مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره هفت، مهرماه ۱۴۰۳(۱۱۲-۹۹)

سنجش و کاهش غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان تهران به روش گیاه پالایی

سید محسن بلادی [۱]

رویا مافی غلامی [۲*]

r.mafigholami@wtiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۸/۴ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۸**

چکیده

زمینه و هدف : خاک نواحی اطراف کارخانه سیمان به دلیل فعالیت‌های حاصل از انتقال مواد اولیه و فرآیند تولید سیمان در معرض آلودگی شدید زیست محیطی قرار دارد. اگر چه این تولیدات، مواد لازم برای توسعه و پیشرفت بشر را فراهم می‌کند لیکن بعضاً با افزایش آلودگی‌ها امکان حیات و استفاده از محیط زیست سالم را از بشر سلب می‌کند. هدف از این مطالعه ابتدا سنجش غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان تهران و سپس کاهش آلودگی ها توسط روش گیاه پالایی است.

روش بررسی : محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، خاک اطراف کارخانه سیمان تهران در شهر ری و امتداد کوه های بی بی شهربانو واقع شده است. ابتدا از خاکِ نقاط ۲۰۰،۳۰۰،۴۰۰،۵۰۰ متری ضلع شرقی کارخانه سیمان تهران و نقطه شاهد که در فاصله ی ۶ کیلومتری غرب کارخانه قرار دارد، نمونه برداری انجام شد سپس نمونه های خاک به آزمایشگاه ارسال و غلظت فلزات سنگین سرب، روی، مس در خاک تمامی نقاط به وسیله دستگاه ICP-MASS ارزیابی گردید، بعد از آن بر روی این نمونه ها فرآیند گیاه پالایی صورت گرفت و غلظت فلزات گیاهان کاشته شده در خاک گلدان های مختص به نقاط نمونه برداری و خاک بعد از گیاه پالایی در آزمایشگاه اندازه گیری شد.

یافته ها: خاک نقاط نمونه برداری اطراف کارخانه آلوده به فلزات سنگین است. غلظت فلزات سنگین در خاک کلیه ی نقاط نمونه برداری از نقطه شاهد بیشتر است و با افزایش فاصله از کارخانه از غلظت این فلزات کاسته می شود. طبق استاندارد سازمان جهانی بهداشت غلظت فلز سرب تمامی نقاط نمونه برداری شرق کارخانه آلوده (بیش از آلودگی شدید)، غلظت فلز روی در محدوده ی بین آلودگی کم و متوسط (بین ۱۲۰ تا ۲۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و فلز مس بیش از محدوده آلودگی کم (بیش از ۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم) قرار دارد، طبق این استاندارد گیاهان کاشته شده در خاک تمامی نقاط آلودگی شدید به فلز سرب دارند، غلظت فلز روی در گیاهان کاشته شده در نقطه اول و دوم بیش از ۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم و آلوده هستند، آلودگی به فلز مس در گیاهان دیده نمی شود. غلظت فلزات سنگین در خاک بعد از

---

۱ - کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب.

۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب. * (مسوول مکاتبات)

گیاه پالایی کاهش مناسب تا محدوده مجاز برخی از استاندارد ها را نشان می دهد، طبق استاندارد سازمان جهانی بهداشت غلظت فلز روی در تمامی نقاط به محدوده ی پایین تر از آلودگی کم (کوچکتر از ۱۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم) کاهش پیدا کرد.
بحث و نتیجه گیری: انتشار گرد و غبار و ذرات معلق توسط کارخانجات سیمان و سپس انباشت و تجمع آن در خاک های اطراف می تواند باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک شود که در این مطالعه این موضوع مشاهده می شود. مقادیر غلظت فلزات سنگین در گیاهان و خاک بعد از گیاه پالایی حاکی از آن است گیاه مورد نظر (یونجه) پتانسیل استخراج مناسبی را داراست و فنآوری گیاه پالایی می تواند در کاهش غلظت فلزات سنگین خاک تا محدوده مجاز برخی از استاندارد ها موثر واقع شود.

واژه‌های کلیدی: کارخانه سیمان، نقطه شاهد، گیاه پالایی، فلزات سنگین.

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No. 7, October, 2024

Measurment and Reduction of heavy metals concentration in soil around Tehran Cement Factory by Phytoremediation Method

Seyed Mohsen Beladi [1]
Roya Mafigholami [2*]
r.mafigholami@wtiau.ac.ir

Admission Date:October 27, 2021 Date Received: October 25, 2020

Abstract

Background and Objective: The soil around the cement plant is exposed to severe environmental pollution due to the activities resulting from the transfer of raw materials and the process of cement production. It deprives human beings of a healthy environment. The purpose of this study is to first measure the concentration of heavy metals in the soil around the Tehran Cement Plant and then reduce pollution by phytoremediation.

Material and Methodology: The study area in this research is the soil around Tehran Cement Factory in Rey city and along Bibi Shahrbanoo mountains. First, soil was sampled from 200, 300, 400, 500 meters of the eastern side of Tehran Cement Factory and the control point, which is located 6 km west of the factory, then soil samples were sent to the laboratory and the concentrations of heavy metals lead, zinc, Copper in the soil of all points was evaluated by ICP-MASS, After that the phytoremediation process was performed on these samples and the metal concentrations of the plants planted in the soil of the pots specific to the sampling points and the soil after phytoremediation were measured in the laboratory.

Findings: The soil of the sampling points around the plant is contaminated with heavy metals. The concentration of heavy metals in the soil of all sampling points is higher than the control point and the concentration of these metals decreases with increasing distance from the factory. According to the standard of the World Health Organization, the concentration of lead metal in all sampling points in the east of the factory is contaminated, the concentration of zinc metal in the range between low and medium pollution (between 120 to 290 mg/kg) and copper metal It is above the low pollution range (more than 35 mg/kg). According to this standard, plants planted in the soil have all the places of severe contamination with lead metal, the concentration of zinc in plants planted in the first point (200 meters) is more than 60 mg/kg and contaminated, copper metal contamination is not seen in plants. Concentrations of heavy metals in the soil after phytoremediation show a reasonable reduction to the allowable range of some standards, also according to the standard of the World Health Organization, the concentration of zinc in the third and fourth stations to the lower range of low pollution (less than 120 mg/kg).

