

Sequestration of heavy metals in the soil and leaves of *Eucalyptus Micro theca*, *Cupressus arizonica* and *Robinia Pseudo Acasia* around Ilam city's cement plant

Amin panah¹, Abdolali Karamshahi^{*2}, Javad Mirzaei³, mehdi heydari²

1- MSc Student, Department of Forest Science, School of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2- Assistant Professor, Department of Forest Science, School of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

3- Associated Professor, Department of Forest Science, School of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Abstract

Background and Aims: Phytoremediation of heavy metals from polluted sites could be an efficient and cost-effective alternative in removing heavy metals from soil. This study aimed to investigate the sequestration of Cd, Zn, Pb and Mn in the leaves and soil of *Eucalyptus Micro theca*, *Cupressus arizonica* Green and *Robinia Pseudo Acasia*, which have been planted around the Cement factory of Ilam.

Materials and methods: Atomic absorption spectrometry was used to measure the accumulation of metals in leaves and in the soil at a depth of 0-10 and 10-20 cm in three species as well. Furthermore, the amounts of precipitated metals in Electro filter of factory were measured.

Results: The results showed that Cd (0.55 mg/kg), Zn (3.92 mg/kg), Pb (40.25 mg/kg) and Mn (3.74 mg/kg) sequestration occurred in electro filter; which were totally more than the amounts of them in soils and leaves of tree species. Results of metals sequestration in the soil revealed that increasing soil depth leads to decrease of Pb sequestration rate in all three species. The most sequestration of Cd and Zn both in the soil and leaves were observed in *Robinia Pseudo Acasia*. Likewise, the most sequestration of Pb and Mn in the soil at both depth and also in leaves were observed in *Eucalyptus microtheca*.

Conclusion: *Eucalyptus microtheca* and *Robinia Pseudo Acasia* demonstrated the most sequestration of heavy metals, and thus are suitable species for planting and green space development around the factory.

Keywords: *Eucalyptus microtheca*, *Cupressus arizonica*, *Robinia Pseudo Acasia*, heavy metals, soil

*Corresponding Author: Department of forest science, School of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Email: karamshahi64@yahoo.com

Received: 1 Feb 2017

Accepted: 19 Aug 2017

بررسی ترسیب فلزات سنگین در خاک و برگ درختان اکالیپتوس، سروسیمین و افاقیا در حاشیه کارخانه سیمان شهر ایلام

امین پناه^۱، عبدالعلی کرشاهی^{۲*}، جواد میرزایی^۳، مهدی حیدری^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- استادیار، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۳- دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

چکیده

زمینه و اهداف: گیاه پالایی فلزات سنگین از مکان‌های آلوده می‌تواند در خروج فلزات سنگین از خاک بدون صرف هزینه‌های زیاد مؤثر باشد. هدف از انجام این مطالعه، بررسی میزان ترسیب کادمیوم، روی، سرب و منگنز در برگ و خاک گونه‌های اکالیپتوس، سروسیمین و افاقیا می‌باشد که در حاشیه کارخانه سیمان ایلام کاشت شده‌اند.

مواد و روش‌ها: میزان فلزات در برگ و همچنین در دو عمق ۱۰-۲۰ و ۱۰-۲۰ سانتیمتری خاک در ۳ گونه مورد بررسی، توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، میزان فلزات ترسیب شده در الکتروفیلتر کارخانه نیز اندازه‌گیری شد. تمام مراحل این تحقیق با رعایت موازین اخلاقی و پژوهشی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کادمیوم، روی، سرب و منگنز ترسیب شده در کیلوگرم خاک جذب شده در الکتروفیلتر به ترتیب ۰/۵۵، ۳/۹۲، ۴۰/۲۵ و ۳/۷۴ میلی‌گرم می‌باشد و غلظت تمامی فلزات ترسیب شده در الکتروفیلتر بیشتر از میزان ترسیب این عناصر در خاک و برگ گونه‌های مورد بررسی است. نتایج ترسیب فلزات در خاک به گونه‌ای بود که در هر ۳ گونه با افزایش عمق خاک میزان ترسیب سرب کاهش یافته است. بیشترین میزان ترسیب کادمیوم و روی هم در خاک و هم در برگ در گونه افاقیا مشاهده شد، بیشترین ترسیب سرب و منگنز در خاک در هر دو عمق و همچنین در برگ، در گونه اکالیپتوس مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: گونه‌های اکالیپتوس و افاقیا ترسیب بیشتری از فلزات سنگین داشتند و گونه‌هایی مناسب جهت کاشت و توسعه فضای سبز در حاشیه کارخانه می‌باشند.

کلید واژه‌ها: اکالیپتوس، سروسیمین، افاقیا، فلزات سنگین، خاک

*نویسنده مسئول: ایران، ایلام، دانشگاه ایلام، دانشکده کشاورزی، گروه علوم جنگل.

مقدمه

تأسیس کارخانه‌های سیمان که با بهره‌گیری از سرمایه‌گذاری‌های کلان انجام می‌گیرد، معمولاً با اشتغالزایی و جوانب اقتصادی دیگر همراه است. اما در راستای این منافع اقتصادی، آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از کارخانه‌های سیمان اجتناب‌ناپذیر است. مواد آلوده کننده ناشی از کارخانه سیمان به طور عمده شامل گرد و غبار متصاعد شده و فلزات سنگین آزاد شده می‌باشد [۱]. مهمترین اثر سوء کارخانه‌های سیمان بر محیط اطرافش، انتشار گرد و غبار و گازهای آلاینده است. در واقع کارخانه‌های سیمان، ابتدا هوا را آلوده کرده و سپس این آلودگی از طریق هوا رسوب و به خاک منتقل شده و در مراحل بعدی حتی می‌تواند به پیکره گیاهان، جانوران و در نهایت انسانها وارد شود [۲]. گونه‌های گیاهی در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین، می‌توانند بخشی از این فلزات را جذب کنند و به این طریق تا حدی از آلودگی محیط بکاهند که به این پدیده گیاه پالایی گفته می‌شود [۳]. برخی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب و انباشت مقادیر زیادی از فلزات سنگین را دارند، بدون این که آثار سمی برای آنها ایجاد نماید به این گونه‌ها، ابرناشنگر گفته می‌شود [۴]. برای انتخاب یک گیاه برای هدف گیاه‌پالایی خاک باید عوامل زیر را در نظر گرفت: ۱- قدرت جذب زیاد ۲- تولید زیست توده بالا ۳- انتقال زیاد عنصر از ریشه به ساقه [۵].

