جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۴، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۰
ص ۸۵-۹۵ (پژوهشی)
DOI: 10.22059/jfwp.2020.305046.1115

تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف درختان کاج تهران و سرو نقره‌ای در محدوده کارخانه ذوب‌آهن اصفهان

رضا یاوریان[۱]، علی صالحی[۲*]، محسن محمدی گلنگش[۳]

۱. دانشجوی دکترای جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران
۲. دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران
۳. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۲

چکیده

با توجه به اهمیت پایش و کنترل غلظت عناصر سمّی در محدوده صنایع بزرگ، پژوهش حاضر با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین در کالبد گونه‌های جنگلکاری شده در اطراف کارخانه ذوب‌آهن اصفهان به انجام رسید. بدین منظور تعداد پنج نمونه گیاهی از ریشه، برگ و تنه درختان هر یک از گونه‌های کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green var. arizonica) در دو فاصله ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری از منبع آلودگی جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس با عصاره‌گیری از نمونه‌های برداشت شده، غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، آهن، منگنز، روی، مس، نیکل و کروم موجود در عصاره آنها با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. مقایسه غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه و بررسی اثر فاصله از منبع آلودگی بر غلظت این عناصر با آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن و مقایسه غلظت فلزات سنگین بین دو گونه با آزمون t مستقل انجام شد. نتایج پژوهش نشان‌دهنده غلظت بیشتر عناصر سنگین در ریشه گیاهان مورد بررسی نسبت به تنه و برگ بود. همچنین، غلظت فلزات جذب شده توسط کاج تهران به شکل معنی‌داری از گونه سرو نقره‌ای بیشتر بود. غلظت عناصر مورد بررسی در گونه کاج تهران در فاصله ۱۰۰۰ متری از منبع آلودگی از فاصله ۵۰۰ متری بیشتر به‌دست آمد در حالی که اختلاف معنی‌داری از نظر غلظت فلزات در اندام‌های سرو نقره‌ای در فواصل مذکور مشاهده نشد. نتایج مطالعه حاضرنشان دهنده پتانسیل بالاتر گونه کاج تهران در امر جذب فلزات سنگین در مناطق صنعتی است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، جذب اتمی، سرب، گیاه پالایی، کروم.

مقدمه

با توجه به رشد صنعتی شدن سریع و توسعه شهرنشینی در سال‌های اخیر، مشکل آلودگی خاک با فلزات سنگین نگرانی‌های زیادی را به وجود آورده است. پیشرفت سریع صنایع و فعالیت‌های شدید انسانی در مناطق شهری مشکل آلودگی فلزات سنگین در خاک این مناطق را تشدید کرده است [۱]. فلزات سنگین موجود در خاک دارای دو منبع اصلی می‌باشند؛ نخست منبع طبیعی که شامل گروهی از فلزات سنگین در محیط زیست است که به طور طبیعی از فرآیندهای هوازدگی سنگ مادر وارد خاک می‌شوند [۲] و دوم منابع انسانی که گروهی دیگر از عناصر که در نتیجه فعالیت‌های انسانی، مانند معدن، ذوب

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۱۳۸۷۷۳۴
Email: asalehi70@hotmail.com

فلزات، آبکاری، سوخت و انرژی، انتقال نیرو، کشاورزی، لجن تصفیه خانه‌ها، خودروها، ضایعات صنایع، رسوب گرد و غبار، ریزگردها، سوخت زغال سنگ و باران اسیدی از عوامل اصلی آلودگی فلزات سنگین در این بخش می‌باشند [۱، ۳]. فلزات سنگین تولید شده توسط فعالیت‌های انسانی موجود در خاک از جا به جایی گسترده‌ای در سطح خاک برخوردارند، بنابراین دسترسی زیستی بیشتری برای جذب گیاهان دارند [۲، ۴]. از آنجایی که فلزات سنگین به طور طبیعی در خاک وجود دارند، تجمع تدریجی آنها در اثر فعالیت‌های انسانی، شناسایی و تخصیص منابع تولید کننده این عناصر و روش‌های کاهش و کنترل آنها جهت جلوگیری از آلودگی‌های محیطی امری چالش برانگیز می‌باشد.

تحقیقات در زمینه کاربرد موجودات زنده و به ویژه گیاهان و درختان در پالایش خاک‌های آلوده به ترکیبات مختلف آلی و معدنی و به ویژه فلزات سنگین در چند سال اخیر اهمیت زیادی یافته است که تحت عنوان زیست‌پالایی[1] و گیاه پالایی[2] مطرح می‌باشند [۵]. امروزه استفاده از گیاهان جهت پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به دلیل ارزانی، سادگی، استفاده از انرژی خورشید، مقبولیت همگانی، انجام پالایش در محل، کاهش مواد و ترکیبات سمی، حفظ و نگهداری کیفیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک مقبولیت اجتماعی یافته است. رویکرد طبیعی و زیست‌محیطی، کنترل نشتاب و جلوگیری از نفوذ آن به آب‌های زیرزمینی، تلطیف هوا از طریق جذب ذرات و گازهای آلاینده به ویژه گاز کربنیک و به دنبال آن تعدیل اثر گلخانه‌ای در اتمسفر را می‌توان از مزایای دیگر این روش حذف آلودگی محیطی دانست [۶، ۷]. هودجی و صدر ارحامی (۱۳۸۶) به بررسی غلظت منگنز و نیکل در خاک و اندام های هوایی (برای گیاهان یک ساله ساقه و برگ و برای گیاهان چند ساله و چوبی فقط برگ برخی از گیاهان مستقر در اطراف کارخانه ذوب آهن اصفهان شامل گیاهان بومی و گیاهان استفاده شده در کشاورزی پرداختند و اعلام کردند که حداکثر غلظت منگنز در اندام هوایی درخت سنجد و مو و حداکثر غلظت نیکل در اندام‌های هوایی گیاهان فرفیون و مو می باشد [۸]. کرد و همکاران (۱۳۹۰) گیاه پالایی عنصر سرب را به وسیله گونه‌های درختی کاج تهران سرو نقره‌ای و اقاقیا در خاک‌های آلوده شهری تهران مورد بررسی قرار دادند که نتایج این محققین نشان داد که غلظت سرب در اندام هوایی بیشتر از اندام زیرزمینی می باشد [۹]. ذوفن و همکاران (۱۳۹۱) میزان تجمع فلزات سنگین نیکل، منگنز، روی، آهن و سرب را در خاک و پوشش گیاهی اطراف مناطق صنایع تولید فولاد در جنوب شرق شهر اهواز واقع در جاده بندر امام ماهشهر را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که غلظت فلزات در پوشش گیاهی منطقه از حد آستانه تعریف شده برای گیاهان بیش تجمع‌کننده کمتر است و تصور می‌شود که گونه‌های گیاهی انتخاب شده توانایی تجمع و انباشت فلزات مورد مطالعه را در بخش هوایی خود دارند [۱۰]. رضانژاد و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی و مقایسه دو گونه کاج سیاه و کاج تهران در جذب آلودگی‌های معدن مس سرچشمه پرداختند و گونه کاج سیاه را به عنوان شاخص آلاینده‌ها و گونه کاج تهران را به عنوان گیاه مقاوم‌تر برای کاشت معرفی کردند [۱۱].