1- Master of Civil Engineering Environmental Orientation, Department of Environment, Faculty of Management, Islamic Azad University, West Tehran Branch.
2- Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Management, Islamic Azad University, West Tehran Branch.* (*Corresponding Author*)

Discussion and Conclusions: Diffusion of dust and suspended particles by cement factories and then its accumulation in the surrounding soils can increase the concentration of heavy metals in the soil, which is observed in this study. Heavy metal concentrations in plants and soil after phytoremediation indicate that the plant has good extraction potential and phytoremediation technology can be effective in reducing the concentration of heavy metals in the soil to the allowable range of some standards.

Keywords: cement factory, control point, phytoremediation, Heavy metals.

مقدمه

آلودگی توسط کارخانه های سیمان اجتناب ناپذیر است و در کشورهایی که تولید سیمان رونق دارد و به ساخت و ساز اهمیت می دهند مانند ایران، این آلودگی ها در اطراف کارخانجات سیمان وجود دارد و این امری طبیعی است، کارخانه سیمان تهران هم از این قاعده مستثنی نیست. کارخانه سیمان تهران علاوه بر اشتغال زایی برای کارکنان خود و در کنار توانمندی های صادراتی، سهم قابل توجهی هم در تولید سیمان در ایران دارد و با توجه به این که طیف وسیعی از انواع سیمان را تولید می کند، بنابراین کمک خوبی در تأمین مواد اولیه جهت ساخت و ساز در بخش عمران و آبادانی کشور دارد. تقریباً تمام صنایع مواد زائد خطرناک تولید می کنند و صنعت سیمان یکی از هفده صنایع آلاینده محیط زیست است که این فهرست توسط انجمن کنترل آلودگی ایالات متحده تهیه شده است(۱). در حال حاضر یکی از چالش های اساسی و مهم در زمینه محیط زیست، افزایش تدریجی یا انباشت غلظت فلزات سنگین به سبب عدم تجزیه آن ها توسط میکرو ارگانیسم ها است این گونه فلزات حیات انسان و سایر موجودات را با خطرات جدی مواجه ساخته است(۲)، مطالعات زیادی فعالیت های انسانی را به عنوان دلایل اصلی آلودگی فلزات سنگین و دیگر عناصر آلاینده در اکوسیستم مطرح کرده اند(۳و۴) که از طریق فعالیت های صنعتی، نظیر صنعت سیمان، ساخت و ساز و سوزاندن سوخت های فسیلی زغال سنگ و غیره باعث فرستادن فلزات و و عناصر آلاینده به جو می شوند و سپس ذرات حاوی این فلزات بر خاک مجاور مناطق ترسیب شده و موجب آلودگی خاک ها به این دسته از فلزات می شود(۵ و۶). تجمع بیش از حد فلزات سنگین برای انسان و دیگر حیوانات مضر است، آلودگی به فلزات سنگین به این طریق معمولاً طولانی مدت و خفیف بوده و بیشتر از طریق چرخه غذایی صورت می گیرد و مسمویت شدید و فوری به ندرت دیده می شود ولی مسمویت های شدید هم می تواند از طریق بلعیدن خاک و تماس پوست با فلزات سنگین رخ دهد (۷). آلودگی فلزات سنگین نه تنها بصورت مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد مغذی خاک تاثیر می گذارد، بلکه خطر جدی برای سلامتی انسان از طریق ورود در زنجیره غذایی و امنیت زیست محیطی از طریق نفوذ در آبهای زیر زمینی محسوب می شود. اختلالات عصبی، انواع سرطانها، فقر مواد مغذی، بر هم خوردن تعادل هورمون ها از نتایج اثر ورود فلزات سنگین به بدن انسان می باشد (۸).افرادی که در اطراف کارخانه های سیمان زندگی می کنند، اغلب در مورد خطرات بالقوه بهداشتی حاصل از این کارخانه نگران هستند(۹) زیرا فرآیند تولید، تکلیس و سوزاندن ماده اولیه جهت تولید سیمان آلاینده هایی هم چون فلزات سنگین، دیوکسین، مواد ریز دانه و دی اکسید نیتروژن را تولید می کند(۱۰).

گیاه پالایی روشی پالایشی است که شامل جذب، تغییر شکل، تجمع یا تصعید آلاینده ها به کمک گیاهان می باشد از این روش برای زدودن آلودگی های خاک،آب و هوا استفاده می شود. این فنآوری می تواند برای هر دو نوع آلاینده خاک یعنی معدنی و آلی بکار رود(۱۱). در روش گیاه پالایی، گیاه با استفاده از ریشه های خود باعث جذب فلزات سنگین در ریشه و یا انتقال به اندام های ساقه و برگ و حتی گل نیز می شود و بسته به نوع گیاه در تمامی اندام های گیاه قابل تجمع است که این عمل می تواند باعث کاهش غلظت فلزات سنگین در خاک شده و بعد از جذب و برچیده شدن هم می توان گیاه را سوزاند و یا دپو کرد، البته سرنوشت گیاه بعد از جذب همیشه بخشی از چالش های این روش بوده و نظرات متفاوتی درباره آن وجود دارد. یکی دیگر از چالش های روش گیاه پالایی فاکتور زمان است. بدیهی است که زمان فاکتور مهمی در استفاده از فناوری گیاه پالایی است و این روش مسلماً سرعت روش های فیزیکی و شیمیایی را نداشته و

کند تر صورت می گیرد، ولی در صورت به کارگیری گیاهان چند ساله که توانایی مناسبی هم در جذب فلزات سنگین دارند، می توان عملیات کاهش غلظت فلزات سنگین در خاک را به امری طولانی مدت و موثر تبدیل کرد که این مزیت در روش های شیمیایی و فیزیکی به این دلیل که معمولاً در مدتی کوتاه انجام می گیرند، به دلیل عدم مداومت وجود ندارد و بعد از عملیات دوباره تجمیع فلزات سنگین در خاک آغاز می شود. البته این دیدگاه که گیاه مقادیری زیاد از فلزات سنگینِ در خاک را جذب کند و در نهایت خاکی عاری از آلودگی و یا آلودگی خیلی کم داشته باشیم ممکن است کمی غیر واقعی باشد و حتی برای بررسی این موضوع در یک تحقیق زمان کافی وجود ندارد، چرا که ممکن است به چندین سال زمان نیاز داشته باشد (هر چقدر فاکتور زمان بزرگتر باشد احتمالاً نتیجه هم جامع تر خواهد بود). ولی در صورتی که بتوان توسط گیاه انتخاب شده آلودگی به فلزات سنگین در خاک را تا محدوده مجاز استاندارد ها کاهش داد می تواند اهداف مطالعه را تحقق بخشد.