برخی از گونه‌های گیاهی به عنوان گیاهان ابرناشنگر تا حدود زیادی می‌توانند فلزات سنگین را از محیط جذب کنند، بدون اینکه خودشان دچار آسیب جدی شوند، در حالی که بعضی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب پایین‌تری داشته و ممکن است در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین در اثر مسمومیت آسیب‌دیده و از بین بروند [۶]. بنابراین در مناطق آلوده صنعتی بایستی انتخاب پوشش گیاهی در جهت حذف و یا کاهش آلودگی و استفاده از تکنیک گیاه پالایی حداکثر دقت را به عمل آورد. مطالعات بسیاری در زمینه ترسیب فلزات سنگین انجام شده است. رفعتی و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی که با هدف سنجش توانایی گونه‌های توت سفید و سپیدار در تثبیت و برداشت فلزات سنگین انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که سپیدار گونه‌ای مقاوم به کادمیوم و نیکل و همچنین توت سفید مقاوم به فلز نیکل هستند [۷]. بایکو و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیق خود که در ترکیه انجام دادند غلظت فلزات سرب، روی، کادمیوم و نیکل در برگ هفت گونه درختی اندازه‌گیری کردند و بالاترین مقدار انباشت کادمیوم و روی در صنوبر، سرب در شاه بلوط هندی و افاقیا، نیکل در افاقیا و زبان گنجشک گزارش کردند [۶]. پارسافر و معروفی (۲۰۱۳) در مطالعه خود که به منظور بررسی فلزات سنگین خاک بود به این نتیجه رسیدند که بین دو عمق مورد نظر در سطح پنج

درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد و بیشترین غلظت عناصر سنگین در عمق ۱۰ - ۰ سانتیمتری خاک مشاهده گردید [۸]. علاوه بر این استرک و ریچر (۱۹۹۹) در مطالعه خود گزارش کردند که حرکت عناصر سنگین در خاک بسیار کند بوده، به طوری که بیش از ۹۰ درصد تجمع غلظت عناصر سنگین نیکل، روی، کادمیوم و سرب در عمق ۱۰ - ۰ سانتیمتری خاک دیده می‌شود [۹]. کنشلو و اقتصادی (۲۰۱۰) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که میزان کادمیم در خاک گونه‌های مختلف با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشت و بیشترین مقدار در زیر تاج گونه‌های اکالیپتوس کامالدولنسیس و شیشم تجمع پیدا کرد [۱۰]. صالحی و همکاران (۲۰۰۸)، در مطالعه خود به منظور بررسی میزان عناصر سنگین نیکل، سرب و کادمیوم، روی و مس در خاک و برگ افاقیا، به این نتیجه رسیدند که غلظت تمام عناصر ذکر شده با افزایش عمق کاهش می‌یابد و بیان کردند، بیشترین غلظت در لایه سطحی می‌باشد [۱۱]. نتایج مطالعه‌ای توسط صادقی و خراسانی در سال (۲۰۱۱) در اطراف کارخانه سیمان آبیگ حاکی از مقاومت بالای دو گونه مقاوم ورک و درمنه در شرایط خاص منطقه بود و در نهایت این دو گونه به‌عنوان گونه‌های مقاوم جهت کاشت در فضای اطراف کارخانه در منطقه پیشنهاد شدند [۱۲].

قابلیت و توانایی انباشت فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی مختلف می‌تواند متفاوت باشد که این پدیده احتمالاً به صفات فیزیولوژیک گونه‌ها مربوط می‌باشد، به طوری که برخی از گونه‌های گیاهی به‌عنوان گیاهان سوپرجاذب تا حد زیادی می‌توانند فلزات سنگین را از محیط جذب کنند؛ بدون اینکه خودشان دچار آسیب جدی شوند، در حالی که بعضی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب پایین‌تری داشته و ممکن است در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین در اثر مسمومیت آسیب دیده و از بین بروند [۱۳]. بنابراین بایستی در محیط‌های آلوده از گونه‌های درختی بسیار مقاوم به آلاینده‌ها استفاده کرد تا بتوان مقداری از آلاینده‌ها را توسط این درختان جذب و از انتشار آلاینده‌ها به محیط اطراف تا حدودی جلوگیری به عمل آورد.

هدف از انجام این تحقیق مقایسه میزان کادمیوم (Cd)، روی (Zn)، سرب (Pb) و منگنز (Mn) در خاک و برگ گونه‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus microtheca*)، سروسیمین (*Cupressus arizonicagreen*) و افاقیا (*Robinia pseudoacacia*) است که در اطراف کارخانه سیمان ایلام کاشته شده‌اند و همچنین مقایسه میزان ترسیب فلزات سنگین در خاک و برگ این گونه‌های مورد مطالعه با مقدار فلزات سنگین ترسیب‌شده در الکتروفیلتر کارخانه بود. در واقع فلزاتی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت، از مهمترین فلزات سنگین هستند که با ورود بیش از حد این آنها به محیط زیست باعث بروز مشکلات زیادی برای پوشش گیاهی، جانوری و به ویژه سلامت جامعه انسانی اطراف کارخانه می‌شوند.

