

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره چهار، تیر ماه ۹۹

## تأثیر جنگل کاری با گونه‌های درختی بر ترسیب کادمیوم، روی، سرب و منگنز در

### خاک (مطالعه موردی: توده‌های جنگلی اطراف کارخانه سیمان ایلام)

امین پناه<sup>۱</sup>

عبدالعلی کرشاهی<sup>۲\*</sup>

[a.karamshahi@ilam.ac.ir](mailto:a.karamshahi@ilam.ac.ir)

جواد میرزایی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۰۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۰۳

#### چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه آلودگی هوا، آب و خاک به واسطه فعالیت واحدهای صنعتی امری ثابت شده است. صنایع سیمان یکی از مهمترین آلاینده‌های محیطی است که اثرات زیست‌محیطی نامطلوبی بر محیط اطرافش می‌گذارد. این تحقیق با هدف تعیین تأثیر جنگل کاری بر میزان ترسیب کادمیوم، روی، سرب و منگنز بر خاک هفت توده جنگل کاری شده اطراف کارخانه سیمان ایلام انجام گرفته است.

**روش بررسی:** در هر توده، پلات‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ متر تصادفی سیستماتیک پیاده شد. نمونه‌برداری از اعماق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک توده‌ها انجام یافت. همچنین عناصر سنگین موجود در نمونه‌های خاک و نمونه‌های الکتروفیلتر نیز اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد میزان ترسیب کادمیوم در الکتروفیلتر کارخانه و خاک توده‌های جنگلی تقریباً برابر است. اما میزان ترسیب فلز روی، سرب و منگنز در الکتروفیلتر کارخانه بیشتر از میزان ترسیب این عناصر در خاک (اعماق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری) توده‌ها می‌باشد. با افزایش عمق خاک، میزان ترسیب سرب کاهش می‌یابد. همچنین بر اساس نتایج، در توده بلوط طبیعی، بیشترین میزان ترسیب کادمیوم در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری، فلز روی در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک و بیشترین میزان ترسیب منگنز در هر دو عمق مشاهده شد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که بین درجه آمیختگی گونه‌های جنگلی و میزان ترسیب عناصر سنگین ارتباط مستقیم وجود دارد. علاوه بر این، در توده‌ای که بلوط طبیعی حضور داشت، میزان ترسیب عناصر سنگین بیشتر بود.

**واژه‌های کلیدی:** خاک، جنگل کاری، عناصر سنگین، کارخانه سیمان

۱- دانش آموخته مهندسی منابع طبیعی - جنگلداری، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲- دانشیار دانشگاه ایلام، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، ایلام، ایران. (مسئول مکاتبات)

۳- دانشیار دانشگاه ایلام، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، ایلام، ایران.

## **Effects of Tree Plantations on Sequestration of Soil Cd, Zn, Pb and Mn (Case Study: Forest Stands around Ilam Cement Factory)**

**Amin panah<sup>1</sup>**

**Abdolali Karamshahi\*<sup>2</sup>**

[a.karamshahi@ilam.ac.ir](mailto:a.karamshahi@ilam.ac.ir)

**Javad Mirzaei<sup>3</sup>**

Accepted: 2018.05.23

Received: 2017.07.25

### **Abstract**

**Background and Objective:** Today's the pollution of air, water and soil caused by industrial units, has been proved in the world. Among them, the cement industry is one of the most important environmental pollutants that have adverse environmental effects on the surroundings. The aim of this study was to evaluate the effects of afforestation on sequestration of Cd, Zn, Pb and Mn in soil of 7 stands around the Ilam Cement Factory.

**Methods:** In each stands, some plots (10 × 10 m) were established systematically. Soil sampling was done from the depths of 0-10 and 10-20 cm. Also, heavy metals from the soil samples and electro filter were measured.

**Findings:** Results showed that the amount of Cd in the electro filter was similar to Cd in soil of the stands, but the amounts of Pb, Zn and Mn in electro filter are more than of those that in soils of the stands (0-10 cm and 10-20 cm depth). The results also showed that with increasing soil depth the amount of Pb sequestration decreased. In natural Oak stand, the most amount of Cd was seen in surface soil (0-10 cm depth), the most Zn were in deep soil (10-20 cm depth) and the Most amount of Mn sequestration in both depths were observed.

**Discussion and Conclusion:** In general, we can say there are direct relationship between the degree of tree mixing and sequestration of heavy metals. In addition, in the natural Oak stand, the amount of heavy metal sequestration was higher than other stands.