کارخانه ذوب‌آهن اصفهان یکی از عظیم‌ترین صنایع زیربنایی کشور و اولین تولید کننده محصولات فولادی ایران به شمار می‌رود. با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی این کارخانه (نزدیک بودن به رودخانه زاینده‌رود، شهرهای پرجمعیت و زمین‌های کشاورزی)، ایجاد درکی روشن از غلظت فلزات سنگین در محدوده این کارخانه برای اخذ تصمیمات مدیریتی در این زمینه

1. Bioremediation
2. Phytoremediation

ضروری به نظر می‌رسد. لذا، هدف از پژوهش حاضر بررسی غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گونه‌های غالب جنگلکاری شده در محدوده کارخانه ذوب آهن می‌باشد که به معرفی گونه با سازگاری بیشتر در زمینه جذب عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه منجر خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از اراضی حاشیه محدوده کارخانه ذوب‌آهن اصفهان است که در شمال و شمال غرب شهرستان زرین‌شهر واقع شده است. این منطقه بین طول جغرافیایی ′۱۸ °۵۱ و ′۲۳ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ′۲۴ °۳۲ تا ′۲۶ °۳۲ شمالی واقع شده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۷۶۸ متر، میانگین بارندگی سالیانه آن ۱۵۷/۷ میلی‌متر و میانگین دمای منطقه ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد است. سرعت باد غالب در منطقه ۲/۹ متر بر ثانیه و سرعت شدیدترین باد منطقه‌ای ۱۴ متر بر ثانیه است [۱۲]. عمده پوشش گیاهی منطقه را جنگل‌های دست‌کاشت تشکیل می‌دهد. سطح این توده‌های دست‌کاشت ۱۶ هزار هکتار گزارش شده است که نزدیک به دو هزار هکتار آن را توده‌های سوزنی‌برگ سرو نقره‌ای و کاج تهران و مابقی را انواع پهن‌برگان ازجمله گونه‌های اقاقیا، لیلکی، زبان گنجشک، توت و بادام کوهی تشکیل می‌دهد [۱۲]. خاک منطقه غالباً نیمه‌عمیق و همراه با بلورهای گچی و آهکی می‌باشد [۱۲]. نعیمی مرندی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه خود غلظت عناصر سرب و نیکل در خاک محوطه ذوب‌آهن اصفهان را در مورد بیشتر نمونه‌های سطحی و عمقی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور هلند گزارش کرده‌اند [۱۳].

شکل ۱. موقعیت مکانی کارخانه ذوب آهن و نمایی از جنگلکاری‌های انجام شده در آن (منبع: تارنمای کارخانه)

روش پژوهش

نمونه‌برداری

در این پژوهش ابتدا جهت اصلی وزش باد با استفاده از نقشه گلباد منطقه مشخص شد. بر اساس مطالعه آرمند و همکاران (۱۳۹۸) بیشترین میزان آلودگی در مراکز صنعتی تا شعاع هزار متری ثبت شده است [۱۴]. بنابراین در پژوهش حاضر نمونه‌برداری از گونه‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای در دو فاصله ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری از محدوده صنعتی کارخانه ذوب‌آهن اصفهان و در جهت اصلی وزش باد یعنی غرب و شمال غربی انجام شد [۱]. بر این اساس از دو گونه گیاهی مطرح شده به تعداد پنج تکرار از نمونه‌های اندام هوایی شامل تنه با استفاده از مته سال

سنج، ترکیب مخروط، برگ و بذور (که در نتایج به صورت خلاصه به عنوان برگ آمده است) با استفاده از قیچی باغبانی و نمونه‌های ریشه با کنار زدن خاک اطراف ریشه و استفاده از قیچی باغبانی و اره، جمع‌آوری و ضمن حفظ دمای ظرف انتقال در شرایط سرد (برای جلوگیری از پلاسیدگی) [۲] به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شدند. به طور کلی برای سه بخش مورد بررسی (ریشه، تنه، و ترکیب برگ و مخروط) در هر فاصله ۱۵ نمونه (۳۰ نمونه برای دو فاصله ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر) و در مجموع ۶۰ نمونه گیاهی از دو گونه مورد مطالعه جهت بررسی به کار برده شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها و تهیه عصاره

برای زدودن گرد و غبار از سطح گیاه، ابتدا نمونه‌های گیاهی با آب مقطر شسته شد. سپس برای حذف فلزات سنگین از سطح ریشه گیاهان علفی از محلول ۲۰ میلی‌مول در لیتر Na^2-EDTA استفاده شد [۱۵، ۱۶]. کلیه نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون با درجه حرارت ۷۲ درجه سانتی‌گراد جهت تعیین وزن خشک قرار داده شدند. پروتکل انتخابی برای سنجش غلظت عناصر، هضم نمونه‌های گیاهی با استفاده از اسید نیتریک ۶۵ درصد گرم و آب اکسیژنه ۳۰ غلظت سنجی عناصر با دستگاه ICP است [۱۷].

اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین

برای تعیین مقادیر فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، آهن، منگنز، روی، مس، نیکل و کروم) در عصاره‌های به‌دست آمده از اندام‌های گیاهی از دستگاه ICP مدل Perkin (Elmer-Optima) استفاده شد [۱۶].

تجزیه و تحلیل‌های آماری

به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها، از آزمون کولموگروف–اسمیرنف استفاده شد. به منظور بررسی تأثیر فاصله از منبع آلودگی بر غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گونه‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده و بررسی اثرات توأم فاصله و اندام گیاهی با تجزیه واریانس دو عامله انجام شد. همچنین از آزمون مقایسه میانگین دانکن جهت مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف (تنه، برگ و ریشه) گونه‌های بررسی شده استفاده شد. به منظور مقایسه غلظت فلزات سنگین در دو گونه بررسی شده نیز از آزمون t مستقل استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری پژوهش در محیط نرم‌افزار SPSS (22) انجام شد.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی مقادیر غلظت فلزات سنگین در اندام‌های هوایی (ترکیب برگ و مخروط و تنه) و زیرزمینی (ریشه) گونه کاج تهران نشان می‌دهد که کمترین مقدار غلظت فلزات سنگین در اندام تنه و بیشترین مقدار غلظت فلزات سنگین در اندام ریشه کاج تهران وجود دارد (جدول ۱).

نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاصله از منبع آلودگی بر غلظت فلزات سنگین در اندام‌های هوایی و ریشه گونه کاج تهران نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت همه فلزات سنگین در اندام‌های مختلف بررسی شده وجود دارد. همچنین تأثیر فاصله از منبع آلودگی بر غلظت همه فلزات سنگین بررسی شده معنی‌دار بود. تأثیر فاصله از منبع آلودگی و اندام گیاهی بر غلظت فلزات سنگین سرب، آهن، روی و مس نیز معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۱. آماره‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گونه کاج تهران (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

فلزات سنگین	اندام گیاهی	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات	چولگی	ضریب کشیدگی
کادمیوم	تنه	۱۰	۰/۷۵۴	±۰/۰۵۹	۰/۶۵	۰/۸۳	۰/۰۷	−۰/۵۶	−۰/۹۳
	برگ	۱۰	۱/۴۰	±۰/۱۰۵	۱/۲۵	۱/۵۶	۰/۰۷	۰/۰۵۹	−۱/۴۰
	ریشه	۱۰	۱/۸۵	±۰/۰۷۹	۱/۶۹	۱/۹۸	۰/۰۴	−۰/۷۳	۱/۳۸
سرب	تنه	۱۰	۳/۰۳	±۰/۰۳۳	۲/۹۹	۳/۱۰	۰/۰۱	۰/۵۵	−۰/۲۱
	برگ	۱۰	۳/۴۲	±۰/۱۳۶	۳/۲۰	۳/۶۱	۰/۰۳	−۰/۲۶	−۱
	ریشه	۱۰	۴/۳۵	±۰/۱۲۰	۴/۱۹	۴/۵۲	۰/۰۲	۰/۰۷	−۱/۵۲
آهن	تنه	۱۰	۵۸۴/۶۵	±۶/۶۶	۵۷۲/۳۲	۵۹۴/۳۲	۰/۰۱	−۰/۲۸	−۰/۲۹
	برگ	۱۰	۶۵۷/۴۹	±۱۶/۸۳	۶۳۴/۳۳	۶۸۱/۲۰	۰/۰۲	۰/۱۰	−۱/۴
	ریشه	۱۰	۹۹۴/۰۳	±۳۷/۲	۹۴۵/۳	۱۰۵۴/۲	۰/۰۳	۰/۵۶	−۱/۲۶
منگنز	تنه	۱۰	۷۵/۹۱	±۳/۸۳	۶۸/۹۵	۸۱/۰۵	۰/۰۴	−۰/۳۸	−۰/۶۶
	برگ	۱۰	۹۴/۹۲	±۲/۹۱	۸۹/۶۱	۹۸/۱۲	۰/۰۳	−۰/۸۳	−۰/۶۹
	ریشه	۱۰	۱۱۸/۸	±۳/۳۳	۱۱۴/۲	۱۲۵/۳	۰/۰۲	۰/۴۵	−۱/۰۴
روی	تنه	۱۰	۱۰/۵۸	±۰/۳۱۸	۱۰/۱	۱۱/۱	۰/۰۳	۰/۳۵	−۱/۱۹
	برگ	۱۰	۱۱/۷۳	±۰/۰۸۲	۱۱/۵	۱۱/۸	۰/۰۰۶	−۰/۳۲	−۰/۲۷
	ریشه	۱۰	۱۲/۷	±۰/۳۰۹	۱۲/۳	۱۳/۲	۰/۰۲	۰/۶۸	−۱/۸۰
مس	تنه	۱۰	۳/۵۵	±۰/۲۰۷	۳/۲۸	۳/۸۵	۰/۰۵	۰/۲۱	−۱/۳۵
	برگ	۱۰	۴/۸۳	±۰/۰۵۲	۴/۷۵	۴/۹۱	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۶۸
	ریشه	۱۰	۵/۲۴	±۰/۰۷۰	۵/۱۶	۵/۳۶	۰/۰۱	۰/۳۵	−۱/۳۵
نیکل	تنه	۱۰	۰/۹۱۲	±۰/۰۴۹	۰/۸۱	۰/۹۸	۰/۰۵	−۰/۸۸	۱
	برگ	۱۰	۱/۲۳	±۰/۰۹۱	۱/۰۹	۱/۳۷	۰/۰۷	−۰/۰۹	−۰/۸۸
	ریشه	۱۰	۱/۹۷	±۰/۱۰۷	۱/۷۸	۲/۱۵	۰/۰۵	−۰/۰۶	۱/۳۴
کروم	تنه	۱۰	۰/۷۲۵	±۰/۰۲۵	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۰۳	−۰/۶۰	−۰/۳۸
	برگ	۱۰	۰/۹۰۶	±۰/۰۲۹	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۰۳	−۰/۰۶	−۰/۹۶
	ریشه	۱۰	۱/۶۴	±۰/۰۶۰	۱/۵۸	۱/۷۳	۰/۰۳	۰/۳۱	−۱/۸۸