برای اندازه‌گیری عناصر سنگین ابتدا از نمونه‌های خاک عصاره گرفته شد که برای این کار ۱۰ گرم از نمونه خاک را در ارلن ریخته و سپس ۲۰ میلی‌لیتر محلول دی‌تترا فسفریک اسید به نمونه‌ها اضافه شد. ارلن‌ها توسط شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت ۲ ساعت تکان داده شدند. در انتها محتویات از کاغذ صافی عبور داده شده و به وسیله دستگاه جذب اتمیک (مدل novAA-P400) میزان عناصر سنگین نمونه‌ها قرائت شد [۱۵] و در نهایت مقادیر فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خاک محاسبه شد. از آنجا که ماهیت و جنس نمونه الکتروفیلتر همانند نمونه‌های خاک بود، روش اندازه‌گیری فلزات سنگین الکتروفیلتر کارخانه نیز همانند اندازه‌گیری فلزات سنگین نمونه‌های خاک انجام شد. بدین منظور ۱۰ گرم از نمونه الکتروفیلتر برداشته شد و مراحل طی شده برای خاک، بر روی آن انجام شد و در نهایت میزان فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خاک ترسیب شده در الکتروفیلتر اعلام گردید [۱۵]. یعنی در یک کیلو گرم گرد و خاک جذب شده توسط الکتروفیلتر نیز مقدار فلزات سنگین ترسیب شده به میلی‌گرم در کیلوگرم محاسبه شده و با فلزات سنگین ترسیب شده در یک کیلوگرم خاک و برگ مقایسه شده است. برای اندازه‌گیری عناصر برگ نیز ۰/۲ گرم از ماده خشک گیاهی (برگ) توزین و به هر نمونه ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. سپس به مدت ۶-۵ ساعت در آن ۹۰ درجه قرار گرفته تا NO تبخیر شود. بعد از خنک شدن، نمونه‌ها با کاغذ صافی، صاف شده و با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شدند [۱۶]. سپس توسط دستگاه جذب اتمیک مدل novAA-P400 میزان عناصر مورد نظر نمونه‌ها قرائت شدند و مقادیر فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 20 و از آزمون تحلیل واریانس یکطرفه جهت مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها انجام شد. از آزمون دانکن نیز برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شده است.

یافته‌ها

نتایج تحلیل واریانس ترسیب فلزات سنگین در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک نشان داد که بین تمامی گونه‌ها در ۴ فلز مورد بررسی به لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود دارد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در مورد فلز سرب بین گونه‌های سرو سیمین و افاقیا ($\text{sig} = ۰/۵۰۴$) و در خصوص فلز روی بین گونه‌های سرو سیمین و اکالیپتوس ($\text{sig} = ۰/۹۰$) تفاوت معناداری مشاهده نشد. در خصوص سایر فلزات بین تمامی گونه‌ها به لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود دارد (جدول ۱).

گونه‌های درختی مورد ارزیابی مهمترین گونه‌هایی هستند که در فضای سبز مناطق خشک زاگرس به وفور کاشته می‌شوند و در حاشیه کارخانه سیمان ایلام نیز به جهت نیاز کم آنها به آب و مقاومت بالای آنها کاشته شده‌اند.

مواد و روش‌ها

کارخانه سیمان ایلام در فاصله ۱۲ کیلومتری از شهر ایلام و در شهرستان سیروان قرار گرفته است. کارخانه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی «۵۱ ۲۹» تا «۵۲ ۳۰» ۴۶° شرقی و عرض‌های جغرافیایی «۵۵ ۴۲» تا «۴۰ ۴۳» ۳۳° شمالی و در ارتفاع ۱۳۱۰ متری از سطح دریا احداث شده است. این کارخانه در حاشیه منطقه حفاظت شده مانشت و قلازنگ واقع شده که یک منطقه جنگلی است. این منطقه دارای اقلیمی با زمستان‌های سرد همراه با ریزش برف و باران و تابستان‌های نسبتاً معتدل، میانگین درجه حرارت متوسط روزانه ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین درجه حرارت حداکثر روزانه ۲۲ درجه سانتی‌گراد، میانگین گرمترین ماه ۲۸ درجه سانتی‌گراد و حداقل درجه حرارت ۱۵ درجه سانتی‌گراد زیر صفر و رطوبت نسبی سال ۴۸/۶ درصد و بارندگی متوسط ۵۲۳ میلیمتر بوده و دارای شرایط معتدل آب و هوایی می‌باشد [۱۴]. تمام مراحل این تحقیق با رعایت موازین اخلاقی و پژوهشی انجام شد.

این تحقیق در تابستان ۱۳۹۴ انجام گرفت. بدین ترتیب که از گونه‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus microtheca*)، سروسیمین (*Cupressus arizonicagreen*) و افاقیا (*Robinia Pseudoacasia*) که در فاصله کمتر از ۱۰۰ متری از کارخانه سیمان قرار داشتند، نمونه برداری شد. به عبارت دیگر شرایط محیطی و فاصله از کارخانه برای هر ۳ گونه مورد بررسی کاملاً یکسان بود. نمونه‌برداری از خاک و برگ گونه‌های مورد بررسی و همچنین الکتروفیلتر کارخانه در ۶ تکرار انجام شد. برای هر گونه در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری، عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری و برگ هر کدام در ۶ تکرار صورت گرفت. برای این منظور در پای هر درخت یک پروفیل خاک حفر و در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. در مرحله بعد نمونه‌های هم‌افق هر گونه مخلوط و نمونه‌های تهیه شده جهت آزمایش به آزمایشگاه انتقال داده شد. در نمونه‌برداری برگ نیز همانند نمونه برداری خاک، نمونه‌های هر گونه مخلوط و نمونه‌های تهیه شده را جهت آزمایش به آزمایشگاه انتقال داده شد. نمونه‌های خاک، پس از پهن کردن نمونه‌ها در فضای آزاد و خشک کردن آنها، در هاون کوبیده شده و از الک ۲ میلیمتری جهت حذف مواد زائد و همچنین جداکردن ذرات درشت‌تر عبور داده شد. سپس اقدام به اندازه‌گیری فلزات سنگین خاک شد.

استثنای اکالیپتوس و افاقیا به لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود دارد (جدول ۲).