**Keywords:** Soil, Plantation, Heavy Metal, Cement Factory

---

1 - M.Sc., Forestry, Department of Forest Science, Ilam University

2 - Associated Professor, Department of Forest science, Ilam University

3 - Associated Professor, Department of Forest science, Ilam University

## مقدمه

یکی از نگرانی‌هایی که در مورد پیشرفت روزافزون صنایع و کارخانه‌ها در جوامع امروزی مطرح است، بحث آلودگی‌های زیست‌محیطی است. آلودگی‌ها به دست خود انسان به وجود می‌آیند و خود او را نیز مورد آسیب قرار می‌دهند. ظرفیت اکوسیستم‌ها برای پذیرش تغییرات در محیط زیست محدود است و اگر چه طبیعت خود دارای توانایی مقابله با تغییرات است ولی امروزه مشخص شده، سرعت بازسازی طبیعی در حد تخریب‌ها نبوده و در نتیجه فرآیند تخریب محیط به صورت غیرقابل بازگشتی در حال پیش روی است. امروزه آلودگی هوا، آب و خاک به واسطه فعالیت واحدهای صنعتی امری ثابت شده در کل دنیا است. در این بین صنایع سیمان یکی از مهمترین آلاینده‌های محیطی است که اثرات زیست‌محیطی نامطلوبی بر محیط اطرافش می‌گذارد (۱). در کشور ما نیز تأسیس کارخانه‌های سیمان که با بهره‌گیری از سرمایه‌گذاری‌های کلان انجام می‌گیرد و معمولاً با اشتغال‌زایی و جوانب اقتصادی دیگر همراه است روندی روبه‌رشد را طی می‌کند. اما در راستای این منافع اقتصادی، آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از کارخانه‌های سیمان اجتناب‌ناپذیر است. تولید حجم بیشتر سیمان، منجر به افزایش آلودگی هوا شود می‌شود. از سال ۲۰۰۲ صنعت سیمان به تنهایی حدود ۵٪ از کل گازهای گلخانه‌ای را به اتمسفر وارد کرده است (۲). مواد آلوده-کننده ناشی از کارخانه سیمان به طور عمده شامل گرد و غبار متصاعدشده و فلزات سنگین آزاد شده است (۱). فلزات سنگین به فلزاتی گفته می‌شود که دارای چگالی نسبتاً بالا بوده و در غلظت‌های کم سمی می‌باشند (۳). این فلزات جرم‌اتمی بیشتر از ۵۸/۵ گرم برمول دارند و زمانی که مقدار آنها بیش از حد مجاز باشد، خطراتی را برای سلامتی انسان و سایر جانوران ایجاد می‌کنند (۴). فلزات سنگین دارای خصوصیاتمانند تجمع بیولوژیکی، سمی بودن و پایداری محیطی هستند (۵). برخی از فلزات سنگین مانند کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، منگنز (Mn)، سرب (Pb)، آرسنیک (As) و نیکل (Ni) در غلظت بالا، می-

توانند برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده خطرناک باشند (۶). روش‌های فیزیکی و شیمیایی متعددی برای خروج فلزات سنگین از خاک‌های آلوده عموماً پرهزینه بوده و همچنین سبب تغییرات در بعضی از ویژگی‌های خاک مانند ساختمان، مواد آلی و جمعیت ریزموجودات خاک می‌شوند (۷). به تازگی توجه پژوهشگران زیادی به روش استفاده از گیاهان برای خروج فلزات سنگین از خاک‌های آلوده معطوف شده است (۸ و ۹). میزان جذب فلزات سنگین در گیاهان همبستگی زیادی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارد همچنین بین فلزات سنگین به عنوان آلاینده خاک، با مشخصات رویشی درختان رابطه معکوس وجود دارد به نحوی که با افزایش این عناصر میزان موادمغذی به ویژه پتاسیم کاهش یافته و در نتیجه رشد گیاه متوقف می‌شود. (۱۰). به‌طور کلی کلیه فعالیت‌های میکروارگانیسم‌های خاک تحت-تأثیر میزان فلزات سنگین قرار دارد، به نحوی که با افزایش غلظت این فلزات، قابلیت رشد میکروارگانیسم‌ها تا حدود ۷۵٪ کاهش می‌یابد، همچنین برخی از خصوصیات میکروارگانیسم‌های خاک به عنوان نشانگرهای افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک عمل می‌نمایند (۱۱). مهمترین اثر سوء کارخانه‌های سیمان بر محیط اطراف انتشار گرد و غبار و گازهای آلاینده است. در واقع کارخانه‌های سیمان ابتدا هوا را آلوده می‌کنند و سپس این آلودگی از طریق هوا رسوب و به خاک منتقل می‌شود و در مراحل بعدی حتی می‌تواند به پیکره گیاهان، جانوران و نهایتاً انسانها وارد شود (۱۲).

کرم‌شاهی و همکاران ۲۰۱۷ ترسیب فلزات سنگین در خاک و برگ درختان اکالیپتوس، سروسیمین و افاقیا را در حاشیه کارخانه سیمان شهر ایلام مورد بررسی قرار دادند و بر اساس نتایج بیشترین میزان ترسیب کادمیوم و روی هم در خاک و هم در برگ در گونه افاقیا مشاهده شد، بیشترین ترسیب سرب و منگنز در هر دو عمق خاک و همچنین در برگ، در گونه اکالیپتوس مشاهده شد (۱۳). مرتضوی و همکاران ۲۰۱۷ پایش زیستی فلزات

سیمان ایلام و مقایسه با بررسی میزان ترسیب این عناصر در الکتروفیلتر کارخانه و همچنین بررسی میزان موفقیت جنگل کاری های کاشته شده در ترسیب این عناصر می باشد. بدیهی است نتایج حاصل از چنین مطالعاتی می تواند در برنامه های آتی توسعه فضای سبز و ایجاد کمربند سبز و همچنین انتخاب گونه های با قابلیت جذب آلاینده ها در محیط های صنعتی و به ویژه کارخانه های سیمان موثر باشد.