در این تحقیق سعی بر آن است که ابتدا آلودگی خاک اطراف کارخانه سیمان تهران به فلزات سنگین سرب، مس و روی سنجیده شود و سپس با استفاده از فنآوری گیاه پالایی که بر خلاف روش های فیزیکی و شیمیایی روشی کم هزینه و دوستدار محیط زیست است آلودگی های خاک به این فلزات کاهش یابند. گیاه انتخابی (یونجه) که در این تحقیق برای کاهش غلظت فلزات سنگین در خاک استفاده شد در برابر فلزات سنگین مقاومت نسبتاً بالایی دارد همچنین ریشه ی عمیقی داشته و از همه مهم تر سازگار با منطقه ی مورد مطالعه است. هدف اصلی در این مطالعه بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در خاک باقی مانده (خاک بعد از گیاه پالایی) است و بررسی غلظت فلزات در گیاهان هدف فرعی محسوب می شود. لازم به ذکر است که در تحقیقات کمتری به هر دو موضوع ارزیابی فلزات سنگین و *ارائه* راهکار بطور همزمان پرداخته شده است. هدف تحقیق حاضر این است که در کنار توسعه و منافع اقتصادی که کارخانه سیمان به همراه دارد راهکاری بررسی شود که آلودگی های ناشی از آن در خاک تا محدوده‌های مجاز کاهش یابد.

مروری بر مطالعات انجام شده

در زمینه بررسی سوابق تحقیق بررسی فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان و گیاه پالایی در خاک های آلوده به فلزات سنگین تاکنون تحقیقاتی صورت گرفته است که دربخش اول می‌توان به: بررسی آلودگی خاک های سطحی اطراف کارخانه سیمان قاین به فلزات سنگین سرب و کروم اشاره کرد که خاک های سطحی در ایستگاه های مختلف اطراف کارخانه برداشت شده است و نتایج این دو فلز در خاک نشان می دهد که میزان غلظت کروم و سرب در منطقه مورد مطالعه از غلظت زمینه بیشتر و در حال تجمع است (۱۲). در تحقیقی دیگر تحت عنوان بررسی تاثیر میزان فاصله از منبع آلودگی بر غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان شهرستان نکا به بررسی غلظت فلزات سنگینی همچون آلومینیوم، آهن، جیوه، مس و ... در خاک و در فواصل متفاوت از حاشیه کارخانه سیمان و بررسی میزان تاثیر کارخانه سیمان نکا بر افزایش ترسیب این عناصر و غلظت آن ها در خاک و مقایسه آن با استاندارد های جهانی پرداخته شده است و نتایج حاکی از آن بوده که غلظت فلزات اندازه گیری شده بالاتر از استاندارد های جهانی است (۱۳). در مقاله ای با عنوان بررسی غلظت فلزات سنگین (آهن، نیکل، مس، روی، سرب) در خاک کشاورزی بخش مرکزی سیستان ۱۶۰ نمونه از خاک زمین های کشاورزی بصورت تصادفی نمونه برداری شده است و مقادیر سرب، مس، روی و آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله ای و طبق روش استاندارد متد اندازه گیری شده و نتایج حاکی از آن بوده است که فلزات یاد شده کمتر از حد استاندارد سازمان جهانی بهداشت بوده است (۱۴). در زمینه استفاده از فناوری گیاه پالایی می توان به مطالعه مروری گیاه پالایی فلزات سنگین توسط گیاه آفتابگردان اشاره نمود که در آن به بررسی جذب فلزات سرب و کادمیوم پرداخته شده است و نتایج نشان می دهد که بیشتر جذب فلزات سنگین سرب و کادمیوم از طریق ریشه گیاه آفتابگردان بوده و آفتابگردان پتانسیل استخراج گیاهی مناسبی را داراست (۱۵). در یکی دیگر از مطالعات در زمینه گیاه پالایی درختان به بررسی میزان ترسیب فلزات سنگین سرب، روی، کادمیوم و منگنز در خاک و برگ

گیاهان کاشته شده حاشیه کارخانه سیمان ایلام پرداخته شده و نتایج نشان داده است که گونه های اکالیپتوس و اقاقیا ترسیب بیشتری از فلزات سنگین را داشته اند و گونه های پهن برگ مناسب تر از سوزنی برگ ها هستند (۱۶).

منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه، کارخانه سیمان تهران، اولین و قدیمی ترین کارخانه سیمان کشور است که در سال ۱۳۱۲ افتتاح شده است، این کارخانه در شهرری، جنوب شرقی تهران (فاصله ۸ کیلومتری جنوب تهران) در مجاورت و امتداد کوه های بی بی شهربانو واقع شده است. کارخانه سیمان تهران در ۱۰۷۰ متری از سطح دریا و محدوده ای بین طول های جغرافیایی"۵۱°.۳۰'.۲۵ تا "۵۱°.۳۰'.۵۰ شرقی و عرض های جغرافیایی "۳۵°.۳۴'.۳۰ تا "۳۵°.۳۴'.۳۵ شمالی قرار دارد.

کارخانه سیمان تهران از غرب به منطقه نظامی، شمال به کوه بی بی شهربانو، جنوب به روستاها و مناطق مسکونی و در شرق به زمین بایری ختم می شود که این زمین نهایتاً به جاده کمربندی دوم تهران می رسد و با توجه به این که باد غالب تهران معمولاً از غرب به شرق می وزد گزینه‌ی مناسب برای نمونه برداری، همین زمینِ واقع در شرقِ کارخانه (زمین بایر) می باشد. لازم به ذکر است در اطراف کارخانه سیمان تهران چندین روستا واقع شده است که به عنوان مثال می توان روستای معروف غنی آباد که درجنوب شرقی کارخانه و در فاصله ی تقریبی ۱/۸ کیلومتری از مرکز آن قرار دارد را نام برد.

