Archive of SID

نشریه علمی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران
جلد ۱۷ شماره ۲، صفحه ۱۸۴-۱۷۳، (۱۳۹۸)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfrpr.2020.127153.1389
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0859.1398.17.173.34.2.1578.1606

تجمع زیستی برخی از فلزات سنگین در خاک و برگ درختان کنار *(Ziziphus spina-christi)* شرکت فولاد اکسین خوزستان

مریم رفعتی[۱*]، مریم محمدی روزبهانی[۲] و زهره پیرمرادی[۳]

۱*- نویسنده مسئول، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
پست الکترونیک: m.rafati.env@gmail.com
۲- استادیار، گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۳- دانش‌آموخته گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۲

چکیده

در این پژوهش تجمع فلزات سنگین آهن، منگنز، سرب و کادمیوم در برگ گونه بومی کنار بررسی شد. برای این منظور نمونه‌هایی تصادفی از برگ و خاک در پای درختان از پنج ایستگاه در محدوده شرکت فولاد اکسین خوزستان جمع‌آوری گردید. ایستگاه ۱ در مرکز شرکت و در مجاورت منبع آلودگی بود. ایستگاه ۲ در فاصله ۱۰۰ متری از کارخانه و در مسیر جهت باد غالب بود. ایستگاه‌های شماره ۳ و ۴ در فاصله‌ای تقریباً ۲۰۰ متری از منبع آلودگی و در مسیر جهت باد غالب قرار داشت. ایستگاه ۵ در فاصله سه کیلومتری از کارخانه و در جهت خلاف باد غالب (به‌عنوان ایستگاه شاهد) قرار داشت. مقایسه مقدار عناصر در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد که کمترین مقدار غلظت عناصر در برگ درختان و در خاک پای درختان کنار در ایستگاه ۵ و بیشترین آن در ایستگاه ۱ حاصل شد، بنابراین می‌توان بیان کرد که فاصله از کارخانه و جهت باد غالب بر مقدار غلظت این عناصر در برگ درختان تأثیرگذار است. محاسبه ضریب تجمع زیستی چهار فلز سنگین آهن، منگنز، سرب و کادمیوم نشان داد که درختان کنار تنها قادر به جذب کادمیوم با ضریب بیشتر از یک از خاک هستند. بنابراین با توجه به کارا بودن درختان کنار در جذب فلز سنگین کادمیوم از یکسو و استفاده مستقیم مردم از میوه و برگ درختان کنار از سوی دیگر، پیشنهاد می‌شود که استفاده از این درختان در مناطقی مانند خوزستان یا مناطقی با شرایط اقلیمی و خاکی مشابه که آلودگی کادمیوم وجود دارد، با توجه به ملاحظات محیط‌زیستی لازم باشد.

واژه‌های کلیدی: اهواز، تجمع عناصر سنگین، سرب، کادمیوم، گیاه‌پالایی.

مقدمه

آلودگی پوشش گیاهی به فلزات سنگین یکی از مهمترین مباحثی است که در سال‌های اخیر به آن توجه ویژه‌ای شده است و چاپ مقالات مروری مختلف، نشان از اهمیت آن دارد (Laghlimi *et al.*, 2015; Mahar *et al.*, 2016; Salehi, 2019). بیشتر فلزات سنگین در خاک و پوشش گیاهی اطراف مجتمع‌های صنعتی یافت می‌شوند (Saba *et al.*, 2015; Srdabi *et al.*, 2013; Torkashvand *et al.*, 2018). پایداری فلزات سنگین اجازه می‌دهد در فواصل قابل توجه توسط آب یا هوا منتقل شوند (Torkashvand *et al.*, 2018).

www.SID.ir

Archive of SID

این فلزات به‌صورت محلول وارد آب و خاک شده، سبب آلودگی آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک و در نتیجه باعث برهم‌زدن تعادل محیط‌زیست می‌شوند. روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محیط وجود دارد که استفاده از برخی از آنها به لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه نیست و از سوی دیگر، به‌لحاظ بوم‌شناختی ممکن است آثار منفی بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی بوم‌سازگان به‌ویژه خاک داشته باشند. ازاین‌رو کاربرد پوشش گیاهی برای حذف فلزات سنگین، به‌عنوان راهکاری همگام با طبیعت و اقتصادی معرفی شده است. قابلیت فراوان برخی از گونه‌های گیاهی در جذب انتخابی عناصر و ترکیبات آلوده‌کننده، امکان استفاده از آنها را در پاکسازی محیط‌های آلوده یا زیست‌پالایی فراهم کرده است (Sarwar *et al.*, 2017). گیاهان از لحاظ رشد در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، به سه دسته تقسیم می‌شوند: گونه‌های اجتناب‌کننده (Excluders species) که غلظت عنصر در گیاه حتی در غلظت‌های بالای آن در خاک، در مقادیر پایینی نگه داشته می‌شود؛ گونه‌های شاخص (Indicator species) که مقدار فلزات سنگین در گیاه با غلظت عناصر مذکور در خاک یکسان است و گونه‌های تجمع‌دهنده (Accumulator species) که قادر به تغلیظ فلز در بخش هوایی خود بیش از غلظت عنصر در خاک هستند (Ghosh & Singh, 2005). بنابراین بررسی قابلیت درختان بومی هر منطقه در تجمع فلزات سنگین می‌تواند به استفاده از گونه‌های مناسب برای کاهش فلزات سنگین کمک نماید (Jacob *et al.*, 2018).