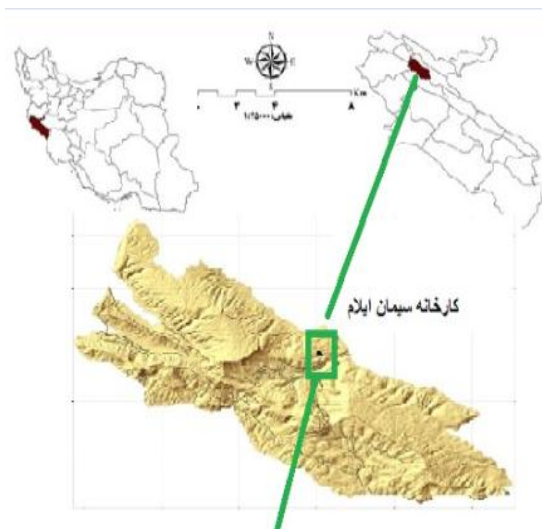
### مواد و روش ها

#### منطقه مورد مطالعه

کارخانه سیمان ایلام در شهرستان سیروان و در فاصله ۱۵ کیلومتری از شهر ایلام در حاشیه منطقه حفاظت شده مانشت و قلارنگ قرار گرفته است. این کارخانه درحد فاصل طول های جغرافیایی "۵۱' ۲۹' ۴۶° تا "۵۲' ۳۰' ۴۶° شرقی و عرض های جغرافیایی "۵۵' ۴۲' ۳۳° تا "۴۰' ۴۳' ۳۳° شمالی، و در ارتفاع ۱۳۱۰ متری از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱).

سنگین با استفاده از گیاه نی (*Phragmites australis*) را در تالاب هشیلان کرمانشاه مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد بیشترین میزان تجمع فلزات سنگین در اندامهای زیرزمینی گیاه است. از طرفی بالا بودن شاخص انتقال برای فلز روی بیانگر توانایی بالای انتقال این فلز در گیاه است (۱۴).

کارخانه سیمان ایلام یکی از مهمترین صنایع تولیدی و اقتصادی ایلام است. علی رغم جنبه تولیدی و اقتصادی بودن این کارخانه متاسفانه آلودگی های زیست محیطی زیادی را ایجاد می کند که تأثیر منفی روی پوشش گیاهی، درختی، جانوری و سلامت مردم اطراف کارخانه می گذارد. مسئولان کارخانه سیمان در طی چند سال گذشته اقدام به کاشت گونه های مختلف درختی در غالب توده های مختلف جنگلی در حاشیه کارخانه جهت کاهش انتشار آلاینده های ناشی از فعالیت های مختلف کارخانه به محیط زیست اطراف نموده اند. هدف از انجام این تحقیق تعیین میزان ترسیب عناصر سنگین کادمیوم (Cd)، روی (Zn)، سرب (Pb) و منگنز (Mn) در خاک توده های جنگل کاری شده در اطراف کارخانه-



شکل ۱- موقعیت کارخانه سیمان ایلام در ایران و ایلام

Figure 1- The position of the Ilam Cement Factory in Iran and Ilam

روش کار

کارخانه سیمان، تعداد هفت توده مشخص شد که گونه های موجود

در این مطالعه پس از بازدید از توده های جنگل کاری شده اطراف

در هر توده به تفکیک آورده شده است (شکل ۲، جدول ۱).



شکل ۲- موقعیت توده های مورد مطالعه

Figure 2- The position of the stand studied

جدول ۱- لیست گونه های موجود در توده های مورد مطالعه

Table 1- List of species in the stands

شماره توده	گونه های موجود در توده ها
۱	کاج تهران ( <i>Pinus eldarica</i> )، سرو شیرازی ( <i>Cupressus sempervirens</i> )، بلوط ایرانی ( <i>Quercus branti</i> )
۲	سرو شیرازی ( <i>C. sempervirens</i> )، کاج تهران ( <i>P. eldarica</i> )، افاقیا ( <i>Robinia pseudoacasia</i> )، سروسیمین ( <i>Cupressus arizonica</i> ) اکالیپتوس ( <i>Eucalyptus microtheca</i> )، نارون چتری ( <i>Ulmus umbraculifera</i> )
۳	سرو شیرازی ( <i>C. sempervirens</i> )، کاج تهران ( <i>P. eldarica</i> )، زبان گنجشک ( <i>Fraxinus rotundifolia</i> )، سروسیمین ( <i>C. arizonica</i> ) عرعر ( <i>Ailanthus glandulosa</i> )، اکالیپتوس ( <i>E. microtheca</i> )، افاقیا ( <i>R. pseudoacasia</i> )، نارون چتری ( <i>U. umbraculifera</i> )
۴	کاج تهران ( <i>P. eldarica</i> )
۵	زبان گنجشک ( <i>F. rotundifolia</i> )، افاقیا ( <i>R. pseudoacasia</i> )، سروسیمین ( <i>C. arizonica</i> )، کاج تهران ( <i>P. eldarica</i> ) عرعر ( <i>A. glandulosa</i> )
۶	سروشیرازی ( <i>C. sempervirens</i> )، کاج تهران ( <i>P. eldarica</i> )، افاقیا ( <i>R. pseudoacasia</i> )، اکالیپتوس ( <i>E. microtheca</i> ) سروسیمین ( <i>C. arizonica</i> ) و عرعر ( <i>A. glandulosa</i> )
۷	اکالیپتوس ( <i>E. microtheca</i> )، کاج تهران ( <i>P. eldarica</i> )، زبان گنجشک ( <i>F. rotundifolia</i> )، افاقیا ( <i>R. pseudoacasia</i> ) عرعر ( <i>A. glandulosa</i> )، سروشیرازی ( <i>C. sempervirens</i> )