نتایج تحلیل واریانس ترسیب فلزات سنگین در برگ گونه‌های مورد مطالعه نشان داد که بین تمامی گونه‌ها در ۴ فلز مورد بررسی به لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود دارد. نتایج آزمون توکی برای مقایسه زوجی نشان داد که تنها در فلز کادمیوم بین گونه‌های سرو سیمین و اکالیپتوس ($\text{Sig} = 0/767$) و فلز منگنز بین گونه‌های افاقیا و اکالیپتوس ($\text{Sig} = 0/974$) تفاوت معناداری مشاهده نشد. در خصوص سایر فلزات بین تمامی گونه‌ها به لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود دارد (جدول ۳).

نتایج تحلیل واریانس برای عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری نیز نشان داد که به طور کلی مقدار ترسیب فلزات در بین گونه‌های مورد مطالعه دارای تفاوت معناداری است. در بررسی مقایسه زوجی توکی بین گونه‌ها، نتایج به گونه‌ای است که ترسیب کادمیوم در هر ۳ گونه مورد بررسی، دارای تفاوت معناداری است. همچنین نتایج ترسیب فلز روی به گونه‌ای است که فقط در بین گونه‌های سرو سیمین و افاقیا به طور معنی داری تفاوت وجود دارد. یافته‌های مربوط به فلز سرب نیز نشان داد که بین گونه‌های مختلف به استثنای سرو سیمین و افاقیا به لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود دارد. یافته‌های مربوط به مقدار ترسیب فلز منگنز نیز نشان داد که بین گونه‌های مختلف به

جدول ۱- تحلیل واریانس ترسیب فلزات سنگین در عمق ۱۰-۰ سانتیمتری خاک گونه‌های مورد مطالعه

| نتایج آزمون توکی جهت مقایسه گونه‌ها | | | | نتایج تحلیل واریانس یکطرفه | | | | | |
|-------------------------------------|----------------|------------------|------------------------|----------------------------|---------|------------|---------------|------------------|---------|
| سطح معناداری | خطای استاندارد | تفاوت میانگین‌ها | مقایسه زوجی گونه‌ها | سطح معناداری | مقدار F | درجه آزادی | مجموع مجذورات | منبع تغییرات | فلزات |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۹ | ۰/۷۳۶ | اکالیپتوس سرو سیمین | | | ۲ | ۰/۰۰۱ | تفاوت بین گروهی | کادمیوم |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۹ | ۰/۶۰۶ | افاقیا | ۰/۰۰۱ | ۱۱/۳۴ | ۱۵ | ۰/۰۰۱ | تفاوت درون گروهی | |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۹ | ۰/۱۳۰ | افاقیا اکالیپتوس | | | ۱۷ | ۰/۰۰۲ | جمع کل | |
| ۰/۹۰۰ | ۰/۰۳۲ | <۰/۰۰۱ | اکالیپتوس سرو سیمین | | | ۲ | ۰/۳۴۴ | تفاوت بین گروهی | روی |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۳۲ | ۰/۲۹۳ | افاقیا | <۰/۰۰۱ | ۵۵/۲۳ | ۱۵ | ۰/۰۴۷ | تفاوت درون گروهی | |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۳۲ | ۰/۲۹۳ | افاقیا اکالیپتوس | | | ۱۷ | ۰/۳۹۱ | جمع کل | |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۶ | ۰/۴۶۶ | اکالیپتوس سرو سیمین | | | ۲ | ۰/۸۱۹ | تفاوت بین گروهی | سرب |
| ۰/۵۰۴ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۳۰ | افاقیا | <۰/۰۰۱ | ۱۹۸/۰۷۵ | ۱۵ | ۰/۰۳۱ | تفاوت درون گروهی | |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۶ | ۰/۴۳۶ | افاقیا اکالیپتوس | | | ۱۷ | ۰/۸۵۰ | جمع کل | |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۹ | ۰/۷۳۶ | اکالیپتوس سرو سیمین | | | ۲ | ۱/۸۵۵ | تفاوت بین گروهی | منگنز |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۹ | ۰/۶۰۶ | افاقیا | <۰/۰۰۱ | ۳۵۵/۳۶۲ | ۱۵ | ۰/۰۳۹ | تفاوت درون گروهی | |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۹ | ۰/۱۳۰ | افاقیا اکالیپتوس | | | ۱۷ | ۱/۸۹۴ | جمع کل | |

جدول ۲- تحلیل واریانس ترسیب فلزات سنگین در عمق ۲۰-۱۰ سانتیمتری خاک گونه‌های مورد مطالعه

| نتایج تحلیل واریانس یکطرفه | | | | نتایج آزمون توکی جهت مقایسه گونه‌ها | | | | | |
|----------------------------|------------------|---------------|------------|-------------------------------------|--------------|---------------------|------------------|----------------|--------------|
| فلزات | منبع تغییرات | مجموع مجذورات | درجه آزادی | مقدار F | سطح معناداری | مقایسه زوجی گونه‌ها | تفاوت میانگین‌ها | خطای استاندارد | سطح معناداری |
| کادمیوم | تفاوت بین گروهی | ۰/۰۰۹ | ۲ | | | اکالیپتوس | ۰/۰۲۶۵ | ۰/۰۰۳۳ | ۰/۰۰۱ |
| | تفاوت درون گروهی | ۰/۰۰۰ | ۱۵ | ۱۴۳/۹۸ | ۰/۰۰۱ | سرو سیمین | ۰/۰۵۶۱ | ۰/۰۰۳۳ | ۰/۰۰۱ |
| | جمع کل | ۰/۰۰۹ | ۱۷ | | | اقاقیا | ۰/۰۲۹۶ | ۰/۰۰۳۳ | ۰/۰۰۱ |
| روی | تفاوت بین گروهی | ۰/۰۳۲ | ۲ | | | اکالیپتوس | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۱۹ |
| | تفاوت درون گروهی | ۰/۰۱۷ | ۱۵ | ۱۴/۳۶ | ۰/۰۰۱ | سرو سیمین | ۰/۱۰۳ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۰۱ |
| | جمع کل | ۰/۰۴۹ | ۱۷ | | | اقاقیا | ۰/۰۴۳ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۹۷ |
| سرب | تفاوت بین گروهی | ۰/۴۶۷ | ۲ | | | اکالیپتوس | ۰/۳۷۶ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۰۱ |
| | تفاوت درون گروهی | ۰/۰۳۲ | ۱۵ | ۱۱۰/۳۶۸ | ۰/۰۰۱ | سرو سیمین | ۰/۰۸۶ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۱۴ |
| | جمع کل | ۰/۴۹۹ | ۱۷ | | | اقاقیا | ۰/۲۹۰ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۰۱ |
| منگنز | تفاوت بین گروهی | ۰/۱۵۸ | ۲ | | | اکالیپتوس | ۰/۲۱۶ | ۰/۰۲۰۹ | ۰/۰۰۱ |
| | تفاوت درون گروهی | ۰/۰۲۰ | ۱۵ | ۶۰/۱۵۳ | ۰/۰۰۱ | سرو سیمین | ۰/۱۷۳ | ۰/۰۲۰۹ | ۰/۰۰۱ |
| | جمع کل | ۰/۱۷۷ | ۱۷ | | | اقاقیا | ۰/۰۴۳ | ۰/۰۲۰۹ | ۰/۱۲۹ |