درخت به‌عنوان موجود زنده با طول عمر طولانی و عنصر اصلی فضای سبز شهری می‌تواند در طول زمان تجمع‌دهنده آلاینده‌ها باشد. آلاینده‌ها هم از خاک و هم از هوا جذب درختان می‌شوند، ولی مقصد اصلی آلاینده‌های هوا در درختان، اندام‌های هوایی به‌ویژه برگ است. مرور منابع نیز نشان می‌دهد که برگ درختان تجمع‌دهنده مناسبی از عناصر سنگین به‌ویژه در مناطق صنعتی و آلوده هستند. برای نمونه، در مطالعات مختلف مشخص شده است که برگ‌های درختان برهان و اکالیپتوس توانایی انباشت فلزات سنگین کروم، سرب، نیکل و کادمیوم را در اطراف گروه ملی صنعتی فولاد ایران (Torkashvand *et al.*, 2018)، برگ‌های درختان کنار و اکالیپتوس توانایی تجمع نیکل، آهن و کادمیوم را در اطراف کارخانه سیمان بهبهان (Pourkhabbaz & Javanmardi, 2018)، برگ‌های درخت *Thuja orientali* توانایی جذب روی و کادمیوم را در اطراف مجتمع صنعتی زنجان (Saba *et al.*, 2015) و برگ‌های درخت *Azadirachta indica* توانایی جذب فلزات مس، نیکل، سرب، منگنز و آهن را در مناطق صنعتی نیجریه دارند (Abdullateef *et al.*, 2014). همچنین فاصله از منبع آلاینده نیز می‌تواند روی مقدار جذب عناصر توسط گیاهان تأثیر داشته باشد. به‌عنوان‌مثال، Pourkhabbaz و Javanmardi (۲۰۱۸) نشان دادند که با افزایش فاصله از کارخانه سیمان میزان آلودگی عناصر نیکل، آهن و کادمیوم در برگ گیاه کنار و اکالیپتوس کاهش می‌یابد، اما Esfandiari و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه میزان تجمع فلزات سنگین در برگ درخت کاج تهران در فواصل مختلف از بزرگراه یزد نتیجه گرفتند که برخلاف انتظار، با افزایش فاصله از منبع آلاینده (بزرگراه)، غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کبالت، آهن و نیکل در برگ درختان به‌دلیل وزش بادهای چندجهته و وجود دیگر منابع آلاینده در منطقه افزایش یافته است. در خارج کشور نیز گزارش‌های متناقض در یافته‌های پژوهشگران درباره تأثیر فاصله از منبع آلاینده وجود دارد (Liu *et al.*, 2007; Skrbic *et al.*, 2012; Eid & Alsbou & Al-Khashman, 2018)؛ بنابراین نیاز به بررسی بیشتر در زمینه تأثیر فاصله از منبع آلاینده را نشان می‌دهد. کمبود سطح و سرانه فضای سبز و استقرار صنایع آلوده‌کننده در شهر اهواز مشکلات زیادی را برای ساکنان منطقه به وجود آورده است. ازاین‌رو، به‌منظور توسعه فضای سبز و ایجاد پارک‌های جنگلی، طرح کمربند سبز اهواز با استفاده از گونه‌های درختی بومی، ازجمله کنار در حال انجام است. باتوجه به آثار انکارناپذیر و مخرب فعالیت کارخانجات فولاد و از سوی دیگر وسعت و قدمت زیاد کارخانه فولاد اکسین اهواز، هدف از انجام این پژوهش،

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی میزان تجمع فلزات سنگین آهن، منگنز، سرب و کادمیوم در برگ گونه درختی کنار به‌عنوان گونه غالب بومی در محدوده این کارخانه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شرکت فولاد اکسین خوزستان بود (عرض شمالی: ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه؛ طول شرقی: ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۲۰ متر). نمونه‌برداری از پنج ایستگاه در محدوده این شرکت و در غالب سه تکرار انجام شد (جدول ۱). این ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که با اهداف مورد نظر مطابقت داشته باشد. وجود درخت کنار، همچنین در نظر گرفتن نقشه گلباد منطقه و جهت باد غالب، از نکات قابل توجه در انتخاب ایستگاه‌های مورد نظر بود. ایستگاه شماره ۱ در مرکز شرکت قرار داشت و در مجاورت کارخانه‌های تولیدی و منبع آلودگی بود. ایستگاه شماره ۲ در فاصله تقریباً ۱۰۰ متری از کارخانه قرار داشت و کاملاً در مسیر جهت باد غالب بود. ایستگاه‌های شماره ۳ و ۴ جزء مناطقی بودند که کارخانه تولیدی و منبع آلودگی در فاصله‌ای تقریباً ۲۰۰ متری از آنها قرار داشت و کاملاً در مسیر جهت باد غالب بودند. ایستگاه شماره ۵ در مکانی بود که حدود سه کیلومتر دور از کارخانه بوده و کاملاً در جهت خلاف باد غالب (به‌عنوان ایستگاه شاهد) قرار داشت.

روش پژوهش: به‌طور تصادفی پنج درخت کنار در هر ایستگاه انتخاب شد. از هر درخت، مقادیری برگ از شاخه-های زنده از ارتفاع دو تا سه متری از سطح زمین (ارتفاع متوسط درختان ۳/۴ متر، ارتفاع متوسط تاج ۱/۸ متر) و از چهار سمت تاج درخت برداشت شد (Pourkhabbaz *et al.*, 2015). برگ‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه به دو گروه شسته‌شده (۲۵ نمونه) و شسته‌نشده (۲۵ نمونه) طبقه‌بندی شد. نمونه‌های خاک نیز از پای پنج درخت کنار از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در ایستگاه‌های مختلف برداشت شد که در مجموع ۲۵ نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از روش عصاره‌گیری خاکستر خشک استفاده شد (Brown, 1991). بدین‌ترتیب که ۲ گرم از هر نمونه گیاه به درون بوته‌های چینی انتقال داده شد. نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. پس از آن ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه‌ها اضافه شد. محلول مورد نظر کمی روی اجاق برقی گرم شد. سپس به کمک آب‌مقطر جوش و با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ به درون بالن ژوژه‌های ۵۰ میلی‌لیتری صاف شد. غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه نمونه‌های گیاهی در عصاره مورد نظر در نمونه‌ها توسط دستگاه ICP (Agilent 7800 Quadrupole ICP-MS) اندازه‌گیری گردید. برای هضم نمونه‌های خاک، نمونه‌ها پس از خشک شدن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، از الک ۶۳ میکرون عبور داده شدند. سپس به ۰/۵ گرم از هر نمونه پودر شده به‌ترتیب دو تا سه قطره کلریدریک‌اسید یک نرمال، ۰/۵ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی و سه میلی‌لیتر هیپوکلرو اسید افزوده شده و بشر روی حمام شن در دمای ۱۲۵ درجه قرار گرفت. سپس مایع حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید. درنهایت نمونه برای خواندن توسط دستگاه ICP آماده شد (Jackson, 1958).

