



بررسی تجمع بیولوژیکی فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم و کادمیوم در برگ گونه‌های درختی برهان و اکالیپتوس (مطالعه موردی: شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران)

وحید ترکاشوند^۱، مریم محمدی روزبهانی^{۲*}، تیمور بابایی نژاد^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، اهواز، ایران
- ۲- استادیار، گروه آلودگی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- ۳- استادیار، گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

چکیده	مقاله مورد شهادی
مقدمه سمیت فلزات سنگین و تجمع آنها در زنجیره غذایی یکی از اصلی‌ترین معضلات زیست محیطی و بهداشتی جوامع مدرن است. این مطالعه با هدف بررسی میزان تجمع فلزات سنگین در دو گونه گیاهی اکالیپتوس و برهان در محدوده شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران در سال ۱۳۹۵ صورت گرفت. مواد و روش‌ها برای نمونه‌برداری ۵ ایستگاه در محدوده شرکت در نظر گرفته شد و از برگ گونه‌های درختی برهان و اکالیپتوس و خاک پای آن با ۳ تکرار نمونه‌برداری شد. تعداد کل نمونه‌های خاک و گیاه ۹۰ نمونه بود. هضم نمونه‌های گیاهی به روش جکسون (۱۹۵۸) و برای نمونه‌های خاک به روش EPA۳۰۵۰ انجام گرفت و غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه ICP قرائت گردید. یافته‌ها روند تجمع غلظت فلزات سنگین در ۵ ایستگاه برای تمام نمونه‌ها برابر با $Cr > Ni > Pb > Cd$ بود. بیشترین جذب فلزات سنگین مربوط به فلز کروم در اکالیپتوس با مقدار $3753/45 \pm 0/39$ میلی گرم بر کیلوگرم بود. مقادیر تجمع زیستی فلزات سرب، نیکل و کروم کمتر از یک شد. اما در ارتباط با فلز کادمیوم بیشتر از یک شد که نشان دهنده توانایی این دو گونه در پالایش خاک‌های آلوده به فلز سنگین کادمیوم است. نتیجه‌گیری میزان آلودگی گیاهان مورد بررسی در منطقه تحت تاثیر فرآیندهای تولید در شرکت بوده است. مقایسه میزان غلظت عناصر نشان می‌دهد که گونه اکالیپتوس بهتر از گونه برهان قادر به جذب عناصر بوده است. پیشنهاد می‌شود در مناطق صنعتی از گونه اکالیپتوس در راستای جذب و کاهش آلودگی فلزات سنگین در محیط زیست استفاده شود. کلیدواژه‌ها تجمع زیستی، فلزات سنگین، اکالیپتوس، برهان، گروه ملی صنعتی فولاد ایران	تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۶ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۱۹ *نویسنده مسئول: مریم محمدی روزبهانی، گروه آلودگی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران تلفن: پست الکترونیک: Mmohammadiroozbahani@yahoo.com



مقدمه

مهم‌ترین بخش مورد بحث در محیط زیست شناخت آلاینده‌های زیست محیطی و پیشگیری و مراقبت‌های کارشناسی در زمینه ورود آلاینده‌ها به طبیعت است. فلزات سنگین همچون سرب، روی، کادمیوم، نیکل، کروم، آهن، منگنز، کبالت و ... به دلیل تاثیرات مخرب محیطی همواره مورد توجه کارشناسان محیط زیست هستند و از آلوده کننده‌های اصلی محیط زیست به شمار می‌روند (۱). گیاهان قادرند به طرق مختلف آلاینده‌ها را از محیط زیست دور نمایند. قابلیت فراوان برخی از گونه‌ها در جذب انتخابی عناصر و ترکیبات آلوده کننده امکان استفاده از گیاهان در پاکسازی محیط‌های آلوده یا زیست پالایی را فراهم کرده است (۲). در مطالعه محمدی روزبهانی و همکار، گیاه شلغم به عنوان یک هایپراکیمولاتور^۱ برای فلز نیکل معرفی گردید (۳). فلزات سنگین، فلزاتی با چگالی بالاتر از ۵ گرم بر سانتیمتر مکعب تعریف می‌شوند که منبع عمده آنها فعالیت‌های صنعتی و انسانی مانند استخراج معادن، ذوب و آبکاری فلزات، انرژی و تولید سوخت، حمل و نقل، استفاده از آفت‌کش‌ها و کودها در کشاورزی است (۴). روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محیط توسعه یافته‌اند که استفاده از برخی از آنها به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و از طرف دیگر به لحاظ بوم شناختی آثار منفی بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک دارد (۵).