شکل ۱- منطقه مناسب برای نمونه برداری خاک (در جهت باد غالب تهران در شرق کارخانه، زمین بایر)

Figure 1. Suitable area for soil sampling (in the direction of prevailing wind in Tehran east of the factory, barren land)

روش بررسی

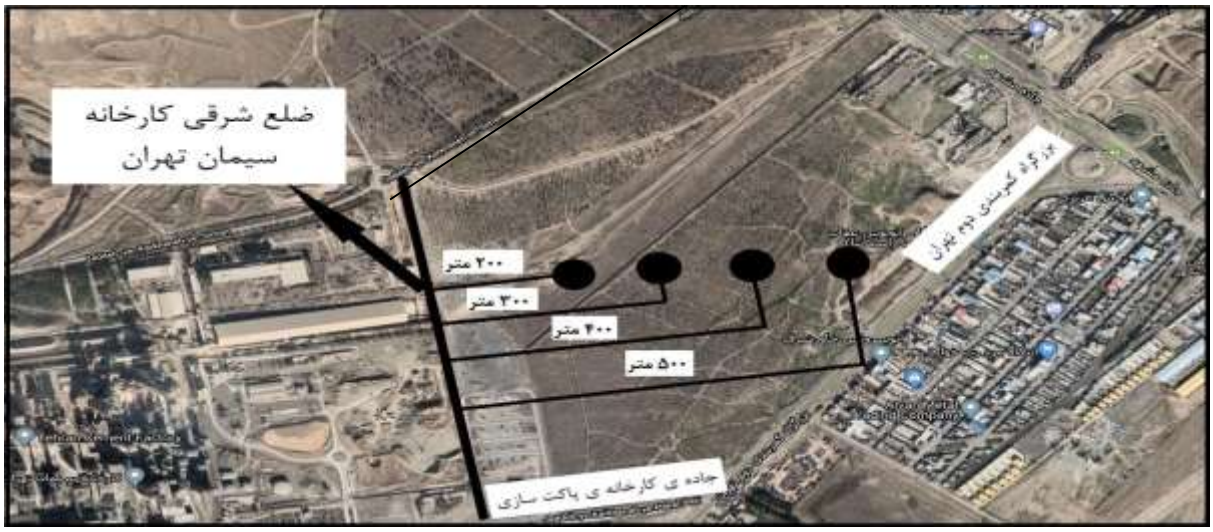
در این تحقیق برای بررسی غلظت فلزات سنگین مس، سرب و روی موجود در گرد و غبار های منتشر شده ی کارخانه سیمان تهران از نمونه های خاک در فصل تابستان سال ۱۳۹۸ استفاده شد. قبل از هر چیز با استفاده از بازدید های میدانی، محدوده مورد نظر که در شرق کارخانه قرار دارد مشخص شد. انتخاب این ناحیه ۲ دلیل دارد، دلیل اول این است که باد غالب تهران از غرب به شرق می وزد بنابراین ذرات معلق و گرد و غباری که از دودکش های کارخانه سیمان خارج می شود توسط باد غالب در شرق کارخانه رسوب و تجمع می کنند و دلیل دوم این که کارخانه از شمال به کوه های بی بی شهربانو از غرب به منطقه ی نظامی و از جنوب به جاده غنی آباد منتهی می شود بنابراین مناسب ترین گزینه زمین بایر واقع در شرق کارخانه است که مساحتی کافی برای نمونه برداری دارد. در مرحله اول فواصل نقاط نمونه برداری توسط متر چرخدار (رول فیکس) که قابلیت اندازه گیری مسافت های طولانی تا حدود ۱۰ کیلومتری را دارد اندازه گیری شد. نمونه گیری نقاط اطراف کارخانه به صورت خطی و پشت سر هم و در یک راستا انجام شد. در مرحله دوم خاک کلیه نقاط نمونه برداری یعنی ۵ نقطه که شامل ۴ نقطه در شرق کارخانه و یک نقطه شاهد در ۶ کیلومتری غرب کارخانه (جنوب تصفیه خانه فاضلاب تهران)، توسط بیلچه عاری از هر گونه آلودگی تا فاصله

۱۰ سانتی متری از سطح زمین با متر معمولی اندازه گیری گردید و برای ارزیابی غلظت فلزات سنگین سرب، روی و مس به وسیله دستگاه ICP-MASS درون کیسه های پلاستیکی با برچسب مشخصات قرار داده شدند به آزمایشگاه ارسال و ، در هر نقطه جهت اطمینان از کافی بودن نمونه ها ۳ تکرار صورت گرفت در مرحله سوم به هر نقطه یک گلدان اختصاص داده شد و میزان یک کیلوگرم از خاک مختص هر نقطه ی نمونه برداری بعد از جدا کردن درشت دانه ها و ناخالصی ها به گلدان هایی که برای این نقاط اختصاص داده شده بود منتقل شدند. دلیل کنار گذاشتن درشت دانه ها و ناخالصی ها به وسیله الک کردن (۲ میلی متری) رسیدن به خاکی نسبتاً یکنواخت برای دسترسی بهتر ریشه ها و مقایسه ی صحیح تر بین غلظت فلزات سنگینِ گیاهان و خاک قبل و بعد از گیاه پالایی است. در مرحله آخر تعداد ۱۰ عدد بذر گیاه یونجه که برای هر گلدان در نظر گرفته و از قبل خیسانده شده بود، با فواصل مناسب و مشابه در خاک مختص هر نقطه کاشته شد تا ریشه ها به تمامی نقاط خاک دسترسی داشته باشند و بتوانند بهتر در جذب فلزات سنگین نقش ایفا کنند. بعد از گذشت ۴۵ روز شرایط یکسان برای کلیه گیاهان وقتی که به رشد مناسب (حدود ۱۰ سانتی متر) رسیدند از خاک به همراه ریشه ها جدا شده و با توجه به ظرافت و ناچیز بودن اندازه گیاه در صورت تفکیک، به ریشه، ساقه و برگ تقسیم نشدند و ۱۰ عدد گیاه یونجه ی هر گلدان به شکلی واحد با در نظر گرفتن وزنی مشخص و برابر بوسیله آب شرب به طور یکسان شست و شو شده و درون کیسه های پلاستیکی با برچسب مشخصات قرار داده شدند، خاک بعد از گیاه پالایی هم به همین ترتیب به آزمایشگاه ارسال گردید بدیهی است که برای استفاده از دستگاه ICP باید نمونه های خاک و گیاه به شکل محلول در آیند و با آب مقطر به حجم رسانیده شوند تا توسط دستگاه قابل هضم باشند.

لازم به ذکر است در محل نمونه برداری برای هر نقطه از بیلچه ی جدا گانه استفاده شده به این دلیل که آلودگی از یک نقطه به نقطه ای دیگر هنگام تماس با خاک به وسیله بیلچه منتقل نشود و نتایجی دقیق تر و صحیح تر حاصل شود، ۵ نقطه وجود دارد ۵ بیلچه هم استفاده شد، هم چنین در کلیه مراحل نمونه برداری سعی شد تمامی وسایل و تجهیزات از هر گونه آلودگی به دور باشند.