در این پژوهش فاکتور تجمع زیستی (BCF) براساس رابطه ۱ محاسبه گردید (Bacci *et al.*, 1990). مقدار بیشتر از یک این شاخص در هر اندام، نشان‌دهنده قدرت انتقال فلز از خاک و تجمع در آن اندام است که انباشت فلز در اندام‌های هوایی و زمینی به‌ترتیب نشان‌دهنده قابلیت استخراج و تثبیت گیاهی آنهاست (Rafati *et al.*, 2012).

رابطه ۱ $BCF = (mg/kg)$ غلظت فلز در بافت گیاهی (mg/kg)/غلظت کل فلز در خاک

www.SID.ir

Archive of SID

روش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

نرمال بودن و همگن بودن داده‌ها به‌ترتیب با استفاده از آزمون‌های کلموگروف–اسمیرنوف و لون بررسی شد. سپس با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) میانگین مقدار هر فلز سنگین بین ایستگاه‌های مختلف مقایسه شد و در صورت معنی‌داری (در سطح معنی‌داری پنج درصد)، از آزمون دانکن برای نشان دادن اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌های مختلف استفاده شد. برای مقایسه بین میانگین غلظت فلزات بین تیمارهای شسته شده و نشده برگ، از آزمون t غیرجفتی استفاده شد. به‌منظور بررسی این مسئله که آیا غلظت عناصر سنگین در درختان کنار متأثر از غلظت همان عناصر در خاک درختان است، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. همچنین از آزمون t تک‌متغیره برای مقایسه مقادیر فلزات سنگین در خاک و برگ با مقادیر بیشینه مجاز در استانداردهای جهانی (جدول ۲) استفاده شد. کلیه تجزیه‌وتحلیل‌های آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد و در نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) انجام گردید.

نتایج

یافته‌ها نشان داد که تغییر مقدار فلزات سنگین در برگ کنار در بین ایستگاه‌های مختلف تقریباً روند مشابهی دارد. در مورد آهن، روند جذب در بین ایستگاه‌های مختلف در برگ به صورت ۱>۲<۴>۳<۵ و در سه عنصر دیگر، این روند دارای اندکی تفاوت است: ۱>۲<۳>۴<۵ (جدول ۳). بیشترین مقدار فلز انباشته شده در برگ‌های کنار در بین تمامی عناصر مورد بررسی، مربوط به آهن در ایستگاه شماره ۱ با میانگین به‌ترتیب ۲۱۳۰ و ۱۸۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نمونه برگ‌های شسته‌نشده و شسته‌شده بود، این در حالی است که کمترین مقدار فلز آهن در هر دو تیمار مورد بررسی به ایستگاه شماره ۵ تعلق داشت (جدول ۳). همچنین بیشترین مقدار میانگین فلزات منگنز، سرب و کادمیوم در برگ‌های شسته‌شده و شسته‌نشده نیز در ایستگاه شماره ۱ حاصل شد، درحالی‌که کمترین مقدار این فلزات در هر دو تیمار متعلق به ایستگاه شماره ۵ بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین بین تیمارهای برگ شسته‌شده و شسته‌نشده نشان داد که تنها در ایستگاه شماره ۱، میانگین فلزهای آهن، منگنز و کادمیوم بین دو تیمار دارای تفاوت معنی‌داری است (جدول ۳). بنابراین، ازآنجایی‌که غلظت فلزات سنگین در برگ درختان در هر دو تیمار برگ شسته‌شده و نشده در بیشتر موارد تفاوت معنی‌داری نداشت، در ادامه منظور از نتایج حاصل از مقایسه میانگین، متوسط مقدار غلظت هر فلز در دو تیمار برگ شسته‌شده و شسته‌نشده است.

جدول ۱– مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	۳۱° ۱۶′ ۳۴″	۴۸° ۴۴′ ۳۶″	۰
۲	۳۱° ۱۶′ ۳۴″	۴۸° ۴۴′ ۳۴″	۰
۳	۳۱° ۱۶′ ۲۷″	۴۸° ۴۴′ ۲۴″	۰
۴	۳۱° ۱۶′ ۲۸″	۴۸° ۴۴′ ۲۴″	۰
۵	۳۱° ۱۷′ ۰۴″	۴۸° ۴۴′ ۲۷″	۰

فلز سنگین	خاک	بافت گیاهی
آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۰۰۰	۰/۳
منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۸۵۰	۳۰۰
سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳۰۰	۱۰
کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۵	۲

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- نتایج اندازه‌گیری فلزات آهن، منگنز، سرب و کادمیوم در برگ درختان کنار در ایستگاه‌های مختلف