## روش نمونه برداری و اندازه‌گیری عناصر سنگین

تحلیل با استفاده از نرم افزار SPSS 20 و از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه جهت مقایسه پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح ۹۵٪ استفاده شد. از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

## نتایج

## نتایج تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که به جز ترسیب فلز روی در خاک سطحی در بین توده‌های مورد مطالعه که دارای اختلاف معنی داری است، ترسیب سه عنصر دیگر در هر دو عمق مورد بررسی در بین توده‌های مورد مطالعه فاقد اختلاف معنی دار است (جدول ۲).

پلات‌هایی (حداقل ۵ تکرار) به ابعاد ۱۰×۱۰ متر به صورت سیستماتیک پیاده شد. نمونه‌هایی از اعماق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری تهیه و پس از پهن کردن نمونه‌ها در فضای آزاد و خشک کردن آنها، در هاون کوبیده شده و از الک ۲ میلی متری جهت حذف موادزائد و جدا کردن ذرات درشت‌تر عبور داده شد. 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 دی‌تترافسفریک‌اسید به نمونه‌ها اضافه شد. ارلن‌ها توسط شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت ۲ ساعت تکان داده شدند. محتویات از کاغذ صافی عبور داده شد و به وسیله دستگاه جذب اتمیک (مدل novAA-P400) میزان عناصر سنگین نمونه‌ها قرائت شد (۱۵). تجزیه و

جدول ۲- آنالیز واریانس ترسیب عناصر سنگین در دو عمق در توده‌های مورد مطالعه

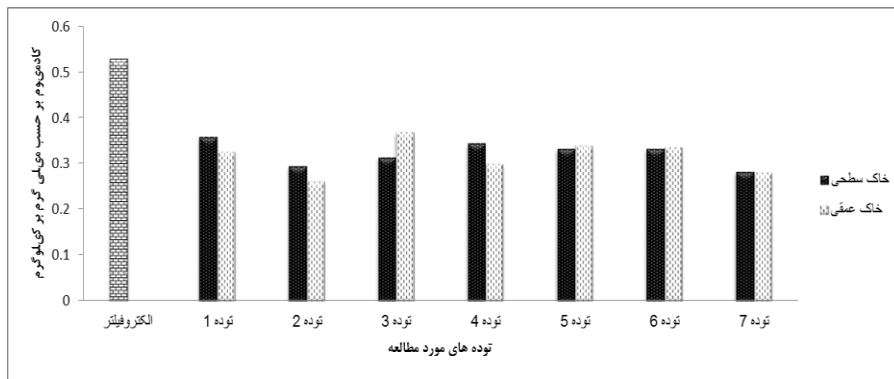
Table 2- Analysis of variance of heavy element sequestration in two depths in studied stands

عناصر	عمق خاک	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
کادمیوم	عمق ۰ - ۱۰ سانتی متری	۶	۰/۰۰۲	۰/۷۷۶	۰/۶۰۲
	عمق ۱۰ - ۲۰ سانتی متری	۶	۰/۰۰۴	۱/۹۳۰	۰/۱۴۶
روی	عمق ۰ - ۱۰ سانتی متری	۶	۰/۳۸۸	۴/۹۹۹	۰/۰۰۶
	عمق ۱۰ - ۲۰ سانتی متری	۶	۰/۱۶۷	۱/۳۳۳	۰/۳۰۶
سرب	عمق ۰ - ۱۰ سانتی متری	۶	۰/۳۰۲	۱/۰۳۱	۰/۴۴۶
	عمق ۱۰ - ۲۰ سانتی متری	۶	۰/۱۹۶	۰/۷۱۰	۰/۶۴۷
منگنز	عمق ۰ - ۱۰ سانتی متری	۶	۰/۷۵۶	۲/۱۸۳	۰/۱۰۷
	عمق ۱۰ - ۲۰ سانتی متری	۶	۰/۵۳۵	۲/۷۰۷	۰/۰۵۸

## نتایج ترسیب فلزات سنگین در الکتروفیلتر و خاک توده‌ها

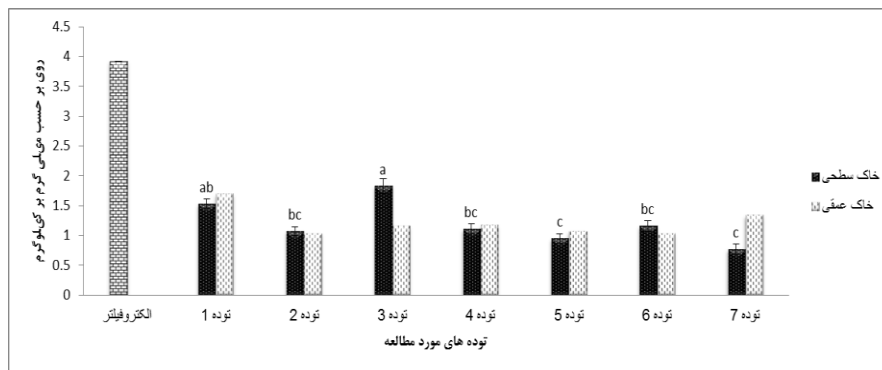
کیلوگرم)، روی (۳/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و منگنز (۳/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ترسیب شده در الکتروفیلتر کارخانه خیلی بیشتر از میزان ترسیب این سه عنصر در خاک توده‌ها می‌باشد (نمودارهای ۱، ۲، ۳ و ۴).