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر فاصله از منبع آلودگی بر غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گونه کاج تهران

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کادمیوم	سرب	آهن	منگنز	روی	مس	نیکل	کروم
اندام گیاهی	۲	۳/۰۶*	۴/۶۰*	۴۷۶۹۱۵/۴*	۴۶۲۵/۶*	۱۱/۷۳*	۷/۷۹*	۲/۹۴*	۲/۳۹*
فاصله	۱	۰/۱۱۰*	۰/۱۸۴*	۸۰۸۸/۱*	۲۰۱/۰۳*	۱/۲۰*	۰/۲۲۹*	۰/۱۱۵*	۰/۰۱۷*
فاصله × اندام گیاهی	۲	۰/۰۰۴ns	۰/۰۲۵*	۱۵۵۴/۷*	۲/۴۴ns	۰/۱۴۶*	۰/۰۵۶*	۰/۰۰۷ns	۰/۰۰۲ns
خطا	۲۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۱۷۵/۵	۴/۲۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد و ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد

نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در تیمارهای مختلف بررسی شده (دو تیمار فاصله و سه تیمار اندام گیاهی) گونه کاج تهران نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین همه تیمارهای بررسی شده وجود دارد و تنها در مورد غلظت فلزات سنگین سرب، آهن، نیکل و کروم بین دو فاصله ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری اندام تنه، اختلاف معنی‌دار وجود ندارد (جدول ۳).

بر اساس نتایج، کمترین مقدار غلظت فلزات سنگین در گونه سرو نقره‌ای مربوط به اندام تنه و بیشترین مقدار غلظت فلزات سنگین مربوط به اندام ریشه است. آماره‌های توصیفی مقادیر غلظت فلزات سنگین در اندام‌های هوایی (برگ و تنه) و زیرزمینی (ریشه) گونه سرو نقره‌ای در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۳. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در فواصل و اندام‌های مختلف گونه کاج تهران

فاصله	اندام گیاهی	فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم)							
		کادمیوم	سرب	آهن	منگنز	روی	مس	نیکل	کروم
۵۰۰ متر	تنه	۰/۷۰±۰/۰۴^{a}	۳/۰۱±۰/۰۱^{a}	۵۷۹/۵±۴/۲^{a}	۷۲/۷±۲/۴^{a}	۱۰/۳±۰/۱۰^{a}	۳/۳±۰/۰۹^{a}	۰/۸۸±۰/۰۴^{a}	۰/۷۱±۰/۰۲^{a}
۱۰۰۰ متر	تنه	۰/۸۰±۰/۰۱^{b}	۳/۰۵±۰/۰۳^{a}	۵۸۹/۷±۴/۰^{a}	۷۹/۰±۱/۶^{b}	۱۰/۸±۰/۱۹^{b}	۳/۷±۰/۱۲^{b}	۰/۹۴±۰/۰۲^{a}	۰/۷۳±۰/۰۲^{a}
۵۰۰ متر	برگ	۱/۳۱±۰/۰۵^{c}	۳/۳۱±۰/۰۸^{b}	۶۴۳/۱±۷/۰^{b}	۹۲/۷±۲/۶^{c}	۱۱/۶±۰/۰۶^{c}	۴/۸±۰/۰۴^{c}	۱/۱±۰/۰۵^{b}	۰/۸۸±۰/۰۲^{b}
۱۰۰۰ متر	برگ	۱/۴۸±۰/۰۶^{d}	۳/۵۳±۰/۰۵^{c}	۶۷۱/۸±۸/۴^{c}	۹۷/۰±۰/۷^{d}	۱۱/۷±۰/۰۴^{c}	۴/۸±۰/۰۴^{c}	۱/۳±۰/۰۴^{c}	۰/۹۲±۰/۰۲^{b}
۵۰۰ متر	ریشه	۱/۸۰±۰/۰۷^{e}	۴/۲۵±۰/۰۵^{d}	۹۶۴/۲±۱۴/۴^{d}	۱۱۶/۳±۲/۰^{e}	۱۲/۴±۰/۰۸^{d}	۵/۱±۰/۰۱^{d}	۱/۸±۰/۰۷^{d}	۱/۶±۰/۰۲^{c}
۱۰۰۰ متر	ریشه	۱/۹۰±۰/۰۴^{f}	۴/۴۶±۰/۰۶^{e}	۱۰۲۳/۸±۲۶/۲^{e}	۱۲۱/۳±۲/۳^{f}	۱۳/۰±۰/۱۴^{e}	۵/۳±۰/۰۳^{e}	۲/۰±۰/۰۷^{e}	۱/۶±۰/۰۵^{d}

حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد است. مقادیر نشان دهنده میانگین همراه با انحراف معیار می‌باشند.