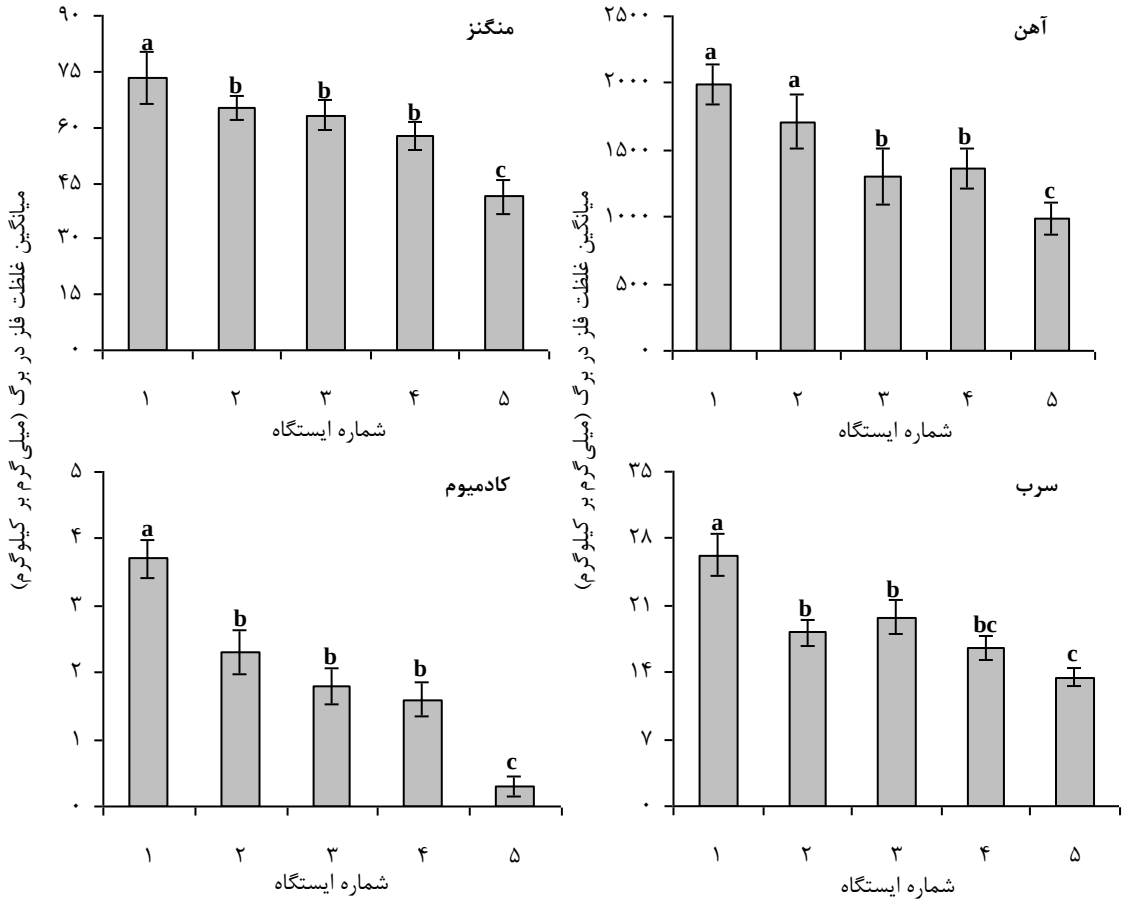
شماره ایستگاه	میانگین غلظت فلز در برگ پنج درخت کنار ± انحراف معیار (میلی‌گرم بر کیلوگرم)							
	آهن		منگنز		سرب		کادمیوم	
	شسته‌شده	شسته‌نشده	شسته‌شده	شسته‌نشده	شسته‌شده	شسته‌نشده	شسته‌شده	شسته‌نشده
۱	^{b}۱۸۴۵ ± ۵۵	^{a}۲۱۳۰ ± ۴	۶۵/۰ ± ۱۰^{b}	^{a}۸۱/۶ ± ۸/۷	۲۵/۸ ± ۳/۸^{a}	^{a}۲۶/۶ ± ۳/۸	^{b}۳/۱ ± ۰/۴	^{a}۴/۳ ± ۰/۸
۲	^{a}۱۶۹۲ ± ۱۰	^{a}۱۷۳۵ ± ۲۰	۵۸/۳ ± ۵/۲^{a}	^{a}۷۲/۳ ± ۸/۷	۱۸/۱ ± ۳/۸^{a}	^{a}۱۸/۳ ± ۱/۴	^{a}۱/۹ ± ۰/۴	^{a}۲/۷ ± ۰/۹
۳	^{a}۱۲۴۳ ± ۱۶	^{a}۱۳۶۰ ± ۸۱	۵۷/۵ ± ۵/۰^{a}	^{a}۶۹/۱ ± ۳/۸	۱۸/۰ ± ۳/۸^{a}	^{a}۲۱/۶ ± ۳/۸	^{a}۱/۱ ± ۱/۸	^{a}۲/۵ ± ۱/۵
۴	^{a}۱۳۱۷ ±۳۸۲	^{a}۱۴۱۳ ± ۱۴	۴۹/۰ ± ۵/۰^{a}	^{a}۶۶/۶ ± ۵/۲	۱۵/۵ ± ۵/۵^{a}	^{a}۱۷/۶ ± ۳/۸	^{a}۱/۰ ± ۱/۲	^{a}۲/۲ ± ۱/۴
۵	^{a}۹۴۴ ± ۱۹	^{a}۱۰۳۰ ± ۳۲	۳۸/۱ ± ۶/۲^{a}	۴۴/۸ ± ۵/۲^{a}	۱۲/۵ ± ۱/۴^{a}	۱۴/۵ ± ۱/۴^{a}	^{a}۰/۲ ± ۰/۲	^{a}۰/۴ ± ۰/۱

در هر ردیف حروف غیرمشابه نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌های غلظت فلزات در برگ شسته‌شده و نشده بر اساس آزمون t غیرجفتی بود.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج مقایسه بین مقادیر غلظت فلزات سنگین در برگ درختان کنار بین ایستگاه‌های مختلف نشان داد که بیشترین مقدار غلظت هر چهار عنصر در ایستگاه شماره ۱ و کمترین مقدار در ایستگاه شماره ۵ بود (شکل ۱). همچنین غلظت فلزات سنگین بین ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری بود (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در برگ درختان کنار در ایستگاه‌های مختلف

بارها نشان‌دهنده مقدار انحراف معیار در هر تیمار و حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

براساس یافته‌های این پژوهش، غلظت فلزات سنگین در خاک پای درختان کنار بین ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری است، به‌طوری‌که بیشترین مقدار غلظت هر چهار عنصر در ایستگاه شماره ۱ و کمترین مقدار در ایستگاه شماره ۵ حاصل شد (جدول ۴).

همچنین شکل ۲ بیانگر این است که غلظت عناصر آهن، منگنز، سرب و کادمیوم در برگ درختان کنار به چه مقدار متأثر از غلظت این عناصر در خاک است. براساس نتایج این شکل، در سطح احتمال ۹۵ درصد، غلظت چهار عنصر در کلیه ایستگاه‌ها روند متفاوتی را نشان می‌دهد. برای نمونه، غلظت هر چهار عنصر مورد بررسی در برگ درختان کنار در ایستگاه شماره ۱ متأثر از غلظت این عناصر در خاک درختان است و این در حالی است که در ایستگاه‌های شماره ۳، ۴ و ۵ غلظت هیچ‌یک از عناصر در برگ درختان متأثر از غلظت این عناصر در خاک درختان نیست (شکل ۲).

