل می‌کند (Al-Omran *et al.*, 2011). بنابراین غلظت کادمیوم در خاک‌های آهکی در درجه اول توسط فرآیندهای جذب کنترل می‌شود.

نکته حائز اهمیت آن است که قسمت عمده کاربری زمین اطراف کارخانه سیمان یاسوج کشاورزی می‌باشد. بالاتر بودن غلظت‌ها در نمونه‌های برداشت شده از محوطه اطراف و داخل کارخانه نمایانگر تأثیر آلاینده‌های منتشر شده از این کارخانه در بالا رفتن غلظت فلزات است. از این رو به وضوح مشخص است که فرآوری مواد معدنی اولیه برای تولید سیمان موجب بروز غلظت بسیار بالای فلزات در خاک‌های منطقه شده است و در نتیجه،

۱۰۰ درصد تغییرپذیری شدیداً بالا را نشان می‌دهد (Karimi Nezhad *et al.*, 2015). در این پژوهش ضریب تغییرات شوری خاک در نقاط اندازه‌گیری شده بالاتر از ۵۰ درصد است که بیانگر وجود تغییرات زیاد این متغیر در خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشد در حالی‌که برای ماده آلی، کربن آلی، pH، رس، شن، سیلت، کربنات کلسیم معادل، نیکل و منگنز ضریب تغییرات کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد که بیانگر عدم وجود تغییرات خیلی زیاد این متغیرها است (Amini *et al.*, 2006). ضریب تغییرات سرب و کادمیوم در نقاط اندازه‌گیری شده بالاتر از ۱۰۰ درصد می‌باشد که بیانگر وجود تغییرات بی‌نهایت زیاد این متغیرها در خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بر اساس

نتایج (Foroughifar *et al.*, 2010) ضریب تغییرات کم برای اسیدیته متأثر از عوامل ذاتی همچون مواد مادری در رفتار این ویژگی است در حالی‌که ضریب تغییرات زیاد می‌تواند ناشی از اثر متقابل عوامل مدیریتی مانند مصرف کود و عوامل ذاتی مانند وضعیت زهکشی در خاک‌ها باشد. همچنین، ضریب تغییرات بالای هدایت الکتریکی می‌تواند به دلیل بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی و شدت بالای تبخیر باشد، که باعث بجا ماندن نمک‌های محلول در سطح خاک منطقه مورد مطالعه گردیده است.

غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک

غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک در اطراف کارخانه سیمان یاسوج اندازه‌گیری شد. فلزهای نیکل، منگنز، سرب و کادمیوم در ترکیب سیمان وجود دارند. برای تعیین مقدار آلودگی فلز سنگین در خاک باید مقدار غلظت فلز در منطقه با استاندارد ملی یا جهانی شناخته‌شده مقایسه شود. البته بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است، زیرا شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا غلظت‌های متفاوتی ایجاد می‌کند. مقادیر نیکل در منطقه مورد مطالعه در دامنه‌ی ۱۵۴/۸۸ تا ۳۵۸/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. مقدار غلظت نیکل بر اساس استاندارد جهانی USEPA، ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (Alwadi., 1999). سازمان محیط زیست ایران مقادیر ۱۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم را به‌عنوان مقادیر استاندارد نیکل برای کاربری‌های کشاورزی و حفاظت محیط زیست گزارش کرد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در مجموع غلظت نیکل به دست آمده در تمام نمونه‌های کارخانه سیمان یاسوج بسیار بالاتر از استانداردهای جهانی است. غلظت منگنز در منطقه مورد مطالعه در دامنه‌ی ۴۵ تا ۷۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار داشت. مقدار غلظت منگنز بر اساس استاندارد جهانی USEPA، ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد

کشت و کار محصولات کشاورزی در نواحی اطراف کارخانه می‌تواند راهی برای رسیدن فلزات خطرناک و بیماری‌زا به حلقه‌های زنجیره غذایی انسان باشد.

مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین نیکل، منگنز، سرب و کادمیوم خاک با حداکثر مجاز آن

آزمون t-test به منظور مقایسه میانگین داده‌های خاک با حد بحرانی استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت نیکل با حداکثر مقدار مجاز آن در خاک اختلاف معنی‌داری دارد و بیشتر از آن می‌باشد. به عبارتی خاک منطقه مورد مطالعه آلوده به فلز نیکل است (جدول ۲). میانگین غلظت فلزات منگنز، سرب و کادمیوم با حداکثر مقدار مجاز آن در خاک اختلاف معنی‌داری دارد و کمتر از آن می‌باشد. در رابطه با فلزات منگنز، سرب و کادمیوم خاک منطقه مورد مطالعه آلوده به این فلزات نمی‌باشد (جدول ۲).