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان کادمیوم در الکتروفیلتر کارخانه که از نوع پیشرفته بگ هاووس می باشد (۰/۵۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تقریباً نزدیک به میزان کادمیوم ترسیب شده در خاک توده‌ها است، اما میزان سرب (۴۰/۲۵ میلی‌گرم بر



نمودار ۱- میزان کادمیوم خاک توده ها در عمق ۱۰ - ۰ و ۲۰ - ۱۰ سانتی متری خاک و الکتروفیلتر

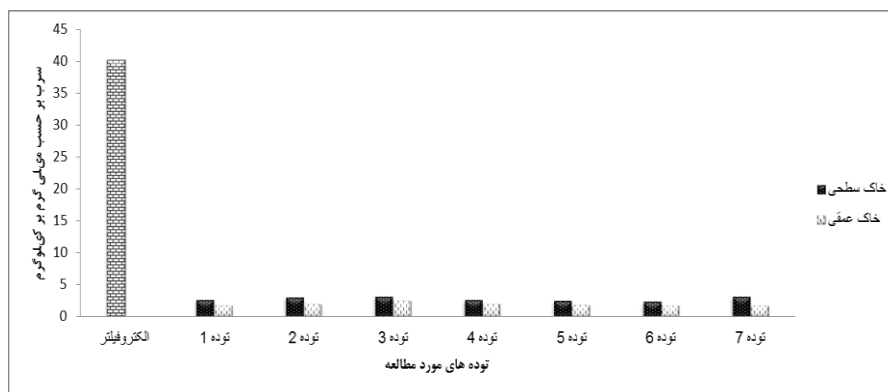
Chart 1- The amount of Cd of the stands in the depths of 0-10 and 10-20 cm soil and electrofilter



نمودار ۲- میزان روی خاک توده ها در عمق ۱۰ - ۰ و ۲۰ - ۱۰ سانتی متری خاک و الکتروفیلتر

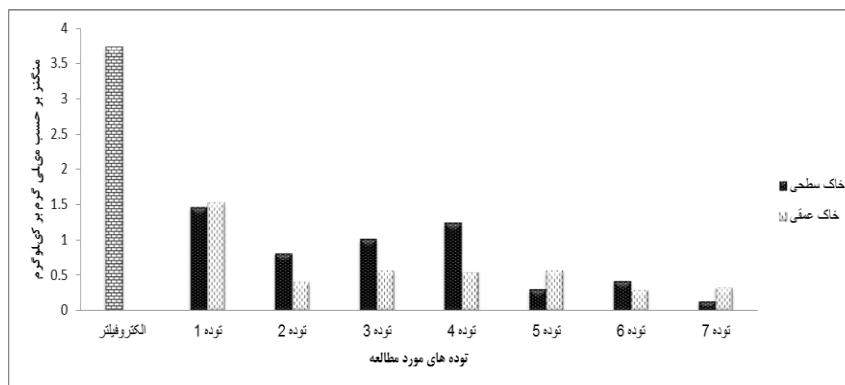
حروف نامتشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین میانگین ها می باشد

Chart 2- The amount of Zn on the stands at depths of 0-10 and 10-20 cm soil and electrofilter  
Nouns indicate that there is a significant difference between the means



نمودار ۳- میزان سرب خاک توده ها در عمق ۱۰ - ۰ و ۲۰ - ۱۰ سانتی متری خاک و الکتروفیلتر

Chart 3- The amount of Pb on the stands at depths of 0-10 and 10-20 cm soil and electrofilter



نمودار ۴- میزان منگنز خاک توده ها در عمق ۱۰ - ۲۰ و ۰ - ۱۰ سانتی متری خاک و الکتروفیلتر

Chart 4- The amount of Mn on the stands at depths of 0-10 and 10-20 cm soil and electrophilter

هر دو عمق مورد بررسی (۲/۳۵ و ۱/۷۴ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین میزان ترسیب منگنز (۰/۲۹ میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک عمقی را دارا بود (نمودارهای ۱، ۲، ۳ و ۴).

#### بحث و نتیجه گیری

از نظر مقایسه توده‌ها نتایج به‌گونه‌ای است که توده شماره ۱ که به خاطر وجود پایه‌های بلوط طبیعی از سایر گونه‌ها مجزا است، دارای بیشترین میزان ترسیب کادمیوم در خاک سطحی، روی در خاک عمقی و همچنین بیشترین میزان ترسیب منگنز در هر دو عمق مورد بررسی می‌باشد. به نظر می‌رسد وجود پایه‌های کهنسال بلوط طبیعی در این توده سبب این افزایش شده چرا که گونه بلوط دارای برگ‌های پهن و کرک‌دار می‌باشد که این امر باعث جذب بیشتر غبار و به ویژه عناصر سنگین شده‌است. این جذب از طریق روزنه‌ها وارد برگ و سپس بافت چوبی و در نهایت به ریشه و خاک منتقل می‌شود که این نتیجه با مطالعه دومینگوز و همکاران همخوانی دارد (۱۶). دومینگوز و همکاران در یک مطالعه گلخانه-ای ثابت کردند که گونه‌ی *Holm Oak* که یکی از گونه‌های بلوط است، بردباری بالایی در برابر آلودگی خاک به کادمیوم و روی دارد و ریشه آن در جذب این فلزات توانایی بالایی دارد. که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. توده ۳ نیز که دارای بیشترین تعداد گونه و به عبارتی آمیخته‌ترین توده می‌باشد، دارای بیشترین