جدول ۳- تحلیل واریانس ترسیب فلزات سنگین در برگ گونه‌های مورد مطالعه

| نتایج تحلیل واریانس یکطرفه | | | | نتایج آزمون توکی جهت مقایسه گونه‌ها | | | | | |
|----------------------------|------------------|---------------|------------|-------------------------------------|--------------|---------------------|------------------|----------------|--------------|
| فلزات | منبع تغییرات | مجموع مجذورات | درجه آزادی | مقدار F | سطح معناداری | مقایسه زوجی گونه‌ها | تفاوت میانگین‌ها | خطای استاندارد | سطح معناداری |
| کادمیوم | تفاوت بین گروهی | ۰/۰۰۱ | ۲ | ۲۸/۵۹۴ | ۰/۰۰۱ | سرو سیمین | ۰/۰۰۱۸ | ۰/۰۰۲۶ | ۰/۷۶۷ |
| | تفاوت درون گروهی | ۰/۰۰۰ | ۱۵ | | | اکالیپتوس | ۰/۰۱۶۱ | ۰/۰۰۲۶ | ۰/۰۰۱ |
| | جمع کل | ۰/۰۰۱ | ۱۷ | | | اقاقیا | ۰/۰۱۸۰ | ۰/۰۰۲۶ | ۰/۰۰۱ |
| روی | تفاوت بین گروهی | ۰/۷۰۷ | ۲ | ۱۰۴/۴۶۸ | ۰/۰۰۱ | سرو سیمین | ۰/۲۶۰ | ۰/۰۳۳۵ | ۰/۰۰۱ |
| | تفاوت درون گروهی | ۰/۰۵۱ | ۱۵ | | | اکالیپتوس | ۰/۲۲۵ | ۰/۰۳۳۵ | ۰/۰۰۱ |
| | جمع کل | ۰/۷۵۸ | ۱۷ | | | اقاقیا | ۰/۴۸۵ | ۰/۰۳۳۵ | ۰/۰۰۱ |
| سرب | تفاوت بین گروهی | ۲/۴۸۴ | ۲ | ۲۷۶/۱۸۶ | ۰/۰۰۱ | سرو سیمین | ۰/۹۰۰ | ۰/۰۳۸۷ | ۰/۰۰۱ |
| | تفاوت درون گروهی | ۰/۰۶۷ | ۱۵ | | | اکالیپتوس | ۰/۳۳۳ | ۰/۰۳۸۷ | ۰/۰۰۱ |
| | جمع کل | ۲/۵۵۲ | ۱۷ | | | اقاقیا | ۰/۵۶۶ | ۰/۰۳۸۷ | ۰/۰۰۱ |
| منگنز | تفاوت بین گروهی | ۰/۷۹۵ | ۲ | ۲۵۴/۶۷۳ | ۰/۰۰۱ | سرو سیمین | ۰/۴۴۸ | ۰/۰۲۲۸ | ۰/۰۰۱ |
| | تفاوت درون گروهی | ۰/۰۲۳ | ۱۵ | | | اکالیپتوس | ۰/۴۴۳ | ۰/۰۲۲۸ | ۰/۰۰۱ |
| | جمع کل | ۰/۸۱۹ | ۱۷ | | | اقاقیا | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۲۲۸ | ۰/۹۷۴ |

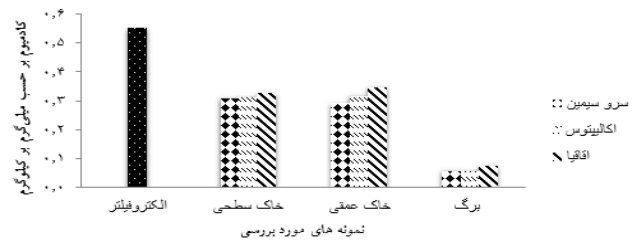
بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان کادمیوم در الکتروفیلتر کارخانه (۰/۵۵۳ میلی گرم بر کیلوگرم خاک ترسیب شده در الکتروفیلتر) تقریباً نزدیک به میزان کادمیوم ترسیب شده در برگ و خاک گونه‌ها می‌باشد، اما میزان سرب (۴۰/۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم)، روی (۳/۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم) و منگنز (۳/۷۴ میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک ترسیب شده در الکتروفیلتر کارخانه خیلی بیشتر از میزان ترسیب این سه عنصر در برگ و خاک گونه‌ها می‌باشد. نتایج ترسیب سرب در خاک نشان داد که در هر ۳ گونه مورد بررسی با افزایش عمق خاک، میزان ترسیب سرب کاهش می‌یابد. همچنین ترسیب کادمیوم در سروسیمین، ترسیب روی در افاقیا، ترسیب منگنز در اکالیپتوس و افاقیا نیز با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد. به طوری که در عمق ۱۰-۱۰ سانتی متری خاک اکالیپتوس، ترسیب سرب ۳/۰۹ میلی گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری ۲/۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم، در عمق ۱۰-۱۰ سانتی متری خاک افاقیا، ترسیب سرب ۲/۶۵ میلی گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری ۱/۸۶ میلی گرم بر کیلوگرم، در عمق ۱۰-۱۰ سانتی متری خاک سروسیمین ترسیب سرب ۲/۶۲ میلی گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری ۱/۷۷ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