سرب در محیط زیست به طور طبیعی به صورت سولفید سرب (PbS) موجود است و از نظر اهمیت سی و ششمین عنصر در زمین است. صرف نظر از منابع طبیعی و مقدار سرب اولیه زمین، سرب از طریق فعالیت‌های بشر به محیط زیست راه می‌یابد (۶). در مناطق شهری تولید سرب بیشتر از طریق آلودگی حاصل از

سوخت اتومبیل‌ها و روغن موتورهای و همچنین می‌تواند ناشی از باتری‌های سربی، آرسنات سرب در قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها، نشت مایعات از صنایعی مانند تولید استیل و نشت مایع از کوره‌های زباله‌سوزی باشد (۷). سرب همانند آب، خاک و هوا به طور طبیعی در گیاهان نیز وجود دارد. جذب سرب از خاک از طریق ریشه‌ها یک منبع مهم در گیاهان است. مسئله مهم دیگر وجود ذرات سرب در اتمسفر است که با رسوب بر روی برگ‌های گیاه می‌تواند منبع مهم دیگر سرب در گیاهان باشد ترهار بیان کرد که مقدار سرب در بافت گیاهانی که در هوای با ۱/۴۵ میکروگرم در متر مکعب سرب رشد می‌کنند بیشتر از گیاهانی است که در همان نوع خاک ولی هوای تمیز رشد می‌کنند (۸).

کادمیوم یکی از فلزات سنگین دو ظرفیتی است که در طبیعت بیشتر در سنگ‌های معدنی همراه با روی یافت می‌شود. این عنصر از طریق فعالیت‌های معدن کاوی، استخراج و پردازش سنگ‌های معدنی روی، آبکاری فلزات، استفاده از سوخت‌های فسیلی، کودهای فسفاته و حشره‌کش‌ها در کشاورزی و از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی وارد خاک و گیاه می‌شود. در بین ۲۰ عنصر سمی، کادمیوم از نظر اثری که روی فعالیت‌های سیستم‌های آنزیمی می‌گذارد مرتبه هفتم را دارد. همچنین پنجمین فلز سمی برای مهره‌داران و چهارمین فلز سمی برای گیاهان آوندی است (۹).

استفاده وسیع از فلز کروم در صنایع گوناگون مانند صنایع دباغی و چرم‌سازی، نساجی، ذوب، فلز کاری، رنگ‌سازی، معدن و صنایع هسته‌ای و بسیاری از صنایع دیگر باعث شده است مقدار زیادی از این فلز در محیط زیست وارد شده و سبب آلودگی خاک‌ها و آب شود. با احتراق زغال سنگ کروم وارد هوا شده و از طریق زباله‌های صنعتی کروم وارد خاک می‌شود. اکثر کروم هوا ته نشین شده و به آب و خاک وارد می‌گردد (۱۰). کارخانه‌ها و

^۱ Hyperaccumulator



که بیانگر این است که فلزات سنگین موجود در برگ درختان در منطقه مورد مطالعه تنها مربوط به فعالیت‌های صنعتی سرب و روی ایران (NILZ) و مجتمع صنعتی (ZSIC) می‌باشد. همچنین بهترین گیاه برای ذخیره و پالایش عناصر روی و کادمیوم درخت *Thujaorientalis* می‌باشد (۱۴). با توجه به اهمیت صنعت مذکور در این تحقیق به بررسی میزان تجمع عناصر سنگین سرب، نیکل، کروم و کادمیوم در برگ گونه‌های درختی غالب (اکالیپتوس - برهان) محدوده شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