جدول ۴. آماره‌های توصیفی مقادیر فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گونه سرو نقره‌ای (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

فلزات سنگین	اندام گیاهی	تعداد نمونه‌ها	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	ضریب کشیدگی
کادمیوم	تنه	۱۰	۰/۳۵۲	۰/۲۸	۰/۴۱	۰/۰۴۵	۰/۱۲	−/۳۷	−۰/۸۳
	برگ	۱۰	۰/۷۳۴	۰/۶۸	۰/۸۱	۰/۰۴۳	۰/۰۵	−۰/۴۴	−۰/۷۸
	ریشه	۱۰	۰/۹۲۳	۰/۸۵	۱/۰۱	۰/۰۵۴	۰/۰۵	۰/۱۵	−۰/۹۷
سرب	تنه	۱۰	۰/۸۰۸	۰/۷۵	۰/۸۶	۰/۰۳۹	۰/۰۵	−۰/۱۰	−۱/۲۹
	برگ	۱۰	۱/۹۹	۱/۸۹	۲/۳۰	۰/۱۱۵	۰/۰۵	۲,۳۲	۶/۵۱
	ریشه	۱۰	۲/۲۱	۲/۰۷	۲/۹۰	۰/۲۴۶	۰/۱۱	۲/۸۹	۱/۳۳
آهن	تنه	۱۰	۱۳۲/۰۱	۱۱۵/۲	۱۴۹/۸	۹/۵۴	۰/۰۷	۰/۳۱	۰/۸۸
	برگ	۱۰	۴۴۰/۹	۴۲۵/۳	۴۵۳/۹	۹/۲۰	۰/۰۲	−۰/۲۵	−۰/۷۷
	ریشه	۱۰	۶۰۶/۱۰	۵۸۹/۲	۶۱۵/۵	۷/۴۶	۰/۰۱	−۱/۲۳	۲/۱۴
منگنز	تنه	۱۰	۶۵/۲۹	۵۸/۷	۷۱/۲	۴/۱۵	۰/۰۶	−۰/۱۸	−۰/۹۹
	برگ	۱۰	۷۹/۰۹	۷۶/۸	۸۱/۰	۱/۴۵	۰/۰۱	−۰/۰۹۴	−۱/۴۴
	ریشه	۱۰	۸۸/۲۷	۸۸/۰	۸۸/۵	۰/۱۴۹	۰/۰۰۱	۰/۲۰	۰/۳۴
روی	تنه	۱۰	۴/۸۷	۴/۶۵	۵/۲۰	۰/۱۷۷	۰/۰۳	۰/۴۴	−۰/۶۷
	برگ	۱۰	۱۰/۵۸	۹/۰۶	۱۱/۳۵	۰/۶۸۹	۰/۰۶	−۱/۲۸	۱/۶۵
	ریشه	۱۰	۱۴/۲۴	۱۳/۵۸	۱۵/۰۲	۰/۴۳۲	۰/۰۳	۰/۳۰	۱/۳۳
مس	تنه	۱۰	۱/۵۸	۱/۳۴	۱/۷۳	۰/۱۳۰	۰/۰۸	−۰/۵۹	−۰/۵۶
	برگ	۱۰	۴/۳۳	۴/۲۲	۴/۴۱	۰/۰۶۳	۰/۰۱	−۰/۶۹	−۰/۵۵
	ریشه	۱۰	۴/۶۷	۴/۴۵	۴/۸۶	۰/۱۰۵	۰/۰۲	−۰/۵۷	۲/۲۶
نیکل	تنه	۱۰	۰/۶۵۸	۰/۵۷	۰/۷۲	۰/۰۵۳	۰/۰۸	−۰/۵۰	−۱/۲۵
	برگ	۱۰	۱/۴۱	۱/۳۳	۱/۴۸	۰/۰۵۰	۰/۰۳	−۰/۴۹	−۰/۸۹
	ریشه	۱۰	۱/۵۳	۱/۴۸	۱/۶۱	۰/۰۴۹	۰/۰۳	۰/۴۰	−۱/۱۴
کروم	تنه	۱۰	۰/۲۲۱	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۰۷۲	۰/۳۲	−۰/۳۶	−۱/۲۵
	برگ	۱۰	۱/۳۰	۱/۱۵	۱/۴۵	۰/۰۸۲	۰/۰۶	−۰/۱۶	۰/۸۱
	ریشه	۱۰	۱/۶۷	۱/۴۹	۱/۸۱	۰/۰۹۷	۰/۰۵	۰/۴۷	۱/۳۳

نتایج آزمون تجزیه واریانس تأثیر فاصله از منبع آلودگی بر غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گونه سرو نقره‌ای نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت همه فلزات سنگین در اندام‌های مختلف بررسی شده وجود دارد در حالی که تأثیر فاصله از منبع آلودگی تنها بر غلظت فلزات آهن و کروم معنی‌دار بود. همچنین تأثیر توام فاصله از منبع آلودگی و اندام گیاهی بر غلظت همه فلزات سنگین معنی‌دار به‌دست نیامد (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در تیمارهای مختلف بررسی شده (دو تیمار فاصله و سه تیمار اندام گیاهی) گونه سرو نقره‌ای نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین اندام‌های مختلف از نظر غلظت فلزات وجود دارد ولی اختلاف معنی‌داری بین میانگین غلظت فلزات سنگین مربوط به هر اندام گیاهی در دو فاصله با یکدیگر مشاهده نشد (جدول ۶).