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان ترسیب فلز سرب دارای یک نظم خاصی بوده و در تمام توده‌ها میزان سرب در عمق ۱۰ - ۰ سانتی متر بیشتر از ۲۰ - ۱۰ سانتی متر است و می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش عمق میزان ترسیب سرب کاهش می‌یابد. درحالی که برای سایر عناصر مورد بررسی این گونه نبود. بیشترین میزان ترسیب کادمیوم در خاک سطحی (۰/۳۵۸ میلی گرم بر کیلوگرم)، روی در خاک عمقی (۱/۶۹ میلی گرم بر کیلوگرم) و همچنین بیشترین میزان ترسیب منگنز در هر دو عمق مورد بررسی (۱/۴۶ و ۱/۵۳ میلی گرم بر کیلوگرم) در توده یک (توده بلوط طبیعی) مشاهده شد. علاوه بر این بیشترین میزان ترسیب روی در خاک سطحی (۱/۸۳ میلی گرم بر کیلوگرم)، میزان ترسیب کادمیوم در خاک عمقی (۰/۳۶۹ میلی گرم بر کیلوگرم) و همچنین بیشترین میزان ترسیب سرب در هر دو عمق مورد بررسی (۳/۱۵ و ۲/۴۷ میلی گرم بر کیلوگرم) در توده ۳ (آمیخته-ترین توده) مشاهده شد. از طرفی دیگر کمترین میزان ترسیب کادمیوم (۰/۲۸۳ میلی گرم بر کیلوگرم)، روی (۰/۷۷ میلی گرم بر کیلوگرم) و منگنز (۰/۱۳ میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک سطحی در توده شماره هفت دیده شد. همچنین کمترین میزان ترسیب کادمیوم (۰/۲۶۱ میلی گرم بر کیلوگرم) و روی (۱/۰۳ میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک عمقی در توده شماره دو مشاهده شد. علاوه بر این توده شماره ۶ کمترین میزان ترسیب سرب در



همانند کادمیوم و سرب بین توده‌های مورد مطالعه در دو عمق مورد بررسی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. نتیجه جالب توجه این که همانند ترسیب کادمیوم در خاک سطحی، توده شماره ۱ (توده بلوط طبیعی) نیز دارای بیشترین میزان ترسیب منگنز در هر دو عمق مورد بررسی می‌باشد. از طرفی دیگر توده ۷ همانند ترسیب کادمیوم و روی در خاک سطحی، دارای کمترین میزان ترسیب منگنز در خاک سطحی و توده ۶ همانند ترسیب سرب در دو عمق مورد بررسی، دارای کمترین میزان ترسیب منگنز می‌باشد (نمودار ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که میزان ترسیب فلز سرب دارای یک نظم خاصی بوده و در تمام توده‌ها میزان سرب در خاک سطحی بیشتر از خاک عمقی می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش عمق میزان ترسیب سرب کاهش می‌یابد (نمودار ۳) در حالی که برای سایر فلزات مورد بررسی چنین نظمی مشاهده نشد. میزان نشت فلزات سنگین به لایه‌های پایین تر 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، کانیه‌های رسی، کربنات کلسیم، اکسیدهای آهن و منگنز، قدرت یونی، جنس خاک، جذب سطحی ویژه، اندازه ذرات خاک و ویژگی‌های گیاه بر جذب و جذب فلزات، بستگی دارد (۱۷، ۱۸ و ۱۹). نتایج این تحقیق با یافته‌های سامانی مجد و همکاران، پیرسون و مجیدی و همچنین کراوت راجو و همکاران همخوانی دارد (۲۰، ۲۱ و ۲۲). مطالعات سامانی مجد و همکاران نشان داد که کلوئیدهای رسی موجود در سطح خاک با جذب سرب مانع از آب شویی و انتقال آن به لایه‌های پایین خاک می‌گردند و به همین دلیل بیشترین میزان غلظت سرب در افق‌های سطحی خاک قابل مشاهده است. آنها همچنین در مطالعه خود در بررسی آلودگی خاک حاشیه خیابان- های شهری به سرب و کادمیم چنین نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار غلظت سرب در قسمت سطحی خاک و مربوط به جذب و تثبیت آن در سطح خاک است. کراوت راجو و همکاران در تحقیق خود ثابت کردند که تجمع سرب در فاصله ۵ سانتی متری عمق