برای ارزیابی مقدار آلودگی منطقه مطالعاتی، مقایسه غلظت

فلزات در منطقه با سایر پژوهش‌ها انجام شد که نتایج در جدول (۳) آورده شده است. نتیجه این مطالعه نشان داد که غلظت نیکل در خاک اطراف کارخانه سیمان یاسوج از غلظت گزارش شده در خاک اطراف کارخانه سیمان در بهبهان، خاش، عربستان سعودی و عراق بیشتر و از غلظت گزارش شده برای غنا کمتر است. غلظت منگنز در این مطالعه از غلظت گزارش شده برای عراق بیشتر و از غلظت گزارش شده برای غنا و خاش کمتر است.

غلظت سرب در خاک اطراف کارخانه سیمان یاسوج از غلظت گزارش شده در خاک اطراف کارخانه‌های سیمان در عربستان سعودی و غنا بیشتر و از غلظت گزارش شده برای خاک اطراف کارخانه‌های سیمان بهبهان، عراق، اردن، آلمان و جامائیکا کمتر است. غلظت کادمیوم در این مطالعه از غلظت گزارش شده برای عربستان سعودی بیشتر و از غلظت گزارش شده برای بهبهان، خاش، عراق، اردن، آلمان و جامائیکا کمتر است.

جدول ۲- مقایسه غلظت فلزات سنگین خاک با حداکثر مقدار مجاز

منبع تغییرات	درجه آزادی	غلظت فلز	نتیجه آزمون t
میانگین غلظت کل سرب	۶۰	$18/47 \pm 20/69$	$-21/69^{**}$
میانگین غلظت نیکل	۶۰	$243/53 \pm 58/20$	$19/25^{**}$
میانگین غلظت منگنز	۶۰	$436/46 \pm 145/99$	$-56/89^{**}$
میانگین غلظت کادمیوم	۶۰	$0/96 \pm 1/40$	$-11/32^{**}$

بررسی روابط همبستگی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک با فلزات سنگین

پارامترهای آماری پایه برای تفسیر رفتارهای محیطی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه مطالعه شده محاسبه شدند. اطلاع از پارامترها و ویژگی‌های آماری داده‌ها شامل میانگین، میانه و

انحراف معیار نخستین مرحله برای شناسایی طبیعت داده‌هاست (Pourkhabbaz et al., 2016). توصیف آماری ویژگی‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها ضرایب همبستگی (r) پیرسون پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک محاسبه شدند (جدول ۴).

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های اطراف کارخانه‌های سیمان در مناطق مختلف جغرافیایی

منطقه جغرافیایی	نیکل	منگنز	سرب	کادمیوم	منبع
یاسوج (ایران)	۲۴۳/۵۳	۴۳۶/۴۶	۱۸/۴۷	۰/۹۶	مطالعه حاضر
بهبهان (ایران)	۶۴	-	۶۴/۶۹	۷۵/۲۹	(Pourkhabbaz et al., 2016)
خاش (ایران)	۱۰۳/۶۱	۷۲۶/۰۲	۱۸/۵۹	۱/۲۲	(Moslempour and Shahdadi., 2013)
عربستان سعودی	۸/۲۲	-	۵/۴۱	۰/۳۵	(Al-Omran et al., 2011)
عراق	۵/۹۰	۱۶۹/۷۰	۱۹/۸۰	۱/۷۰	(Lafta et al., 2013)
اردن	-	-	۵۵	۵	(Al-Khashman and Shawabkeh., 2006)
غنا	۲۴۵/۲۶	۵۴۴/۹۲	۱۳/۱۳	-	(Addo et al., 2012)
آلمان	-	-	۲۵/۴۰	۲/۸۱	(Sielaft and Einax., 2007)
جامائیکا	-	-	۳۱/۴۷	۵/۲۴	(Mandal and Voutchkov., 2011)
مقدار استاندارد	۳۰-۶۰	-	۵۰-۱۰۰	-	(Hernandez et al., 2003)