در این مطالعه به بررسی غلظت فلزات سنگین در اندام‌های هوایی و ریشه گونه‌های درختی کاج تهران و سرو نقره‌ای در محوطه کارخانه ذوب‌آهن اصفهان پرداخته شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، میانگین غلظت همه فلزات سنگین بررسی شده در ریشه گیاهان مورد بررسی بیشتر از میزان آن در اندام‌های هوایی آنان است (جداول ۳ و ۶). با توجه به اینکه ریشه نخستین اندام گیاه است که با عناصر سمی خاک تماس دارد، به‌طور معمول مقدار تجمع فلزات در ریشه گیاهان بیشتر از بخش‌های روی زمینی آن است [۱۸]. انباشت فلزات سمی در ریشه گیاه در واقع سازگاری برای محافظت بخش‌های هوایی گیاه در برابر سمیت ناشی از این فلزات در غلظت‌های زیاد است. از طرفی گیاهان تجمع کننده‌ی فلزهای سنگین توانایی کمی در انتقال آلاینده از ریشه به اندام‌های هوایی خود دارند [۲]. مطالعات انجام شده، تثبیت و تجمع فلز سنگین در ریشه و ممانعت انتقال آن به اندام هوایی برخی گیاهان را حاصل تثبیت آلاینده‌های فلزی در واکوئل‌ها و سلول‌های ریشه می‌دانند [۶، ۱۵، ۱۸].

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر فاصله از منبع آلودگی بر غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گونه سرو نقره‌ای

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کادمیوم	سرب	آهن	منگنز	روی	مس	نیکل	کروم
اندام گیاهی	۲	۰/۸۴۶*	۵/۷۲*	۵۷۹۰۳۵/۳*	۱۳۳۸/۴*	۲۲۲/۸*	۲۸/۷۸*	۲/۲۶*	۵/۷۰*
فاصله	۱	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۷۹^{ns}	۴۶۳/۹*	۱۴/۸^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۰/۰۱۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۶۰*
فاصله × اندام گیاهی	۲	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۳۱^{ns}	۴۴/۰۷^{ns}	۳/۲^{ns}	۰/۷۸^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
خطا	۲۴	۰/۰۰^{۳}	۰/۰۲۳	۶۳/۸۰	۶/۳	۰/۲۴۵	۰/۰۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد و ^{ns} عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد

جدول ۶. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در فواصل و اندام‌های مختلف گونه سرو نقره‌ای

فاصله	اندام گیاهی	فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم)							
		کادمیوم	سرب	آهن	منگنز	روی	مس	نیکل	کروم
۵۰۰ متر	تنه	۰/۳۴۸±۰/۰۴^{a}	۰/۷۹۶±۰/۰۳^{a}	۱۲۵/۷±۶/۳^{a}	۶۴/۱±۳/۳^{a}	۴/۸±۰/۱۳^{a}	۱/۵±۰/۱۳^{a}	۰/۶۵±۰/۰۵^{a}	۰/۱۸±۰/۰۵^{a}
۱۰۰۰ متر	تنه	۰/۳۵۶±۰/۰۵^{a}	۰/۸۲±۰/۰۳۴^{a}	۱۳۸/۳±۸/۱^{b}	۶۶/۴±۴/۹^{a}	۴/۹±۰/۲۰^{a}	۱/۶±۰/۱۰^{a}	۰/۶۵±۰/۰۵^{a}	۰/۲۶±۰/۰۶^{a}
۵۰۰ متر	برگ	۰/۷۳۶±۰/۰۵^{b}	۱/۹۶±۰/۰۵^{b}	۴۳۷/۷±۱۰/۰^{c}	۷۸/۱±۱/۲^{b}	۱۰/۵±۰/۳۸^{b}	۴/۳±۰/۰۶^{b}	۱/۴±۰/۰۴^{b}	۱/۲±۰/۰۷^{b}
۱۰۰۰ متر	برگ	۰/۷۳۲±۰/۰۳^{b}	۲/۰۲±۰/۱۵^{b}	۴۴۴/۲±۸/۰^{c}	۸۰/۰±۰/۹^{b}	۱۰/۵±۰/۳۸^{b}	۴/۳±۰/۰۶^{b}	۱/۴±۰/۰۴^{b}	۱/۳±۰/۰۷^{b}
۵۰۰ متر	ریشه	۰/۹۱۴±۰/۰۴^{c}	۲/۱۰±۰/۰۲^{b}	۶۰۳/۷±۹/۳^{d}	۸۸/۲±۰/۱^{c}	۱۴/۰±۰/۳۲^{b}	۴/۶±۰/۰۲^{c}	۱/۵±۰/۰۳^{c}	۱/۶±۰/۰۸^{c}
۱۰۰۰ متر	ریشه	۰/۹۳۲±۰/۰۶^{c}	۲/۳۳±۰/۳۲^{c}	۶۰۸/۳±۴/۹^{d}	۸۸/۳±۰/۱^{c}	۱۴/۴±۰/۴۸^{c}	۴/۶±۰/۰۲^{c}	۱/۵±۰/۰۳^{c}	۱/۷±۰/۰۷^{d}

حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد است. مقادیر نشان دهنده میانگین همراه با انحراف معیار می‌باشند.

همچنین آزمون t در مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف دو گونه کاج تهران و سرو نقره‌ای نشان داد که به استثنای غلظت کروم در اندام ریشه، در بقیه موارد اختلاف معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف دو گونه وجود دارد (جدول ۷). نتایج این مطالعه نشان داد که در بیشتر موارد جذب عناصر سنگین توسط کاج تهران بیشتر از گونه سرو نقره‌ای بوده است. مطالعات انجام شده، توانایی کاج تهران در جذب فلزات سنگین را قابل توجه گزارش کرده‌اند [۱۹]. در مطالعه رضانژاد و همکاران (۱۳۹۶) توانایی دو گونه کاج سیاه و کاج تهران در جذب آلودگی‌های معدن مس سرچشمه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که گونه کاج سیاه را صرفاً می‌توان به عنوان شاخصی برای آلاینده‌ها در نظر گرفت؛ در حالی که کاج تهران با پتانسیل بالای خود در جذب عناصر سنگین به عنوان گونه‌ای مقاوم به فلزات سمی و مناسب برای مصارف گیاه‌پالایی معرفی شد [۱۱]. باید توجه داشت که مقاومت بالای کاج تهران به فلزات سنگین حاکی از ضعف گونه سرو نقره‌ای در این زمینه نیست؛ بلکه با توجه به نتایج پژوهش حاضر، این گونه سرو نیز قابلیت بالایی در جذب و مقاومت به افزایش فلزات سنگین نشان داده است. در مطالعه عباسی و همکاران (۱۳۹۶) نیز بر توانایی قابل قبول گونه سرو نقره‌ای در جذب عناصر سنگینی چون سرب تأکید شده است [۲۰].