میزان ترسیب روی در خاک سطحی، میزان ترسیب کادمیوم در خاک عمقی و همچنین بیشترین میزان ترسیب سرب در هر دو عمق مورد بررسی می‌باشد. این توده دارای بیشترین تعداد گونه و به عبارت دیگر بیشترین تنوع گونه‌ای است که این تنوع گونه‌ای با گونه‌های مختلف پهن‌برگ و سوزنی‌برگ باعث ترسیب بیشتر توسط این گونه‌ها شده و در نهایت عناصر سنگین از طریق ریشه به خاک منتقل می‌شود. از نظر مقایسه ترسیب فلزات نیز نتایج به گونه ای بود که ترسیب کادمیوم در دو عمق مورد بررسی در بین توده‌ها اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. همانطور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار ترسیب کادمیوم در خاک سطحی در توده شماره ۱ (توده بلوط طبیعی) و کمترین مقدار در این عمق در توده ۷ وجود دارد. در خاک عمقی بیشترین مقدار ترسیب در توده ۳ (آمیخته ترین توده) و کمترین مقدار نیز در توده ۲ وجود دارد. علاوه بر این نتایج ترسیب فلز روی به گونه‌ای است که بین توده‌های مورد مطالعه در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری دارای اختلاف معنی‌دار، اما در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری بدون اختلاف هستند. همانطور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار ترسیب فلز روی در خاک سطحی در توده شماره ۳ (آمیخته ترین توده) و کمترین مقدار در این عمق همانند کادمیوم در توده ۷ وجود دارد. در خاک عمقی نیز بیشترین مقدار ترسیب در توده شماره ۱ (توده بلوط طبیعی) و کمترین مقدار نیز همانند ترسیب کادمیوم در خاک عمقی در توده ۲ وجود دارد. همچنین نتایج ترسیب سرب نشان داد که بین توده‌ها در دو عمق مورد بررسی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. نتیجه جالب توجه این که در تمام توده‌ها مقدار ترسیب در خاک سطحی بیشتر از خاک عمقی است به عبارت دیگر، می‌توان گفت که عامل عمق خاک در میزان ترسیب سرب موثر است. نتیجه جالب توجه دیگر این که توده شماره ۳ (آمیخته ترین توده) دارای بیشترین میزان ترسیب سرب در هر دو عمق مورد بررسی است. از طرفی دیگر توده ۶ دارای کمترین میزان ترسیب سرب در هر دو عمق مورد بررسی می‌باشد. (نمودار ۳). نتایج ترسیب منگنز نیز نشان داد که

کارخانه را تحت تاثیر قرار داده است. علاوه بر این نتایج نشان داد که توده ها نیز مقادیر زیادی از آلاینده ها (فلزات سنگین) را در خود جذب کرده اند. در مجموع می توان نتیجه گرفت بین درجه-ی آمیختگی و میزان ترسیب عناصر سنگین ارتباط مستقیم وجود دارد. به عبارتی دیگر هرچه توده ی جنگلی آمیخته تر باشد، میزان ترسیب عناصر سنگین نیز بیشتر است. علاوه بر این، در توده ایی که گونه بلوط طبیعی حضور داشت، میزان ترسیب عناصر بیشتر بود.

### تشکر و قدردانی

از زحمات آقایان دکتر علی یاسینی، عضو هیئت علمی دانشگاه ایلام (گروه مدیریت) و مهندس مهدی آذر کردار تشکر می گردد.

### Reference

1. Abasi, J., Salari, M., 2006. Environmental pollution of cement factories. Fifth Student Conference on Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian).
2. Gurjar, B., Butler, T., Lawrence, M., Lelieveld, J., 2008. Evaluation of emissions and air quality in megacities. Atmospheric Environment, Vol. 42. 1593-606.
3. Erfan manesh, M., Afuoni, M., 2000. Environmental pollution: water, soil and air. 1st edition, publication of Arcan, Isfahan, Vol. 1. (In Persian).
4. Torresday, JL., Videia, JRP., Rosa, GD., Parsons, J., 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X- ray absorption spectroscopy. Coordination chemistry Reviews, Vol. 249. 1797- 1810.
5. Pekey, H., Karakaş, D., Bakoglu, M., 2004. Source apportionment of trace

خاک دارای بیشترین مقدار بوده و با افزایش عمق خاک میزان غلظت سرب به سرعت کاهش می یابد، 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. پارساfer و معروفی در مطالعه خود که به منظور بررسی فلزات سنگین خاک بود، به این نتیجه رسیدند که بین دو عمق مورد نظر در سطح ۵٪ اختلاف معنی دار وجود دارد و بیشترین غلظت عناصر سنگین در عمق ۱۰ - ۰ سانتیمتری خاک مشاهده شد (۲۳). علاوه بر این استرک و ریچر در مطالعه خود گزارش کردند که حرکت عناصر سنگین در خاک بسیار کند بوده، به طوری که بیش از ۹۰٪ تجمع غلظت عناصر سنگین نیکل، روی، کادمیوم و سرب در عمق ۱۰ - ۰ سانتی متری خاک دیده می شود (۲۴). صالحی و همکاران در مطالعه خود به منظور بررسی میزان عناصر سنگین در دو توده جنگل کاری شده افاقیا که یکی از آنها با آب فاضلاب، و دیگری با آب چاه آبیاری شده بود، به این نتیجه رسیدند که غلظت تمام عناصر با افزایش عمق کاهش می یابد و بیان کردند بیشترین غلظت در لایه سطحی می باشد. آنها همچنین غلظت کم فلزات در عمق های پایین تر را به پویایی کم این فلزات در خاک نسبت دادند (۲۵). با توجه به نتایج به دست آمده نتیجه گرفته می شود که پوشش گیاهی مناسب در مناطق صنعتی که در عین حال بسیار کم هزینه است، می تواند راهکاری مناسب در مناطق آلوده باشد. به منظور اثرات گردوغبار ناشی از کارخانه سیمان و با توجه به کارکرد عینی کمربند سبز در تصفیه غبارسیمان خروجی کارخانه و همچنین ماده ۱۹ قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا که اشاره دارد واحدهای تولیدی مکلفند حداقل ۱۰٪ از فضای اختصاص یافته جهت احداث واحدهای تولیدی و خدماتی را به فضای سبز اختصاص دهند، بایستی سطح جنگل کاری ها و فضای سبز در منطقه افزایش یابد تا علاوه بر جذب آلاینده ها به زیبایی منظر منطقه نیز کمک کند. همچنین نتایج حاکی از آن بود که آلاینده های کارخانه سیمان ایلام و به ویژه فلزات سنگین توده های جنگل کاری شده حاشیه