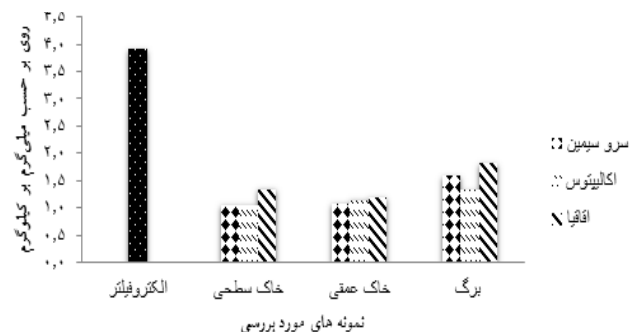
همچنین ترسیب کادمیوم در عمق ۱۰-۱۰ سانتی متری خاک سرو سیمین، ۰/۳۱ میلی گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری ۰/۲۹ میلی گرم بر کیلوگرم، ترسیب روی در افاقیا، ۱/۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری ۱/۱۹ میلی گرم بر کیلوگرم، ترسیب منگنز در اکالیپتوس در عمق ۱۰-۱۰ سانتی متری خاک ۱/۰۲ میلی گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری ۰/۵۵ میلی گرم بر کیلوگرم و همچنین ترسیب منگنز در افاقیا در عمق ۱۰-۱۰ سانتی متری خاک ۰/۸۹ میلی گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری ۰/۵۱ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

نتایج کاهش میزان ترسیب فلزات سنگین با افزایش عمق با مطالعات زیادی همخوانی دارد. پارسافر و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه خود به منظور بررسی فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری، به این نتیجه رسیدند که بین دو عمق مورد نظر در سطح پنج درصد اختلاف معنی دار وجود دارد و بیشترین غلظت عناصر سنگین در عمق ۱۰-۱۰ سانتی متری خاک مشاهده گردید. نتایج آنها نشان داد که در عمق ۱۰-۱۰ سانتی متری خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری، ترسیب سرب ۰/۸۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری ۰/۸۶۲ میلی گرم بر کیلوگرم، ترسیب روی در عمق ۱۰-۱۰ سانتی متری ۰/۱۱۹ میلی گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری ۰/۱۰۹ میلی گرم بر کیلوگرم، ترسیب کادمیوم در عمق

نتایج ترسیب عناصر کادمیوم (Cd)، روی (Zn)، سرب (Pb) و منگنز (Mn) در الکتروفیلتر، خاک و برگ گونه‌های درختی مورد مطالعه در قالب نمودارهای ۱، ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است.



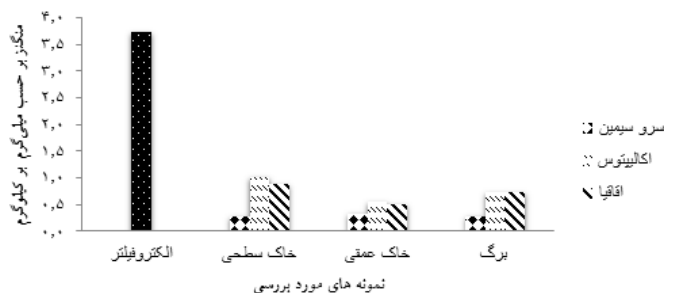
نمودار ۱- میزان ترسیب کادمیوم در خاک و برگ گونه‌های مورد مطالعه و الکتروفیلتر