جدول ۷. آزمون t در مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف دو گونه کاج تهران و سرو نقره‌ای

فاصله	اندام گیاهی	فلزات سنگین						
		کادمیوم	سرب	آهن	منگنز	روی	مس	نیکل	کروم
۵۰۰ متر	تنه	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰۲*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*
۱۰۰۰ متر	تنه	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*
۵۰۰ متر	برگ	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*
۱۰۰۰ متر	برگ	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۲۳*	۰/۰۰*	۰/۰۲۶*	۰/۰۰*
۵۰۰ متر	ریشه	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۷۷۵ns
۱۰۰۰ متر	ریشه	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۴۱۳ns

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد و ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد " به دلیل حجم بالای داده‌ها صرفاً داده‌های مربوط به سطح احتمال ارائه شده است"

علاوه بر نوع گونه گیاهی، بررسی اثر فاصله از منبع آلودگی بر غلظت فلزات سنگین در اندام‌های گونه کاج تهران در مطالعه حاضر معنی‌دار به‌دست آمد در حالی که عامل فاصله از منبع آلودگی بر غلظت فلزات یاد شده در اندام‌های گونه سرو نقره‌ای (به استثنای فلزات آهن و کروم) بی‌تأثیر بود (جداول۲ و۵). بر اساس نتایج به‌دست آمده در مورد گونه کاج تهران، غلظت فلزات سنگین در این گونه در فاصله ۱۰۰۰ متری از منبع آلودگی بیشتر از میزان آن در فاصله ۵۰۰ متری از منبع آلودگی است (جدول۳). با توجه به انجام نمونه‌برداری در جهت باد غالب، دلیل افزایش نسبی غلظت فلزات سنگین با افزایش فاصله از منبع آلودگی را می‌توان به اثر جابجایی عناصر توسط باد مرتبط دانست؛ چرا که بر اساس مطالعات انجام شده، باد از عوامل مهم اثرگذار بر جابجایی فلزات سنگین به شمار می‌رود [۱۶]. البته پتانسیل ذاتی گونه کاج تهران در جذب فلزات سنگین در این امر بی تأثیر نیست؛ چرا که در شرایط مشابه اختلاف معنی‌داری بین جذب فلزات سنگین توسط گونه سرو نقره‌ای در فواصل مختلف مشاهده نشد. بر اساس مطالعه آرمند و همکاران (۱۳۹۸) بیشترین غلظت فلزات سنگین در فاصله صفر تا ۱۰۰۰ متری صنایع متمرکز است و معمولاً گونه‌ای در این زمینه موفق‌تر است که پتانسیل ذاتی بیشتری در جذب عناصر سنگین داشته باشد [۱۴].

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر جنبه‌های متفاوتی از وضعیت فلزات سمی در محدوده کارخانه ذوب‌آهن اصفهان را روشن نمود. با توجه به یافته‌های مطالعه حاضر اثر باد در پراکنش فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه دارای اثر محسوسی است. باد با جابجایی فلزات سمی در محدوده این منطقه موجب گسترش و پراکندگی هر چه بیشتر این عناصر شده است و می‌بایست با راهکارهایی چون افرایش تراکم گونه‌های دارای بازدهی مؤثر در جذب فلزات سنگین مانند کاج تهران از توسعه این مشکل تا حد ممکن جلوگیری شود. تجمع حداکثری فلزات سنگین در ریشه گیاهان منطقه نیاز به مهیا کردن شرایط گسترش ریشه گیاهان (افزایش عمق خاک نرم و اصلاح بافت و رطوبت خاک) در جنگلکاری‌های آینده را یادآور می‌سازد. در نهایت نتایج مطالعه حاضر به وضوح مؤید پتانسیل بالای گونه کاج تهران در امر گیاه‌پالایی است که توجه ویژه به این گونه مقاوم و پرکاربرد در جنگلکاری‌های آینده ذوب‌آهن و سایر صنایع مشابه در ایران اثر بسیار مطلوبی بر مهار فلزات سنگین و مضر در محدوده این صنایع خواهد داشت.

References

[1]. Chen, T.B., Zheng, Y.M., Lei, M., Huang, Z.C., Wu, H.T., Chen, H., Fan, K.K., Yu, K., Wu, X., and Tian, Q.Z. (2005). Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China, Chemosphere, 60: 542-551.

[2]. Anawar, H.M. (2015). Sustainable rehabilitation of mining waste and acid mine drainage using geochemistry, mine type, mineralogy, texture, ore extraction and climate knowledge. Journal of Environmental Management, 158: 111-121.

[3]. Ismail, S., Khan, F., and Zafar Iqbal, M. (2013). Phytoremediation: Assessing Tolerance of Tree Species against Heavy Metal (Pb and Cd) Toxicity. Pakistan Journal of Botany, 45: 2181-2186.

[4]. Zovko, M., and Romic, M. (2011). *Soil Contamination by Trace Metals: Geochemical Behavior as an Element of Risk Assessmen*t. In: Dar, I.A., Ed. Earth and Environmental Sciences, InTech, Rijeka, 437-456.

[5]. Chaney, RLM., Malik, YM., Li, SL., Brown, JS., and Baker, AJM. (1997). Phytoremediation of soil metals. Current Opinion in Biotechnology, 8: 279-284.

[6]. Mudgal, V., Madaan, N., and Mudgal, A. (2010). Heavy metals in plants: Phytoremediation: Plants used to remediate heavy metal pollution. Agriculture and Biology Journal of North America, 1: 40- 46.