- Eucalyptus microtheca*, *Cupressus arizonica* and *Robinia pseudo acasia* around Ilam city's cement plant. Journal of Health in the Field, Vol.5. 36-41. (In Persian).
14. Mortazavi, S., Rahmani, J., Chamani, A., 2018. Biomonitoring of Heavy Metals using *Phragmites australis* in Hashilan Wetland, Kermanshah. Journal of Environmental Science and Technology. Vol 19. 67-79.
  15. Lindsay, W., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal, Vol. 42. 421-428.
  16. Dominguez, M.T., Madrid, F., Maranon, T., Murillo, J.M., 2009. Cadmium availability in soil and retention in oak roots Potential for phytostabilization. Chemosphere, Vol. 76. 480-486.
  17. Achiba, W.B., Gabteni, N., Lakhdar, A., Laing, G.D., Verloo, M., Jedidi, N., 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol. 130. 156-63.
  18. Egiarte, G., Camps Arbestain, M., Ruiz Romera, E., Pinto, M., 2006. Study of the chemistry of an acid soil column and of the corresponding leachates after the addition of an anaerobic municipal sludge. Chemosphere, Vol. 65. 56-67.
  19. Hseu, ZY., 2006. Extractability and bioavailability of zinc over time in three tropical soils incubated with biosolids. Chemosphere, Vol. 63. 62-71.
  6. Ouyang, Y., Higman, J., Thompson, J., Toole, T., Campbell, D., 2002. Characterization and spatial distribution of heavy metals in sediment from Cedar and Ortega rivers subbasin. Journal of Contaminant Hydrology, Vol. 54. 19-35.
  7. Terry, N., Banuelos, G., 2000. Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Lewis Pub Boca Raton.
  8. Chaney, R.L., Malik, M., Lim, Y.M., Brown, S.L., Brewer, E.P., Angle, J.S., Baker, A.J.M., 1997. Phytoremediation of soil metals. Curr. Journal of Opinion Biotechnol, Vol. 8. 279-284.
  9. Raskin, I., Kumar, N.A., Dushenkov, V., Salt, D.E., 1994. Bioconcentration of heavy metals by plants Curr. Journal of Opin. Biotechnol, Vol. 5. 285-290.
  10. Mikanova, O., 2006. Effect of heavy metals on some soil biological parameters. Journal of Geochemical Exploration, Vol. 88. 220-223.
  11. Isikli, B., Demir, T.A., Urer, S.M., Berber, A., Akar, T., Kalyoncu, C., 2003. Effects of Chromium exposure from a cement factory. Environmental research. Vol. 91. 113-118.
  12. Norpour, A., Kazemi Shahabi, M. 2014. Modeling the distribution of air pollutants from the chimney of Ilam cement factory. Journal of Civil and Environmental Engineering. Vol. 44. 12-26. (In Persian).
  13. Panah, A., Karamshahi, A., Mirzaei, J., Heydari, M., 2017. Sequestration of heavy metals in the soil and leaves of

- Agriculture, Vol. 27. 45-57. (In Persian).
24. Salehi, A., Tabari, M., Mohammadi, J., Ali Arab, A. 2008. Accumulation of heavy metals of lead, zinc, nickel and copper in soil and leaves of *Robinia Pseudoacasia* under the influence of urban sewage. Special edition of natural resources. Vol.21.92-100. (In Persian).
25. Streck, T., and J. Richter., 1997. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale, Measurements and parameterization of sorption. Journal of Environmental Quality, Vol. 26. 49-56.
20. Samani Majd, S., Taebi, A., Afuni, M., 2007. Pollution of Street Margin Soil to Pb and Cd. Journal of Environmental Studies, Vol. 33. 1-10.
21. Majdi, H., Persson, H., 1989. Effects of road traffic pollutants (lead and cadmium) on tree fine root along a motor road. Journal of Plant and Soil, Vol.119. 1-5.
22. Kruatrachue, M., Rotkittikhun, P., Chaiyarat, R., Paijitprapaporn, A., Baker, AJM., 2006. Uptake and accumulation of lead by plants from the Bo Ngam lead mine area in Thailand. Journal of Environmental Pollution, Vol.144. 681-688.
23. Parsafar, N., Maroufi, P., 2013. Effect of sewage application on heavy element aggregation in soil profile under greenhouse-lysimetric conditions. Journal of Water Research in