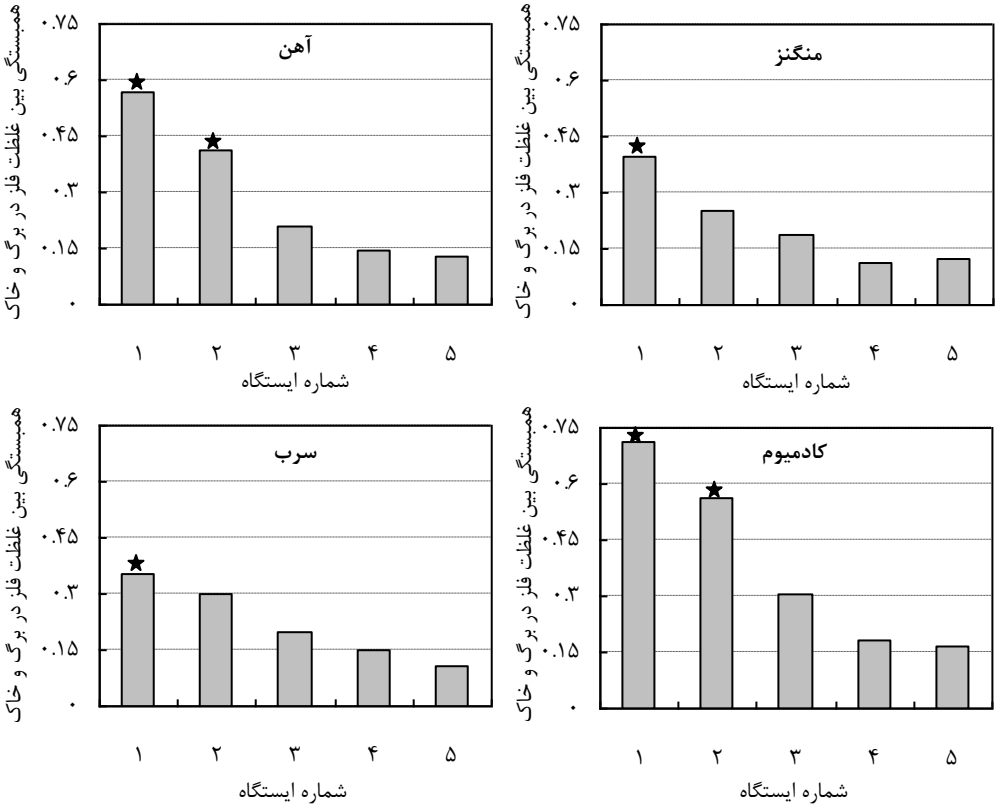
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- نتایج اندازه‌گیری میانگین غلظت فلزات آهن، منگنز، سرب و کادمیوم در خاک پای درخت کنار در ایستگاه‌های مختلف

شماره ایستگاه	میانگین غلظت فلز در خاک کنار ± انحراف معیار (میلی‌گرم بر کیلوگرم)			
	آهن	منگنز	سرب	کادمیوم
۱	^{a}۳۶۲۸۹ ± ۱۰۱۴	^{a}۵۵۶/۶ ± ۶/۳	^{a}۳۶/۶ ± ۵/۷	۱/۶ ± ۱/۴^{a}
۲	^{b}۲۰۵۴۸ ± ۲۳۸	^{a}۴۸۲/۵ ± ۱۲/۵	^{a}۳۲/۵ ± ۱۲/۹	۱/۵ ± ۱/۲^{a}
۳	^{c}۱۷۰۱۱ ± ۲۳۰	^{b}۲۵۶/۶ ± ۵/۷	^{b}۲۳/۳ ± ۳/۸	۱/۳ ± ۱/۸^{b}
۴	^{c}۱۷۱۶۶ ± ۱۶۶	^{b}۲۹۶/۶ ± ۵/۲	^{b}۲۰/۸ ± ۲/۸	^{b}۱/۱ ± ۱/۳
۵	^{d}۱۳۱۳۱ ± ۲۸۳	^{c}۱۷۱/۵ ± ۱۵/۶	^{b}۱۷/۵ ± ۷/۵	^{c}۰/۱ ± ۰/۰

حروف a، b و c در هر ستون نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین غلظت هر فلز بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، در سطح معنی‌داری پنج درصد توسط آزمون دانکن است.



شکل ۲- مقادیر ضریب همبستگی پیرسون در سنجش تأثیرپذیری غلظت عناصر سنگین در خاک بر غلظت هر فلز در برگ درختان کنار

علامت ستاره نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح معنی‌داری پنج درصد است.

نتایج آزمون t تک‌متغیره نشان داد که برگ و خاک پای درختان کنار در کلیه ایستگاه‌ها از نظر آهن آلوده است (P= ۰/۰۰۰). درباره منگنز، مقادیر منگنز در برگ و خاک پای درختان کنار کمتر از بیشینه حد مجاز بود (P> ۰/۰۵). البته مقادیر سرب در برگ درختان کنار در ۵ ایستگاه مورد بررسی به‌صورت معنی‌داری از بیشینه حدمجاز این عنصر در

www.SID.ir

Archive of SID

بافت گیاهی کمتر است (P> ۰/۰۵)، هرچند از نظر خاک هر ۵ ایستگاه مورد بررسی به‌صورت معنی‌داری از بیشینه مجاز سرب بیشتری داشتند (P= ۰/۰۰۰). خاک کلیه ایستگاه‌ها از نظر کادمیوم آلوده نبود (P> ۰/۰۵)، هرچند که برگ درختان کنار در ایستگاه‌های ۱ و ۲ بیشتر از حدمجاز کادمیوم داشتند.

براساس جدول ۵، مقدار فاکتور تجمع زیستی تنها در مورد فلز سنگین کادمیوم بیشتر از یک به‌دست آمد و در سه فلز دیگر، این میانگین کمتر از یک حاصل شد.