به استفاده از تکنولوژی‌های بهتر و کارآمدتر جهت کنترل آلاینده‌ها و ضایعات حاصل از فعالیت کارخانه سیمان بیش از پیش شده است. صنعت سیمان یکی از صنایعی محسوب می‌شود که همواره از آن به عنوان آلاینده محیط زیست یاد می‌شود. این صنعت اگرچه در سال‌های اخیر با نوسازی تجهیزات و ماشین‌آلات خود سعی کرده استانداردهای زیست محیطی لازم را کسب کند، اما باز هم به عنوان یکی از مهمترین عوامل آلودگی هوا محسوب می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد با گذشت بیش از پانزده سال از تأسیس کارخانه سیمان در این منطقه، غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان بیش از غلظت زمینه و در حال تجمع است.

بر خلاف انتظار پارامترهای pH و EC هیچگونه همبستگی آشکاری با فلزات مورد بررسی نشان ندادند که تحقیقات Pourkhabbaz *et al.*, (2016) آن را تأیید می‌کند. این موضوع می‌تواند ناشی از تغییرات کم این متغیرها در ناحیه مطالعه شده باشد (Qishlaqi *et al.*, 2009). بین شن با سرب همبستگی مثبت معنی‌دار ($r=0.30^*$) در سطح ۵ درصد وجود داشت. همبستگی بین رس با سرب ($r=-0.32^*$) در سطح ۵ درصد منفی و معنی‌دار بود.

امروزه با توجه به توسعه بیش از پیش کارخانجات سیمان، برای تولید سیمان مورد نیاز کشور و نیز اهمیت روزافزون رعایت مسائل زیست محیطی در صنایع مختلف به ویژه صنایع سیمان، نیاز

جدول ۴- ضریب همبستگی (r) پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک با فلزات سنگین

متغیر	کادمیوم	منگنز	نیکل	سرب	واکنش خاک	هدایت الکتریکی	کربن آلی	ماده آلی	کربنات کلسیم	شن	سیلت	رس
کادمیوم	۱											
منگنز	۰/۰۶	۱										
نیکل	۰/۰۷	۰/۰۷	۱									
سرب	۰/۰۱۷	۰/۲۳	۰/۰۷	۱								
واکنش خاک	-۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۰۳	۱							
هدایت الکتریکی	۰/۰۲	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۰۱	-۰/۲۰	۱						
کربن آلی	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۲۲	-۰/۱۸	-۰/۰۶	۱					
ماده آلی	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۲۲	-۰/۱۸	-۰/۰۶	۱/۰۰**	۱				
کربنات کلسیم	۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۱	-۰/۲۳	-۰/۱۵	-۰/۰۳	-۰/۰۳	۱			
شن	-۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۳۰*	-۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۳۶**	۰/۳۶**	-۰/۱۱	۱		
سیلت	-۰/۰۹	-۰/۰۸	-۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	-۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۲۳	-۰/۲۷*	-۰/۳۲*	۱	
رس	۰/۱۱	-۰/۰۸	-۰/۰۶	-۰/۳۲*	-۰/۰۱	-۰/۰۹	-۰/۵۱**	-۰/۵۱**	۰/۳۱*	-۰/۶۹**	-۰/۴۴**	۱

* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و ** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ است.

چنان‌که بالاترین غلظت فلزات در نزدیکی کارخانه یافت شدند. بنابراین غلظت این فلزات در اطراف کارخانه در حال تجمع است. توصیه می‌شود که کارخانه‌های سیمان به دور از نقاط مسکونی تأسیس شوند. قوانین زیست‌محیطی باید این کارخانه‌ها را به استفاده از اقدامات احتیاطی و تکنولوژی‌های جدید برای حفاظت محیط‌زیست از آلاینده‌های خطرناک مجبور کنند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه آهکی، غیرشور و قلیایی بودند. پراکنش غلظت فلزات در خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که کارخانه سیمان همراه با فعالیت‌های کشاورزی و انتشارات ترافیکی دلیل اصلی آلودگی فلزات است،

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 Environmental Science and Technology*, 2, 40–50.
- Ahiamadjie, H. Tandoh, A. Gyampo, J.B. Nyarko, O. Mumuni, I.I. Agyemang, M. Ackah, O. Otoo, M. and Dampare, S.B. (2011). Determination of the elemental contents in soils around Diamond Cement Factory, Aflao. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3(1), 46-50
- Al-Husseini, A.H.E. (2018). Ecological and health risk assessments of trace elements in Al-Shaibah dust, Basrah city, Iraq. *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences (JUBES)*, 26(6), 185-198.
- Al-Khashman, O.A. and Shawabkeh, A.R. (2006). Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan. *Environmental Pollution*, 140, 387-394.