نقاط (ایستگاه های) نمونه برداری:

برای این تحقیق در کل ۵ ایستگاه (نقطه) انتخاب شد، ۴ ایستگاه در شرق کارخانه (در یک راستا و پشت سر یکدیگر) که اولین ایستگاه در فاصله ۲۰۰ متری از ضلع شرقی کارخانه واقع شده و ایستگاه های بعدی در فواصل ۱۰۰ متری نسبت به هم قرار دارند، بنابراین ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ متری از ضلع شرقی کارخانه نقاط بعدی هستند. دلیل انتخاب فواصل ۱۰۰ متری بین نقاط شرقی کارخانه این است که فواصل نه کوتاه هستند که نتایج غلظت فلزات نزدیک به هم باشند و نه خیلی بلند است که از کارخانه (منبع آلودگی) فاصله زیاد شود و این شبهه به وجود آید که آلودگی منبع دیگری دارد و از طرفی تمامی نقاط در محوطه ی زمین مد نظر که در شرق کارخانه و در جهت باد غالب تهران که غرب به شرق می وزد گنجانده شوند، در صورتی که فواصل نقاط نسبت به یکدیگر بیش از حد مشخصی باشد ممکن است با جاده تقاطع ایجاد شود و به طور مثال آلودگی ناشی از تایر خودروها یا گرد و غبار حاصل از ماشین آلات مربوط به حمل سیمان بر روی نتایج تاثیر منفی بگذارند، فاصله نقطه پایانی (۵۰۰ متری از ضلع شرقی کارخانه) تا جاده کمربندی دوم تهران در حدود ۳۰۰ متر می باشد که فاصله مناسبی است. در آخر یک نقطه ی شاهد در فاصله ی ۶ کیلومتری غرب کارخانه که تا کنون فعالیت های انسانی در آن انجام نشده واقع در جنوب تصفیه خانه ی فاضلاب تهران (زمینی وسیع)، به عنوان نقطه ای عاری از آلودگی برداشت شد، در واقع این نقطه معیاری برای قیاس و سنجش با نقاط نمونه برداری آلوده ضلع شرقی کارخانه سیمان تهران است.



شکل ۲- نقاط نمونه برداری خاک در جهت باد غالب تهران در شرق کارخانه و در فواصل ۱۰۰ متری از یکدیگر واقع در زمین بایر

Figure 2. Soil sampling points in the direction of the prevailing wind of Tehran in the east of the factory and at a distance of 100 meters from each other Located in barren land

مراحل کار در آزمایشگاه

ابتدا نمونه ها در دمای ۱۰۰ درجه درآون خشک و سپس توسط چکش پلاستیکی خورد و از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند، سپس داخل ظرف های تفلنی ریخته شده و هیدروفلوئوریک اسید (HF) و اسید هیدروکلریک (HCL) و اسید نیتریک (HNO3) اضافه و حل شدند و هضم شیمیایی انجام شد، سپس توسط آب مقطّر به حجم رسانده شدند و نمونه ها توسط دستگاه ICP-MASS آنالیز شدند، هم چنین مدل دستگاه استفاده شده در آزمایشگاه عبارت است از:Varian AA 240 FS به نمونه های گیاهی هم هیدروفلوئوریک اسید و اسید نیتریک و اسید هیدروکلوریک اضافه و حل شدند و هضم شیمیایی صورت گرفت. سپس توسط آب مقطّر به حجم رسانیده شدند و توسط دستگاه ICP-MASS آنالیز صورت گرفت. با توجه به این موضوع که هدف در این تحقیق مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک بین نمونه قبل و بعد از گیاه پالایی است، بنابراین شرایط یکسان آزمایشگاهی نیاز است، بدین صورت که نمونه خاک های قبل از گیاه پالایی در کیسه های درب بسته در آزمایشگاه نگه داری شدند سپس زمان داده شد که گیاهان رشد کنند و بعد از برچیدن با نمونه های خاک (بعد از گیاه پالایی) به آزمایشگاه ارسال شدند و همزمان با نمونه های خاک قبل از گیاه پالایی ارزیابی گردیدند در غیر این صورت اگر خاک ها جدا گانه آزمایش می شدند، ممکن بود به سبب شرایط متفاوت آزمایشگاه و کالیبراسیون متفاوت دستگاه در دو زمان قیاس صحیح نباشد. لازم به ذکر است تمامی آزمایش ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت ٪۳۰ انجام شدند.

یافته ها

یافته ها در این تحقیق به ۳ قسمت دسته بندی می شوند : ابتدا ارزیابی غلظت فلزات سنگین خاک نقاط نمونه برداری، بعد از آن بررسی غلظت فلزات سنگین در گیاهان و در نهایت ارزیابی غلظت فلزات سنگین در خاک باقی مانده یا خاک بعد از گیاه پالایی.

جدول ۱- مقادیر نتایج غلظت فلزات سنگین خاک قبل و بعد از گیاه پالایی و گیاهان (میلی گرم بر کیلوگرم)

Table 1. Results values of soil heavy metal concentrations before and after phytoremediation and plants (mg/kg)

نقاط نمونه برداری (فاصله تا ضلع شرقی)	فلزات سنگین	غلظت خاک قبل از گیاه پالایی	غلظت خاک بعد از گیاه پالایی	غلظت فلزات سنگین در گیاهان
۲۰۰ متری (نقطه اول)	سرب	۴۶۶	۳۳۷	۱۲۸
	روی	۱۹۳	۱۱۸	۷۵
	مس	۶۸	۴۹	۱۹
۳۰۰ متری (نقطه دوم)	سرب	۴۲۶	۲۹۸	۱۲۶
	روی	۱۸۲	۱۱۳	۶۹
	مس	۶۷	۴۸	۱۷
۴۰۰ متری (نقطه سوم)	سرب	۴۱۶	۲۹۶	۱۱۸
	روی	۱۶۲	۱۰۷	۵۵
	مس	۶۴	۴۶	۱۵
۵۰۰ متری (نقطه چهارم)	سرب	۳۵۰	۲۶۱	۸۹
	روی	۱۴۰	۹۲	۴۸
	مس	۶۲	۴۳	۱۲
نقطه شاهد	سرب	۴۶	۲۷	۱۷
	روی	۸۰	۶۲	۱۳
	مس	۴۴	۳۰	۷

نتایج غلظت فلزات سنگین خاک نقاط نمونه برداری (خاک قبل از گیاه پالایی):