جدول ۵- مقدار فاکتور تجمع زیستی (BCF) برگ‌های درخت کنار در پنج ایستگاه و چهار فلز مورد بررسی

شماره ایستگاه	آهن	منگنز	سرب	کادمیوم
۱	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۷۲	۲/۳۱
۲	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۵۶	۱/۵۳
۳	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۸۵	۱/۳۹
۴	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۸۰	۱/۴۵
۵	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۷۷	۳/۰۰
میانگین	**۰/۰۷**	**۰/۱۹**	**۰/۷۴**	**۱/۹۴**

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که در برگ درختان کنار و نمونه‌های جمع‌آوری شده از اطراف شرکت فولاد اکسین خوزستان، بیشترین میانگین غلظت بین چهار عنصر مورد بررسی متعلق به آهن و کمترین غلظت متعلق به کادمیوم است. باید توجه داشت که برگ‌های درختان مخزن مهمی برای آلاینده‌های فلزی محسوب و به‌طور وسیعی برای پایش آلودگی فلزات استفاده می‌شوند، بنابراین برگ‌ها نسبت به سایر اندام‌های گیاه بسیار حساس‌ترند (Laghlimi *et al.*, 2015; Mahar *et al.*, 2016). همچنین مقدار فلزات سنگین استخراج شده در برگ‌های شسته‌نشده بیشتر از برگ‌های شسته‌شده بود، اما در بیشتر موارد این اختلاف معنی‌دار نبود که با یافته‌های دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (Pourkhabbaz *et al.*, 2015; Mortazavi *et al.*, 2019; Gholami *et al.*, 2013). Gholami و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که کمبود میزان فلزات سنگین در برگ‌های شسته‌شده نسبت به شسته‌نشده، نشان‌دهنده وجود آلاینده‌های فلزات سنگین در هوای منطقه علاوه‌بر مقادیر موجود در خاک است. همچنین Pourkhabbaz و همکاران (۲۰۱۵) به این نتیجه رسیدند که غلظت عناصر سنگین در تیمار برگ شسته‌شده کمتر از تیمار برگ شسته‌نشده است و در بیشتر موارد، این تفاوت معنی‌دار نیست که دلیل آن می‌تواند عدم قابلیت شست‌وشوی ته‌نشست‌های اتمسفری این عناصر باشد. در این پژوهش، تنها تفاوت معنی‌دار بین مقادیر عناصر در دو تیمار برگ شسته‌شده و شسته‌نشده در ایستگاه شماره ۱ دیده می‌شود که دلیل احتمالی آن این است که شست‌وشو زمانی تأثیر می‌گذارد که مقدار عناصر در سطح برگ زیاد باشد (Pourkhabbaz *et al.*, 2015; Celik *et al.*, 2004). ازآنجایی‌که بیشترین مقدار عناصر اغلب در ایستگاه شماره ۱ مشاهده شد و این ایستگاه آلوده‌ترین بود، ازاین‌رو سطح آلودگی زیاد در ایستگاه شماره ۱ سبب معنی‌دار شدن تفاوت غلظت عناصر بین برگ‌های شسته‌شده و شسته‌نشده گردیده است.

در مقایسه با غلظت استانداردهای جهانی (EPA و WHO) که در جدول ۲ ذکر شده است، برگ و خاک درختان کنار در ۵ ایستگاه دارای مقادیر بیش از حد مجاز

www.SID.ir

Archive of SID

آهن بودند. غلظت منگنز در برگ و خاک پای درختان کنار در هر ۵ ایستگاه کمتر از حد بیشینه مجاز قرار داشت. مقدار سرب در خاک درختان کنار در ۵ ایستگاه مورد مطالعه از نظر سرب آلوده بود، هرچند درباره برگ، مقدار این عنصر از حد مجاز کمتر بود. برگ درختان کنار در ایستگاه‌های ۱ و ۲ بیشتر از حدمجاز کادمیوم داشت، ولی درباره خاک، مقدار این عنصر از حد مجاز کمتر بود.

براساس نتایج آزمون همبستگی، تنها در ایستگاه شماره ۱ غلظت کلیه فلزات سنگین مورد بررسی در برگ درختان متأثر از غلظت آنها در خاک است. درواقع در ایستگاه شماره ۱، به‌دلیل آلودگی شدید، فلزات سنگین به‌راحتی از خاک به برگ درختان منتقل شده‌اند، ولی با افزایش فاصله از منبع آلودگی و در نتیجه کاهش میزان آلودگی در سایر ایستگاه‌ها، رابطه معنی‌داری بین آنها در خاک و برگ مشاهده نشد. دلیل این یافته می‌تواند وجود نوارهای کاسپارین در ریشه درختان و عدم نفوذپذیری دیواره آوندهای بافت چوبی باشد که بخش زیادی از فلزات موجود از خاک توسط ریشه به اندام‌های هوایی مانند برگ انتقال نمی‌یابد (Prasad, 2004; Cheraghi *et al.*, 2013).

علاوه‌بر این، غلظت فلزات سنگین در برگ درختان بین پنج ایستگاه مورد مطالعه متفاوت بود. این امر نشان می‌دهد که موقعیت ایستگاه‌ها بر مقدار جذب عناصر تأثیرگذار بوده است؛ به‌طوری‌که مقدار تمامی عناصر مورد بررسی در ایستگاه شماره ۵ که دور از کارخانه فولاد و همچنین در جهت خلاف باد غالب منطقه قرار داشت، از دیگر ایستگاه‌ها کمتر و در ایستگاه شماره ۱ که در داخل کارخانه و مجاورت منبع تولید آلودگی بود، از بقیه بیشتر بود. بنابراین می‌توان بیان کرد که فاصله از منبع آلاینده و جهت باد غالب بر مقدار غلظت این عناصر در گیاه تأثیرگذار است. در دیگر مطالعات نیز تأثیر مثبت جهت وزش باد غالب بر غلظت عناصر سنگین نشان داده شده است (Pourkhabbaz & Javanmardi, 2018; Saba *et al.*, 2015).