نمودار ۲- میزان ترسیب سرب در خاک و برگ گونه‌های مورد مطالعه و الکتروفیلتر



نمودار ۳- میزان ترسیب روی در خاک و برگ گونه‌های مورد مطالعه و الکتروفیلتر



نمودار ۴- میزان ترسیب منگنز در خاک و برگ گونه‌های مورد مطالعه و الکتروفیلتر

گرفت، مشاهده شد که افاقیا غلظتهای بالایی از کادمیوم را در شاخ و برگ را ترسیب کرده است [۲۴] که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. همچنین نشان داد که اکالیپتوس بیشترین مقدار ترسیب سرب و منگنز هم در برگ و هم در خاک را دارد که با نتایج کنشلو و اقتصادی (۱۳۸۹) همخوانی دارد. آنها در مطالعه خود ثابت کردند، اکالیپتوس گونه‌ای با قابلیت جذب بالای فلزات سنگین است [۱۰]. مقادیر ترسیب سرب و منگنز در برگ اکالیپتوس به ترتیب ۲/۰۶ و ۰/۷۳ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. علاوه بر این همانند ترسیب کادمیوم، روی و سرب میزان منگنز ترسیب شده در خاک و برگ سروسیمین کمتر از ۲ گونه دیگر بود. مقادیر ترسیب سرب و منگنز در برگ سروسیمین به ترتیب ۱/۱۶ و ۰/۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. شعبانیان و چراغی (۱۳۹۱)، در تحقیق خود به منظور مقایسه گیاه پالایی فلزات سنگین (سرب، منگنز، روی و کادمیوم) در ۲ منطقه شاهد و آلوده روی گونه‌های درختی به این نتیجه رسیدند که در منطقه آلوده بیشترین مقدار انباشت کادمیوم و سرب در سروخمره‌ای که گونه‌ای سوزنی برگ است، مشاهده شد که با نتایج این تحقیق در تضاد است. کادمیوم و سرب ترسیب شده در برگ سروخمره‌ای در این تحقیق به ترتیب برابر ۵/۹۰ و ۱/۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. آنها همچنین در تحقیق خود این نتیجه رسیدند که در منطقه آلوده بیشترین مقدار انباشت فلز روی در برگ زبان گنجشک ترسیب شده است که این مقدار ۶۳/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است. آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که در منطقه آلوده بیشترین مقدار انباشت منگنز در برگ نارون به مقدار ۶۶/۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم ترسیب شده است [۲۵]. در تحقیق دیگری توسط بایکو و همکاران (۲۰۰۶) بالاترین مقدار انباشت کادمیوم و روی را در صنوبر، گزارش شد [۶]. در این مطالعه ثابت شد که گونه‌های افاقیا و اکالیپتوس که جز گونه‌های پهن‌برگ هستند در زمینه ترسیب فلزات سنگین از گونه سروسیمین که گونه‌ای سوزنی برگ است، موفق‌تر عمل کردند [۲۲، ۱۰] که از دلایل آن می‌توان به زادآوری طبیعی افاقیا اشاره کرد. همچنین ترتیب ترسیب در بین گونه‌ها به نحوی بود که گونه‌ی سروسیمین کمترین میزان ترسیب فلزات سنگین هم در خاک و هم در برگ را داشت. گونه افاقیا بیشترین ترسیب کادمیوم و روی را در بین گونه‌ها داشت. با توجه به سرشت اکولوژیکی خاصی که افاقیا دارد گونه‌ای بسیار موثر در نواحی آلوده می‌باشد. از طرفی وجود زادآوری طبیعی این گونه در منطقه نشان می‌دهد که این گونه علاوه بر تحمل شرایط خاص منطقه، قادر به زادآوری نیز بوده است. گونه اکالیپتوس نیز به دلیل داشتن برگ‌های خاص خود بیشترین میزان ترسیب سرب و منگنز را در بین گونه‌ها داشت و به نظر می‌رسد گونه‌ای با مقاومت زیاد نسبت به آلودگی‌های کارخانه سیمان (فلزات سنگین) باشد.

۱۰-۱۰ سانتی‌متری ۲/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری ۲/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد [۱۷]. همچنین هودجی و جلالیان (۱۳۸۳) در بررسی پراکنش نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک اطراف مجتمع فولاد مبارکه به این نتیجه رسیدند که ترسیب نیکل و منگنز با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد، در حالی که ترسیب کادمیوم با افزایش عمق خاک افزایش می‌یابد، نتایج آنها نشان داد که در عمق ۱۰-۱۰ سانتی‌متری خاک ترسیب نیکل ۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری ۰/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ترسیب منگنز در عمق ۱۰-۱۰ سانتی‌متری، ۹۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری ۴۹/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، ولی ترسیب کادمیوم در عمق ۱۰-۱۰ سانتی‌متری ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری ۰/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد [۱۸]. همچنین سامانی مجد و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم چنین نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار غلظت سرب و کادمیوم در قسمت سطحی خاک (۵ - ۰ سانتی‌متری) و مربوط به جذب و تثبیت آن در سطح خاک است [۱۹]. در مطالعه دیگر کراتراچو و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیق خود ثابت کردند که تجمع سرب در فاصله ۵ سانتی‌متری عمق خاک دارای بیشترین مقدار بوده و با افزایش عمق خاک میزان غلظت سرب به سرعت کاهش می‌یابد، همچنین بالاترین میزان تجمع سرب در خاک، در مناطقی دیده شد که دارای پوشش گیاهی بوده و کمترین میزان تجمع آن در خاک، در مناطق عاری از پوشش گیاهی دیده شد [۲۰]. آچیا و همکاران (۲۰۰۹)، اجیارت و همکاران (۲۰۰۶) و هسو (۲۰۰۶) در مطالعات خود ثابت کردند که میزان نشت فلزات سنگین به لایه‌های پایتتر خاک به عواملی از قبیل تجمع‌پذیری و حرکت‌پذیری فلز، اسیدیته، پتانسیل اکسیداسیون، جنس خاک، غلظت و نوع یون رقابت‌کننده، محتوای ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، کانیهای رسی، کربنات کلسیم، اکسیدهای آهن و منگنز، قدرت یونی، جنس خاک، جذب سطحی ویژه، اندازه ذرات خاک و ویژگی‌های گیاه بر جذب و واجذب فلزات، بستگی دارد [۲۳-۲۱] نتایج این مطالعه نشان داد که ترسیب کادمیوم، سرب و منگنز در خاک در هر سه گونه بیشتر از میزان ترسیب در برگ گونه‌ها می‌باشد، در حالی که ترسیب روی بگونه‌ای بود که میزان ترسیب روی در برگ هر ۳ گونه بیشتر از میزان ترسیب در خاک می‌باشد. همچنین نتایج ترسیب برگ نشان داد که بیشترین میزان ترسیب کادمیوم و روی همانند ترسیب این فلزات در خاک، در افاقیا مشاهده شد. از طرفی سروسیمین که گونه‌ای سوزنی برگ است، کمترین مقدار ترسیب کادمیوم در خاک و برگ را داشت. مقادیر ترسیب کادمیوم و روی در برگ افاقیا به ترتیب ۰/۰۷۴ و ۱/۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط مرتنز و همکاران (۲۰۰۴) در بلژیک صورت

نتیجه گیری

جزء مواد آلاینده آنها هستند، کاشت درختان پهن برگ به ویژه اکالیپتوس و افاقیا بر کاشت درختان سوزنی برگ ارجحیت دارد، زیرا فضای بیشتری را در واحد سطح اشغال می نمایند و بدین ترتیب حجم بیشتری از ریزگردها و آلاینده ها را در مناطق آلوده، جذب می کنند و در نهایت میزان موفقیت گیاه پالایی را افزایش خواهند داد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از زحمات آقایان دکتر علی یاسینی، عضو هیئت علمی دانشگاه ایلام (گروه مدیریت) و مهندس مهدی آذرکردار که در این مقاله نویسندگان را یاری کردند تشکر می گردد.