- نتایج نشان می دهد غلظت سرب در ایستگاه اول یعنی۲۰۰ متری بیش از ۱۰ برابرنقطه شاهد (نقطه دور از آلودگی) است و با افزایش فاصله از کارخانه غلظت سرب در خاک نقاط نمونه برداری مانند دیگر فلزات سنگین کاملاً روند کاهشی دارد.
- غلظت فلز سرب در کلیه نقاط نمونه برداری بیش از ۳۰۰(mg/kg) و طبق استاندارد اروپا نسخه ۲۰۰۲ آلوده است.
- در بین عناصر مورد مطالعه درخاک غلظت فلز سرب بیشترین میزان را نسبت به دیگر فلزات دارد. در کلیه ایستگاه های خاک نقاط نمونه برداری از حد مجاز برای سلامتی در اکثر استاندارد ها بیشتر است. همچنین فلز سرب بیشترین اختلاف را با میانگین جهانی دارد واین موضوع در تمامی نقاط به چشم می خورد، بنابراین می توان گفت که خاک نقاط نمونه برداری اطراف کارخانه آلوده به فلزسرب است.
- نتایج نشان می دهد که غلظت اکثر عناصر در ایستگاه اول (۲۰۰ متری از کارخانه) بیشترین میزان را داشته همچنین با فاصله گرفتن از حاشیه کارخانه از غلظت فلزات سنگین کاسته می شود و غلظت فلزات درکلیه نقاط نمونه برداری بیشتر از نقطه نمونه شاهد است.
- در استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست خاک های کشاورزی و مسکونی (بخش خاک اسیدی(PH<7)) غلظت فلز سرب در کلیه نقاط نمونه برداری آلودگی و اختلاف زیادی دارد و بیشتر از ۵۰mg/kg است.

- طبق ا ستاندارد سازمان جهانی بهدا شت (WHO) غلظت فلز سرب در کلیه ی ایستگاه های نقاطِ نمونه برداری بی شتر از آلودگی شدید، (بی شتر از mg/kg ۱۳۰) می باشـــد، غلظت فلز روی در کلیه‌ی نقاط نمونه برداری در محدوده ی آلودگی متوسط، (بیشتر از ۱۲۰mg/kg و کمتر از ۲۹۰mg/kg) قرار دارد و غلظت فلز مس هم در همه نقاط بیش از آلودگی کم قرار دارد. لازم به ذکر اسـت PH خاک کلیه ی نقاط نمونه برداری در آزمایشـگاه ارزیابی شـد و نتیجه آن در خـاک تمـامی نقـاط کوچکتر از ppm ۷ و در محدوده ی خاک های اسیدی قرار دارد.

جدول ۲-مقادیر استاندارد آلایندگی سازمان حفاظت محیط زیست برای خاک های اسیدی بخش کشاورزی و مسکونی (میلی گرم بر کیلوگرم)

Table 2. Standard values of pollution of iran Department of Environment in acidic soils of agricultural and residential sectors (mg/kg)

سرب	روی	مس
۵۰	۲۰۰	۱۰۰

منبع: استاندارد های آلودگی خاک و منابع آن (سازمان حفاظت محیط زیست)

جدول ۳- استاندارد WHO برای غلظت فلزات سنگین خاک (میلی گرم بر کیلوگرم) (۱۷ و ۱۴)

Table 3. WHO standard for heavy metal concentrations in soil

فلزات سنگین	آلودگی شدید	آلودگی متوسط	آلودگی کم
سرب	۱۳۰	۸۳	۳۶
روی	۴۶۰	۲۹۰	۱۲۰
مس	-	-	۳۵

نتایج غلظت فلزات سنگین در گیاهان:

- نتایج غلظت فلزات سنگین در گیاهان جذب مناسب فلزات سنگین توسط گیاه یونجه و پتانسیل استخراج مناسب آن را نشان می دهد.
- گیاهان کاشته شده در خاک نقاط نمونه برداری هم یک روند تقریبی کاهش غلظت فلزات سنگین با افزایش فاصله از کارخانه دارند.
- غلظت فلز سرب جذب شده در گیاهان اختلاف زیادی با استاندارد سازمان جهانی بهداشت دارد. سرب جزو فلزاتی است که دارای کارکرد زیستی مشخصی نمی باشد و از پتانسیل ایجاد مسمومیت برای گیاهان و سایر موجودات زنده دارد(۵).
- اعداد مربوط به غلظت فلز روی در گیاهان حکایت ازجذب بهتر این فلز توسط گیاه یونجه نسبت به فلزات سرب و مس در این تحقیق دارد.
- بدیهی است که غلظت فلزات سنگین گیاهان کاشته شده در گلدان نقطه شاهد تبعاً از گیاهان کاشته شده در خاک نقاط نمونه برداری اطراف کارخانه کمتر است به دلیل این که در خاک فاقد آلودگی (دور از فعالیت های انسانی) رشد کردند.

جدول۴-استاندارد سازمان جهانی بهداشت برای غلظت فلزات سنگین در گیاهان (میلی گرم بر کیلوگرم)(۱۸)

Table 4. WHO Standard for Heavy Metal Concentrations in Plants (mg/kg)

سرب	روی	مس
۵	۶۰	۴۰

*WHO/FAO 2007

- در استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) غلظت مجاز روی برای گیاهان عدد ۶۰ mg/kg می باشد بنابراین گیاهان کاشته شده در خاک ایستگاه اول و دوم آلودگی به فلز روی دارند.
- در استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) غلظت مجاز سرب برای گیاهان ۵ mg/kg است که این عدد پایینی است و طبیعی است به این دلیل که فلز خطرناک و غیر ضروری برای موجودات زنده است و دلیلی برای وجود آن در گیاه وجود ندارد، بنابراین گیاهان در کلیه نقاط شدیداً آلوده به فلز سرب هستند.
- در استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) غلظت مجاز برای فلز مس ۴۰ mg/kg است که غلظت فلز مس در تمامی گیاهان کاشته شده در گلدان ها پایین تر از ۴۰mg/kg است بنابراین آلودگی به فلز مس در گیاهان کاشته شده در گلدان های مختص نقاط نمونه برداری وجود ندارد.

در نتایج گیاهان دیده می شود که گاهی در برخی از نقاط بین غلظت جذب شده توسط گیاه و خاک بعد از گیاه پالایی چند میلی گرم بر کیلوگرم اختلاف اندکی و جود دارد که این طبیعی است و می تواند به علت خطا در آزمایشگاه یا در جذب ناقص توسط گیاهان باشد.