مقادیر ضریب تجمع زیستی (BCF) در مورد چهار فلز آهن، منگنز، سرب و کادمیوم نشان داد که درختان کنار تنها قادر به استخراج فلز کادمیوم از خاک هستند. در مطالعه‌ای که توسط Divband و همکاران (۲۰۱۱) انجام شده است، از خاکستر برگ درخت کنار به‌عنوان یک جاذب در حذف کادمیوم از محیط‌های آبی استفاده شده است. همچنین Torkashvand و همکاران (۲۰۱۸) درختان برهان و اکالیپتوس را به‌عنوان استخراج‌کننده عنصر کادمیوم در محدوده کارخانه ملی فولاد اهواز شناسایی کرده‌اند. این امر نشان از انتقال کادمیوم به اندام‌های هوایی درختان در اطراف صنایع فولاد اهواز دارد که از یکسو نشان‌دهنده وجود این فلز سنگین در منطقه بوده و از سوی دیگر نشان از ورود و انتقال آن به برگ درختان منطقه دارد. درواقع کادمیوم هم خاصیت انفعالی و هم خاصیت متابولیکی دارد و به‌راحتی توسط پوشش گیاهی جذب می‌شود (Bhattacharya *et al.*, 2000; Smolaykov, 2012). کادمیوم به راحتی توسط ریشه گیاه جذب می‌شود و سمیت آن تا ۲۰ برابر بیشتر از دیگر فلزات سنگین است (Mortazavi *et al.*, 2019). براساس نظریه Vazquez و همکاران (۲۰۰۹)، فلزات سرب، آهن و منگنز اغلب در ریشه درختان و توسط دیواره سلولی غیرمتحرک شده و بخش اندکی از آنها به اندام هوایی گیاه منتقل می‌شود. همچنین براساس تحقیقات Bonano و Giudice(۲۰۱۰)، سرب به‌دلیل تحرک کمتر نسبت به کادمیوم، بیشتر تمایل به جذب توسط ذرات خاک را دارد و به‌مقدار کم در اندام‌های هوایی پوشش گیاهی (مانند برگ) تجمع می‌کند. ازآنجایی‌که ضریب تجمع زیستی کنار برای فلز کادمیوم بیشتر از ۱ است، بنابراین درختان کنار در جذب فلز سنگین کادمیوم کارا هستند، اما به‌دلیل مصرف میوه و برگ درختان کنار توسط مردم، توصیه می‌شود استفاده از این درختان در مناطقی با شرایط اقلیمی و خاکی مشابه و آلوده به کادمیوم، با توجه به ملاحظات محیط‌زیستی باشد. با توجه به نوع آلاینده، هر گونه گیاهی می‌تواند برای یک یا چند آلاینده به‌عنوان گونه‌های مناسب در گیاه‌پالایی استفاده شود یا اینکه آن گونه توانایی گیاه‌پالایی ندارد (Mortazavi *et al.*, 2019). بنابراین قابلیت هر گونه در مناطق مختلف لازم است در پژوهش‌های متعدد مورد بررسی قرار گیرد تا

www.SID.ir

Archive of SID

بانک اطلاعاتی کشور در این زمینه تکمیل شود و بتوان با توجه به هر آلاینده، یک گونه کارا را در گیاه‌پالایی معرفی کرد.

براساس یافته‌های این پژوهش، فاصله از مبدأ آلاینده و جهت باد غالب بر مقدار غلظت چهار عنصر آهن، منگنز، سرب و کادمیوم در برگ درختان و خاک پای درختان کنار اثرگذار است. با توجه به کارا بودن میانگین ضریب تجمع زیستی درختان کنار (۱/۹۴) در جذب عنصر کادمیوم، پیشنهاد می‌شود که از این درخت در مناطق آلوده به کادمیوم خوزستان و حتی مناطقی با اقلیم و شرایط خاکی مشابه استفاده نشود که دلیل آن استفاده از برگ درختان کنار به‌عنوان داروی سدر و مصرف خوراکی میوه درختان کنار است، بنابراین، این درخت در مناطق آلوده به کادمیوم تنها با در نظر گرفتن ملاحظات محیط‌زیستی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. هرچند در این پژوهش به‌دلیل محدودیت بودجه، از بررسی فلزات سنگین در میوه کنار صرف‌نظر شد، ولی پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده به این مورد توجه شود.

منابع مورد استفاده

-Abdullateef, B., Kolo, B. G., Waziri, I. and Idris, M.A. 2014. Assessment of Neem tree (*Azadirachta indica*) leaves for pollution status of Maiduguri Environment, Borno State, Nigeria. International Journal of Engineering and Science, 3(9): 31-35.

-Bacci, E., Calamari, D., Gaggi, C. and Vighi, M. 1990. Bioconcentration of organic chemical vapors in plant leaves: experimental measurements and correlation. Environmental Science & Technology, 24(6): 885-889.

-Bhattacharya, M.H., Wilson, A.K., Rajan, S.S. and Jonah, M. 2000. Biochemical pathways in cadmium toxicity. In Molecular Biology and Toxicology of Metals (Eds. R.K. Zalups and J. Koropatnick). Taylor and Francis, London, 288p.

-Bonano, G. and Lo Giudice, R. 2010. Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. Ecological Indicators, 10: 639-645.

-Brown, D.H. 1991. Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects. Edited by Shaw A. Jonathan. Boca Raton, Florida: CRC Press. 355p.

-Celik, A., Kartal, A., Akdogan, A. and Kaska, Y. 2004. Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinia pseudoacacial* L. Environment International, 31(1): 105-112.

-Cheraghi, M., Safahieh, A., Dadolahi Sohrab, A., Ghanemi, K. and Doraghi, A. 2013. Determination of heavy metals concentrations in the Mangroves (*Avicennia marina*) and sediments of Imam Khomeini Port. Journal of Oceanography, 4(14): 19-25 (In Persian).

-Divband, L., Behzad, M., Broomand, S. and Abedi koohpayi, G. 2011. Investigation on efficiency of ZiZiphus leaf ash for removing of Cadmium from water. 3rd Irrigation and Drainage Network Management National Conference. Ahvaz, 1-3 march 2011, 4897 (In Persian).

-Eid Alsbou, E.M. and Al-Khashman, O.A. 2018. Heavy metal concentrations in roadside soil and street dust from Petra region, Jordan. Environmental Monitoring and Assessment, 190(48): 1-13.

-Esfandiari, M., Sodaeizadeh, H. and Mokhtari, M.H. 2019. Accumulation of heavy metals in Mondell Pine (Pinus eldarica) leaves and bark at different distances of Yazd Highway Green Belt. Journal of Forest and Wood Products, 72(1): 9-20 (In Persian).

-Gholami, A., Davami, A.H., Panahpour, A. and Amini, H. 2013. Evaluation of "Conocarpus erectus" Plant as Biomonitoring of Soil and Air Pollution in Ahwaz Region. Middle-East Journal of Scientific Research, 13(10):1319-1324.