از نتایج چنین استنباط می شود که آلاینده های کارخانه سیمان ایلام و به ویژه فلزات سنگین ۳ گونه درختی کاشته شده را به شدت تحت تاثیر قرار داده است و میزان ترسیب فلزات سنگین در خاک و برگ چشمگیر می باشد. از طرفی دیگر همانطور که نتایج نشان داد، الکتروفیلتر کارخانه مقادیر زیادی آز آلودگی (فلزات سنگین) را در خود ترسیب کرده است به خصوص ترسیب سرب که مقدار آن بسیار زیاد است که اگر این فلزات در محیط اطراف کارخانه پراکنده شوند، صدمات بسیار زیادی را به محیط زیست و به ویژه سلامت انسان وارد خواهند کرد. با توجه به نتایج کسب شده، می توان نتیجه گرفت که در مکان های آلوده به ویژه کارخانه های سیمان که فلزات سنگین

References

- 1- Abbasi J, Salari M. Environmental pollution of cement factories. Proceedings of the Fifths Student Conference on Mining Engineering 2006 Nov 11-12; Isfahan, Iran (In Persian).
- 2- Isıklı B, Demir T, Ürer S, Berber A, Akar T, Kalyoncu C. Effects of chromium exposure from a cement factory. Environmental Research 2003; 91(2):113-18.
- 3- Burken J, Vroblesky D, Balouet JC. Phytoforensics dendrochemistry phytoscreening: Delineating contaminants from past and new green tools for present. Environmental Science and Technology 2011; 45(15):6218-26.
- 4- Yaron B, Calvet R, Prost R. Soil Pollution: Processes and Dynamics. Heidelberg: Springer 1996.
- 5- Raskin I, Ensley B.D. Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment. New York: Wiley 2000.
- 6- Baycu G, Tolunay D, Özden H, Günebakan S. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. Environmental Pollution 2006; 143(3):545-54.
- 7- Rafati M, Khorasani N, Moraghebi F, Shirvany A. Phytoextraction and Phytostabilization Potential of Cadmium, Chromium and Nickel By Populus alba and Morus alba Species. Journal of Natural Environment 2012; 65(2):181-91 (In Persian).
- 8- Parsafar N, Maarofi S. The effect of wastewater application on the accumulation of heavy metals in soil profile under greenhouse conditions and Lysimeter. Journal of Water Research in Agricultural 2013; 27(4):229-39 (In Persian).
- 9- Streck T, Richter J. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale: Measurements and parameterization of sorption. Journal of Environmental Quality 1997; 26(1):49-56.
- 10- Keneshloo H, Egtesadi A. The effect of afforestation in reduction oil pollution (heavy metals). Journal of

Natural Environment 2011; 64(2):185-97 (In Persian).

11- Salehi A, Tabari M, Mohamadi J, Ali Arab A. Accumulation of heavy metals Zn, NI, Pb and Cu in soil and leaf of Robinia affected by Waste Water. Quarterly Pajouhesh-Va-Sazandegi 2008; 21(1):92-100 (In Persian).

12- Sadeghi M, khurasani N. The Evaluation of effects of dust from the cement industry on diversity and density of vegetation (Case study: Abyak cement factory). Journal of Environmental Science and Technology 2009; 11(1):107-19 (In Persian).

13- Ghosh M, Singh SP. A comparative study of cadmium phytoextraction accumulator and weed species. Environmental Pollution 2005; 133(2):365-71.

14- Noorpoor A, Kazemi Shahabi N. Dispersion modeling of air pollutants from the Ilam cement factory stack. Journal of Civil and Environmental Engineering 2014; 44(1):37-44 (In Persian).

15- Lindsay W, Norvell WA. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal 1978; 42(3):421-28.

16- Celik A, Kartal AA, Akdogan A, Kaska Y. Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using Robinio pseudo-acacia. Environment International 2005; 31(1):105-12.

17- Parsafar N, Marofi S, Rahimi Gh, Marofi, H. Assessment of pollution index (PI) of Cd, Zn, Cu and Pb in the soil irrigated with municipal wastewater. Water and Soil Science (Agricultural Science) 2015; 25(1):1-12 (In Persian).

18- Hodji M, Jalalian A. Distribution of Ni, Mn and Cd in soil and crops in the Mobarakeh steel plant region. Journal of Water and Soil Science 2004; 8(3):55-67 (In Persian).

19- Samani Majd S, Taebi A, Afuni M. Lead and cadmium pollution in urban roadside soil. Journal of Environmental Studies 2007; 33(43):1-10 (In Persian).

20- Rotkittikhun P, Kruatrachue M, Chaiyarat R, Ngernsansaruay C, Pokethitiyook P, Paijitprapaporn A, et al. Uptake and accumulation of lead by plants from the Bo Ngam lead mine area in Thailand. Environmental Pollution 2006; 144(4):681-88.

21- Achiba WB, Gabteni N, Lakhdar A, Du Laing G, Verloo M, Jedidi N, et al. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. Agriculture, Ecosystems and Environment 2009; 130(3):156-63.

22- Egiarte G, Arbestain MC, Ruíz-Romera E, Pinto M. Study of the chemistry of an acid soil column and of the corresponding leachates after the addition of an anaerobic municipal sludge. Chemosphere 2006; 65(11):2456-67.

23- Hseu Z-Y. Extractability and bioavailability of zinc over time in three tropical soils incubated with biosolids. Chemosphere 2006; 63(5):762-71.

24- Mertens J, Vervaeke P, De Schrijver A, Luysaert S. Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment: Limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilisation. Science of the Total Environment 2004; 326(1):209-15.

25- Shabani N, Cheraghi C. Comparison of phytoremediation of heavy metals by woody species used in urban forestry of Sanandaj city. Iranian Journal of Forest and Poplar Research 2013; 21(1):154-165 (In Persian).