- Al-Omran, A.M. El-Maghraby, S.E. Nadeem, M.E.A. El-Eter, A.M. and AlQahtani, S.M.I. (2011). Impact of cement dust on some soil properties around the cement factory in Al-Hasa Oasis, Saudi Arabia. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 11(6), 840-846.
- Alwadi, A.R. (1999). Manual of oceanographic observation and pollutant analysis method. (MOOPAM), 261p.
- Amini, M. Afyoni, M. and Khademi, H. (2006). Modeling of mass balance of Cd and Pb in agricultural lands of Isfahan region. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10(4), 77-89. (In Farsi)
- Asadu, C.L. and. Agada, C (2008). The impact of cement kiln dust on soil physico- chemical properties at Gboko, east central Nigeria. *Nigerian Journal of Soil and Environment Research*, 8, 1595-6121.
- Cariny T. 1995. The re-use of contaminated land. John Wiley and Sons Ltd. Publisher. 219p.
- Fan, Y. Zhu, T. Li, M. He, J. and Huang, R. (2017). Heavy metal contamination in soil and brown rice and human health risk assessment near three mining areas in central China. *Journal of Healthcare Engineering*, doi.org/10.1155/2017/4124302.
- Foroughifar, H. Jafarzadah, A.A. Torabi Gelsefidi, H. Aliasgharzadah, N. Toomanian, N. and Davatgar, N. (2010). Spatial variations of surface soil physical and chemical properties on different landforms of Tabriz plain. *Journal of Soil and Water*, 21(3), 1-21. (In Farsi)
- Gupta, P.K. (2000). Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agrobios, New Delhi, India, 438p.
- Hernandez, L. Probst, A. Probst, J.L. and Ulrich, E. (2003). Heavy metal distribution in some French forest soil: evidence for atmospheric contamination. *Science of the Total Environment*, 312, 195-219.
- Ibanga, I.J. Umoh, N.B. and Iren, O.B. (2008). Effects of cement dust on soil chemical properties in Calabar environment, southeastern Nigeria. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 551-558.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants. Third edition. CRC Press LLC. 408p.
- Karimi Nezhad, M.T. Tabatabaai, S.M. and Gholami, A. (2015). Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 152, 91-109.
- 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 Advanced Engineering and Technology (IJAET)*, 3(1), 289-291.
- Loeppert, R.H. and Sparks, D.L. (1996). Carbonate and gypsum. In: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical properties*. (pp. 437–474). Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Mandal, A. and Voutchkov, M. (2011). Heavy metals in soils around the cement factory in Rockfort, Kingston, Jamaica. *International Journal of Geosciences*, 2, 48–54.
- Moslempour, M.E. and Shahdadi, S. (2013). Assessment of heavy metal contamination in soils around of Khash Cement Plant, SE Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences (IJES)*, 5, 111–118. (In Farsi)
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical properties*. (pp. 961–1010). Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Pourkhabbaz, H.R. Javanmardi, S. Yusefnia, H. Eslami, M. Makrouni, S. and Aghdar, H. (2016). Environmental evaluation of heavy metals contamination in soils around the Cement Factory in Behbahan city. *Journal of Geography and Environmental Planning (JGEP)*, 27(3), 87-106. (In Farsi)
- Qishlaqi, A. Moore, F. and Forghani, G. (2009). Characterization of metal pollution in soils under two landuse patterns in the Angouran region, NW Iran; a study based on multivariate data analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 172, 374–384.
- Riahi Samani, M. and Isazadeh, H. (2005). A review of methods and techniques to improve the performance of electrostatic deposition of the cement industry. *Iranian Chemical Engineering*, 4, 50-5. (In Farsi)
- Sayadi, M.H. Rezaei, M.R. and Hajiani, M. (2018). Investigation of surface soil contamination by lead and chromium around the Qayen cement factory. *Journal of Environmental Water Engineering*, 3(4), 312 – 322. (In Farsi)
- Sielaff, K. and Einax, J.W. (2007). The application of multivariate statistical methods for the evaluation of soil profiles. *Journal of Soils and Sediments (JSS)*, 7(1), 45–52.