-Ghosh, M. and Singh S.P. 2005. A review on Phytoremediation of heavy metals and utilization of its by-products. Applied Ecology and Environmental Research, 3(1):1-18.

-Jacob, J.M., Karthik, C., Saratale, R.G., Kumar, S.S., Prabakar, D., Kadirvelu, K. and Pugazhendhi, A. 2018. Biological approaches to tackle heavy metal pollution: A survey of literature. Journal of Environmental Management, 217: 56-70.

-Jackson, M.L. 1958. Soil Chemical Analysis. New Jersey, Prentice-Hall, 498p.

Laghlimi, M., Baghdad, B., El Hadi, H. and Bouabdli, A. 2015. Phytoremediation mechanisms of heavy metal contaminated soils: a review. Open journal of Ecology, 5(8): 375-388.

Liu, Y., Zhu, Y. and Ding, H. 2007. Lead and cadmium in leaves of deciduous trees in Beijing, China: Development of a metal accumulation index (MAI). Environmental Pollution, 145(2): 387-390.

-Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awasthi, M.K., Lahori, A.H., Wang, Q., Li, R. and Zhang, Z. 2016. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. Ecotoxicology and

www.SID.ir

Archive of SID

-Sardabi, H., Saleha Shoshtari, M.H., Banj Shafiei, S., Ashraf Jafari, A., Toghraie, N. and Shariat, A. 2013. Investigation on potential of few eucalypt species for absorbing pollutants and reserving them in their leaves. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(2): 357-372 (In Persian).

-Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M.R., Ishaque, W., Kamran, M.A., Matloob, A., Rehim, A. and Hussain, S. 2017. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. Chemosphere, 171: 710-721.

-Skrbic, B., Milovaca, S.Z. and Matavulj, M. 2012. Multielement profiles of soil, road dust, tree bark and wood-rotten fungi collected at various distances from high-frequency road in urban area. Ecological Indicators, 13(1): 168-177.

-Smolaykov, B.S. 2012. Uptake of Zn, Cu, Pb, and Cd by water hyacinth in the initial stage of water system remediation. Applied Geochemistry, 27: 1214-1219.

-Torkashvand, V., Mohammadi Rouzbahni, M. and Babaeinezhad, T. 2018. Survey of heavy metals (Pb, Ni, Cr, and Cd) bio-accumulation in the leaves of (*Albizia lebbek* and *Eucalyotus camadulensis*) (case study: Iran National Steel Industrial Group). Journal of Neyshabur University of Medical Science, 6(1): 33-43 (In Persian).

-Vazquez, S., Goldsbrough, P. and Carpena, R.O. 2009. Comparative analysis of the contribution of phytochelatins to cadmium and arsenic tolerance in soybean and white lupen. Plant Physiology and Biochemistry, 47: 63-67.

Environmental Safety, 126: 111-121.

-Mortazavi, S., Ghasemi Aghbash, F. and Naderi Motiy, R. 2019. The feasibility of biomonitoring of heavy metals by wooden species of urban trees. Journal of Forest Research and Development, 5(1): 55-71 (In Persian).

-Prasad, M. N.V. 2004. Heavy Metal Stress in Plants, Andhra Pradesh India. 480p.

-Pourkhabbaz, A.R., Shirvani, Z. and Ghaderi, M.G. 2015. Biomonitoring of air pollution in urban regions by *Platanus orientalis* and *Fraxinus excelsior* (Case study: Shiraz city). Journal of Environmental Studies, 41(2): 351-360 (In Persian).

-Pourkhabbaz, H.R. and Javanmardi, S. 2018. Determination of heavy metal concentration in vegetation around cement factory of Behbahan by using plant bioindicators. Journal of Geographic Space, 18(62):19-29 (In Persian).

-Rafati, M., Khorasani, N., Moraghebi, F. and Shirvany, A. 2012. Phytoextraction and Phytostabilization Potential of Cadmium, Chromium and Nickel by *Populus alba* and *Morus alba* Species. Journal of Natural Environment, 65(2): 181-191.

-Saba G, Parizanganeh A.H., Zamani A. and Saba J. 2015. PhytoremeDiation of heavy metals in contaminated environments: Screening for native accumulator plants in Zanjan-Iran. International Journal of Environmental Research, 9(1):309-316.

-Salehi, A. 2019. Phytoremediation: a remediation technology of heavy metal contaminated soils. Human and Environment, 49(2): 27-42 (In Persain).

www.SID.ir

Archive of SID

Bioaccumulation of some heavy metals by the soil and leaves of *Ziziphus spina-christi* in Khouzestan Oxin Steel Company

M. Rafati [1*], M. Mohammadi Roozbahani [2] and Z. Pirmoradi [2]

1*-Corresponding Author, Young Researchers and Elite Club, North Tehran Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

E-mail: m.rafati.env@gmail.com
2- Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Received: 21.07.2019 Accepted: 01.02.2020

Abstract

In this study, the accumulation of heavy metals included iron, manganese, lead, and cadmium in a native species of Christ's thorn jujube (*Ziziphus spina-christi*) was investigated. To this end, random samples were collected from tree leaves and soil at the bottom of the trees from five stations in Khouzestan Oxin Steel Company. Station 1 was located in the company center and adjacent to the source of pollution. Station 2 was situated 100 m away from the company and in the path of wind direction. Stations 3 and 4 were located approximately 200 meters from the source of pollution and in the direction of the prevailing wind direction. Station 5 was placed three kilometers from the company in the opposite direction of the prevailing wind (as a control station). The results showed that the lowest concentrations of all elements in the leaves of the trees and the soil of the trees were found to be at station 5 and the highest at station 1, therefore, it can be concluded that the distance from the company and the dominant wind direction were effective for this results. The calculation of the bioconcentration factor (BCF) for four heavy metals showed that the trees were only able to absorb cadmium from the soil with a BCF value of more than one. Considering the usefulness of this tree in absorption of cadmium and direct use of fruit and leaves of trees, it is suggested that this tree can be used in areas with cadmium contamination in Khuzestan and areas with similar climate and soil conditions with considering environmental conditions.

Key words: Accumulation of heavy elements, Ahwaz, lead, Cadmium, Phytoremediation.

www.SID.ir