نتایج غلظت فلزات سنگین خاک بعد از گیاه پالایی (خاک بعد از جدا شدن گیاهان):

- نتایج غلظت فلز سرب در خاک بعد از گیاه پالایی از ایستگاه دوم، ۲۰۰ متری به بعد به عدد زیر ۳۰۰mg/kg رسید و طبق استاندارد اروپا نسخه ۲۰۰۲ این نقاط در محدوده مجاز می باشند که گام مهمی است، هم چنین غلظت فلز روی هم در خاک باقی مانده کاهش چشمگیری داشته است بطوریکه طبق استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) به زیر محدوده آلودگی کم (۱۲۰mg/kg) رسید.
- ارزیابی غلظت فلزات سنگین نقطه شاهد مربوط به خاک بعد از گیاه پالایی در بررسی و مقایسه نتایج اثر خالص گیاهان موثر است و غلظت فلزات سنگین گیاهان در نقطه شاهد به عنوان معیاری پاک جهت سنجش و قیاس آلودگی این نقطه با گیاهان کاشته شده در نقاط اطراف کارخانه می باشد.
- می توان گفت خاک بعد از گیاه پالایی هم مانند خاک قبل از گیاه پالایی (خاک نقاط نمونه برداری) از یک روند مشابه کاهش غلظت فلزات سنگین با افزایش فاصله از کارخانه برخوردار است.

جدول ۵- استاندارد اروپا فلزات سنگین سرب، روی و مس در خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)(۱۹)

Table 5. European standard Heavy metals lead, zinc and copper in soil (mg/kg)

استاندارد	فلز سرب	فلز مس	فلز روی
اروپا (۲۰۰۲)	۳۰۰	۱۴۰	۳۰۰

*EU 2002

جدول ۶- جدول مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک قبل و بعد از گیاه پالایی (میلی گرم بر کیلوگرم)

Table 6. Comparison table of average concentrations of heavy metals in soil before and after phytoremediation (mg/kg)

فلزات سنگین	میانگین غلظت نمونه های خاک قبل از گیاه پالایی	میانگین غلظت نمونه های خاک بعد از گیاه پالایی	مقدار غلظت کاهش یافته
سرب	۴۱۵	۲۹۸	۱۱۷
روی	۱۷۰	۱۰۷,۵	۶۲,۵
مس	۶۵	۴۶,۵	۱۸,۵

بحث و نتیجه گیری

مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعات مشابه نشان می دهد که در خاک نقاط نمونه برداری کارخانه سیمان تهران مانند اغلب کارخانجات دیگر سیمان، غلظت فلزات سنگین بررسی شده بیش از حد مجاز است و با افزایش فاصله از کارخانه از غلظت فلزات سنگین کاسته می شود که این موارد را در بخش مروری بر مطالعات انجام شده می توان دید. نتایج در بخش گیاه پالایی حاکی از آن است که یونجه پتانسیل استخراج گیاهی مناسبی را مانند گیاه آفتابگردان داراست. کاهش غلظت فلزات سنگین در خاک پس از گیاه پالایی نشان از کار آمد بودن این فنآوری و جذب مناسب آن توسط گیاه یونجه دارد که با سنجیدن با استاندارد هایی مانند سازمان جهانی بهداشت و اروپا می توان به تأثیر این روش (روش گیاه پالایی) پی برد.

در این تحقیق از روش استخراج توسط گیاه (Phyto-xtraction) استفاده شده است. در این روش آلاینده توسط ریشه گیاه جذب شده و سپس به اندام فوقانی انتقال داده می شود و با برچیده شدن گیاه آلاینده نیز حذف می شود. فرآیند گیاه پالایی بسته به پارامتر ها و شرایط متفاوت نتایج متفاوتی را در بر خواهد داشت چند مورد از این عوامل عبارتند از:

- نوع و پتانسیل جذب گیاه: بدیهی است هر چقدر گیاه ریشه بلندتری داشته باشد به افق های بیشتری از خاک دسترسی وجود دارد و هم چنین برخی از گیاهان پتانسیل جذب مناسب تری نسبت به برخی دیگر دارند.
- سازگاری گیاه انتخابی با آب و هوای منطقه: هر چقدر گیاه انتخابی با آب و هوا سازگارتر باشد رشد گیاه، عملیات جذب و استخراج مناسب تر است، به عنوان مثال در منطقه معتدل و خشک شهرری بهتر است از گیاهانی استفاده شود که نیاز به آب کمتری دارند.
- جنس، درشت دانه و ریز دانه بودن خاک: جنس خاک و چسبندگی خاک از عواملی است که بر روی رشد ریشه و سپس جذب فلزات سنگین در خاک اثر دارد و هر چقدر خاک درشت دانه تر بوده و ناخالصی بیشتری داشته باشد عملیات جذب دشوارتر صورت می گیرد.
- طول عمر گیاه: بدیهی است هر چقدر عمر گیاه بیشتر باشد این فرآیند به صرفه تر است به عنوان مثال گیاه یونجه را می توان چندین بار هرس کرد و توانایی رشد دوباره را دارد.

در این مطالعه مقادیر غلظت فلزات سنگین سرب، مس و روی در ۴ نقطه ی شرق کارخانه ارزیابی شد و با نقطه شاهد واقع در فاصله ی ۶ کیلومتری در غرب کارخانه مقایسه گردید. مقادیر غلظت فلزات سنگین بخصوص فلز سرب در نمونه های خاک اطراف کارخانه، نشانه ی آلودگی خاک شرق کارخانه سیمان تهران به فلزات سنگین است که می تواند اثرات منفی بر روی محیط و سلامت ساکنان نواحی روستایی اطراف کارخانه داشته باشد و با توجه به این که در محله مشیریه منازل مسکونی نزدیک به کارخانه سیمان تهران قرار دارند، بنابراین کارخانه باید اقدامات احتیاطی مانند استفاده و نصب فیلترهای جدید را به کار گیرد و سعی شود مراکز صنعتی آینده دور از نواحی مسکونی ساخته شوند و بالعکس و طبق ضوابط ۳/۵ کیلومتر فاصله بین این دو حفظ شود.