[7]. Pulford, I.D., and Watson, C. (2003). Phytoremediation of heavy metal contaminated land by trees- A review. Environmental International, 29: 529-540.

[8]. Hoodchi, M., and SadrArhami, A. 2007. Concentrations of manganese and nickel in soil and plant species in the establishment area of Isfahan steel company. Journal of Research in Agricultural Sciences, 3(2): 186-194.

[9]. Kord, B., Khademi, A., and Pourabbassi, S. 2010. Phytoremediation of Lead by some tree species in polluted urban soils (Tehran). Journal of Biological Sciences, Lahijan Branch, 5(3): 109-119.

[10]. Zoufan, P., Saadatkhah, A., and Rastegharzadeh, S. (2013). Comparison of potentiality of heavy metals accumulation in the plants surrounding steel industries in the Mahshahr-Bandar Imam road, Ahvaz. Iranian Journal of Plant Biology, 5(16): 41-56.

[11]. Rezanejad, F., Oloumi, H., Gholipoor, Z., and Manouchehri Kalantari, Kh. (2017). Response of two pine species (*Pinus nigra and P. eldarica*) around copper complex of Sarcheshmeh in heavy metals assimilation and some structural characteristics of leaf. Journal of plant Researches (Iranian Journal of Biology), 30(2): 376-390.

[12]. Narimani, H., Iran Nezhad Parizi, M., Kiani, B., and Ghorbali, R. (2015). Effects of plantation with conifers on Carbon sequestration (Case study: Zob-e-Ahan company, Isfahan). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23(1): 53-63.

[13]. NaeimiMarandi, S., Ayoubi, S., and Azimzadeh, B. (2013). Use of multivariate statistics and geostatistics to differentiate the lithologic and anthropogenic sources of some heavy metals in Zobahan industrial district, Isfahan province. Journal of Water and Soil, 27(3): 560-569.

[14]. Armand, N., Tavakoli, M., Armand, R., and Yousofnia, H. (2019). Study the possibility of refining gas refinery Bidboland Behbahan soils surrounding land by hock. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32(2): 308-318.

[15]. Pournia, M., Moosavi, M.H., and Jassemi, Z. (2016). Survey of heavy metals pollution in surface soils around the industrial town of Ahvaz 2. Journal of Environmental Science and Technology, 17(4): 23-32.

[16]. Amer, N., Chami, Z.A., Bitar, L.A., Mondelli, D., and Dumontet, S. (2013). Evaluation of *Atriplex halimus*, *Medicago lupulina* and *Portulaca oleracea* for phytoremediation of Ni, Pb, and Zn. International Journal of Phytoremediation, 15(5): 498-512.

[17]. kardar, S., Fatemi-talab, S., Saeeb, K., and khademi, A. (2015). Phytoremediation of Cadmium by using the Cupressus arizonica and Fraxinus excelsior species (case study: Isfahan). Natural Ecosystems of Iran, 6(2): 89-96.

[18]. Maldonado, A., Favela-Torres, E., Rivera Cabrera, F., and Volke-Sepulveda, T.L. (2011). Lead bioaccumulation in *Acacia farnesiana* and its effect on lipid peroxidation and glutathione production. Plant and Soil, 339: 377-389.

[19]. Esfandiari, M., Sodaiezadeh, H., and Mokhtari, M. (2019). Accumulation of heavy metals in mondell Pine (*Pinus eldarica*) leaves and bark at distinctive distances of Yazd highway green belt. Forest and Wood Products, 72(1): 9-20.

[20]. Abbasi, H., Pourmajidian, M. R., Hojati, S. M., and Fallah, A. (2017). Physiological responses of Cupressus arizonica and *Platycladus orientalis* one-year-old seedlings in soil polluted with lead. Forest and Wood Products, 70(1): 127-136.

Accumulation of heavy metals in various organs of *Pinus eldarica* medw and *Cupressus arizonica* green var. arizonica trees in Isfahan steel company area

R. Yavarian; Ph.D. Student, Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme`eh Sara, I.R. Iran

A. Salehi*; Assoc., Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh sara, I.R. Iran

M. Mohammadi Glangash; Assoc., Prof., Department of Environmental science, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh sara, I.R. Iran

(Received: 24 June 2020, Accepted: 02 September 2020)

ABSTRACT

Due to the high importance of monitoring and controlling the concentration of toxic elements in large industries, the present study was conducted to investigate the concentration of heavy metals in various organs of main forested species in the Isfahan steel company. For this purpose, 10 plant samples from the roots, leaves, and trunks of *Pinus eldarica* Medw and *Cupressus arizonica* Green var. arizonica trees were collected at two distances of 500 and 1000 meters from the source of pollution and transferred to the laboratory. The concentrations of heavy metals such as cadmium, lead, iron, manganese, zinc, copper, nickel, and chromium were measured in their extracts using the atomic absorption device. Comparison of the mean concentrations of heavy metals and the effect of distance from the source of pollution on the concentrations of heavy metals in different organs of the studied species were studied using analysis of variance; comparison of means was done with Duncan's test and comparison of concentrations of heavy metals in two species was analyzed with independent sample t-test. The results showed a higher concentration of the heavy elements in the roots of the studied plants than in the trunk and leaves. Also, the concentration of absorbed metals by *Pinus eldarica* was significantly higher than *Cupressus arizonica*. Finally, the concentration of the studied elements in the organ's body of *Pinus eldarica* species at a distance of 1000 meters from the source of pollution was more than 500 meters, while there was no significant difference in the concentration of metals in *Cupressus arizonica* organs at these distances. The results of the present study clearly confirm the high potential of *Pinus eldarica* species in the absorption of heavy metals in industrial areas.

Keywords: Atomic absorption, heavy metals, lead, mercury, phytoremediation, soil pollution.

* Corresponding Author: E-mail: asalehi70@hotmail.com, Tel: +989111387734