اگرچه فنآوری گیاه پالایی برای جذب توسط گیاه و کاهش غلظت فلزات سنگین در خاک کاربردی و مختص به بعد از انتشار ذرات گرد و غبار است و زمانی از آن استفاده می شود که غلظت فلزات سنگین در خاک از حد انتظارات بیشتر و یا در حال تجمع و افزایش است، لکن پیشگیری مقدم بر درمان است. تعدادی از استراتژی ها به منظور رفع اثرات قرارگیری در معرض گرد و غبار سیمان پیشنهاد شده است. این روش ها شامل استفاده از فیلتر-های کارآمد گرد و غبار، جمع کننده گرد و غبارو کاشت درختان است(۱) و می توان با انواع فیلتر ها که طیف بزرگی دارند و برای غبارگیری گازهای خروجی از کوره مواد خام کارخانجات سیمان استفاده می شوند مانند فیلتر کیسه ای (Bag house)، فیلتر الکتریکی (Electrostatic Precipitator ESP)و فیلتر هیبرید (Hybrid Filter) پخش ذرات گرد و غبار را در همان مراحل اولیه و قبل از خروج به حداقل رساند. کارخانه سیمان تهران در سال های اخیر گام های مناسبی را در جهت کاهش انتشار ذرات معلق برداشته، به عنوان مثال می توان به نصب فیلترهای به روز تر اشاره کرد. در همین باره با یکی از ساکنان منطقه افسریه گفت وگویی انجام شد که وی اذعان داشت: در گذشته به سبب انتشار ذرات معلق حاصل از کارخانه رخت و لباس هایمان بعد از پهن کردن در فضای بیرون از منزل (به اصطلاح وی) مانند چوب خشک می‌شد ولی اکنون این موضوع را شاهد نیستیم، بنابراین این مطالعه امیدوار است در کنار اشتغال و توسعه ی اقتصادی این کارخانه روز به روز گام های بهتری را در جهت حفظ محیط زیست بردارد. در نهایت می توان این طور بیان کرد که صنعت سیمان نقش به سزایی در بالا بردن غلظت فلزات سنگینی مانند سرب، روی، مس و... در خاک اطراف کارخانه دارد. بحث درباره افزایش بیش از حد غلظت فلزات سنگین در خاکِ اطراف کارخانه های زیادی در دنیا به اثبات رسیده است که معمولاً با فاصله گرفتن از کارخانه از غلظت آن‌ها کاسته می شود و راهکارهایی مانند گیاه پالایی (روشی نوین) یا روش های شیمیایی و فیزیکی که سرعت عمل بیشتری دارند ولی هزینه بر هستند وجود دارد که بکار گرفته می شود و می‌توان این آلودگی ها را تا محدوده مجاز استانداردها کاهش داد و کنترل کرد.

References

1. Yahaya T., Okpuzor J. and 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.
2. Akbarpour saraskanroud, F., Sadri, F., Golalizadeh., D., Phytoremediation of heavy metal (Lead, Zinc and Cadmium) polluted soils by Arasbaran protected area native plants. Vol. 1, No. 4, Summer 2012. (In Persian)
3. Bin Chen, T., Ming Zheng, Y. Lei, M., Chun Huang, Z., Tao Wu, H., Chen, H., Ke Fan, K., Yu, K., Wu, X., ZhengTian, Q., 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. Chemosphere 60; 542-551.
4. Banat, K.M., Howari, F.M., Al-Hamad, A.A., 2005. Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks. Environmental Research 97, 258-273.
5. Chen, T.B., Wong, W.J.C., Zhou, H.Y., Wong, M.H., 1997. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soil of Hong Kong. Environmental Pollution 96; 61-68.
6. Chen, T.B., Ming Zheng, Y. Lei, M., Chun Huang, Z., Tao Wu, H., Chen, H., Ke Fan, K., Yu, K., Wu, X., ZhengTian, Q., 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. Chemosphere 60; 542-551.
7. Teker M, Imamoglu M, Saltabas O. Adsorption of copper and cadmium

ions by activated carbon from rice hulls. Turk J Chem 1999; 23(2): 185-91.

8. Rezaei Kahkha M.R, Keykhaii M, Rezaie H, et al. Assessment of heavy metal concentratioins in soil and plants irrigated with urban sewage. Rostamineh 2011; 3(2): 19-26. (In Persian)
9. Schuhmacher M.B., Nadal M. and Domingo, J.L. (2009). Environmental monitoring of PCDD/Fs and metals in the vicinity of a cement plant after using sewage sludge as a secondary fuel. Chemosphere, 74, 1502–1508.
10. Akinola M. o., Okwok N. A. and Yahya T. (2008). The effects of cement dust on Albino Rats (Rattus norveficus) around West African Portland cement factory in Sagamu Ogun State, Nigeria. Environ. Toxicol., 2(1), 1-8.
11. Kamari A, Farshad Far M (2012) New technology of phytoremediation to create a sustainable environment. Bio-safety journal, (2): 5. (In Persian)
12. Sayadi M. H., Rezaei M. R. and Hajiani M. (2018). Investigation of surface soil contamination by lead and chromium around the Qayen cement factory. J. Environ. Water Eng., 3(4), 312 – 322. (In Persian)
13. Mollashahi .M, Darivasi.S, Saeb.K.,2016, Effects of Distance from Pollutant Sources on Heavy Metal Concentrations around Neka cement Factory Soil. J. Env. Sci. Tech., Vol 17, No.4, winter 2016. (In Persian)
14. Javan Siamardi. S, Rezaei Kahkha M. R, Safaei Moghaddam. A, Noori.R . Survey of Heavy Metals Concentration (Fe, Ni, Cu, Zn, Pb) in Farmland Soils of Sistan Central Part., jehe 2014, 2(1): 46-53. (In Persian)
15. A.Neisi, M. Vosoughi, M.J. Mohammadi, B. Mohammadi, A Naeimabadi, Phytoremediation of by Helianthus plant, Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Number 2،Volume 2،2014, Online ISSN: 2716-9669. (In Persian)
16. Panah a, Karamshahi A, Mirzaei J, Darabi M. Phytoremediation of Cd, Zn, Pb and Mn in leaf of nine trees species around the cement factory (phy-toremediation of heavy metals in trees species). Iranian Journal of Research in Environmental Health. Autumn 2016; 2 (3) : 212-220. (In Persian)
17. MacDonald DD, Ingersoll CG, Berger T. Development andevaluation of consensus-based sediment quality guidelinesfor freshwater ecosystems. Arch Environ Contam Toxicol 2000; 39(1):20-31.
18. Anita S, Rajesh KS, Madhoolika, A, Fiona MM (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India; Tropical Ecology 51(2S): Int. Soc. Trop. Ecol. Pp.375-387
19. European Union. Heavy metals in wastes. European commission on environ-ment.http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/heavy metalsreport.pdf (2002)11.B.J.