۱. شرح منطقه

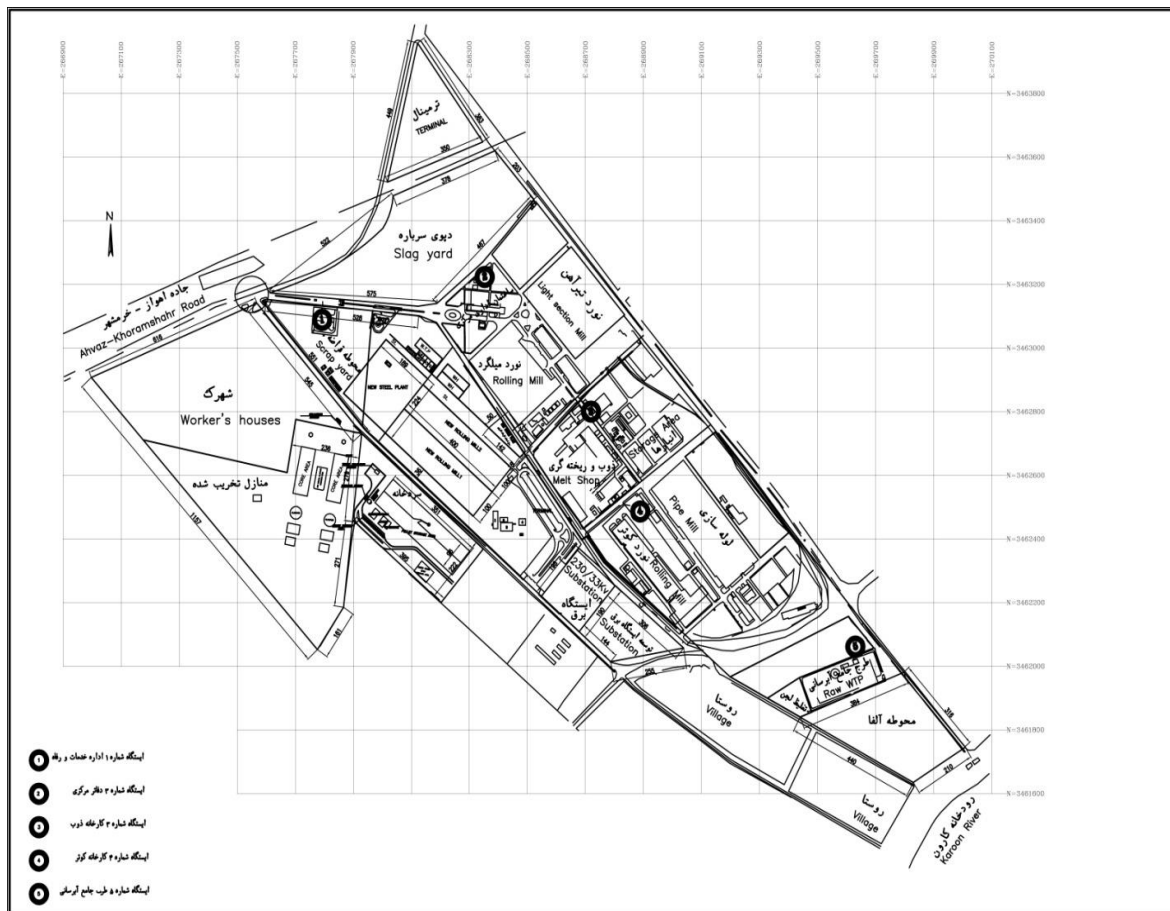
منطقه مورد بررسی در این مطالعه در قسمت جنوب غربی شهرستان اهواز واقع شده است. گروه ملی در محدوده جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه، تعداد ۵ ایستگاه در محدوده مطالعاتی به گونه‌ای انتخاب شد که با اهداف مورد نظر مطابقت داشته باشد. وجود گیاهان مورد نظر برای بررسی و همچنین در نظر گرفتن نقشه گلباد منطقه و جهت باد غالب از نکات قابل توجه در انتخاب ایستگاه‌های مورد نظر بود، به این صورت که ایستگاه‌های شماره ۱ و ۲ جزء مناطقی بودند که هیچگونه کارخانه تولیدی و منبع آلودگی در کنار آنها نبود ولی کاملاً در مسیر جهت باد غالب بودند. ایستگاه‌های شماره ۳ و ۴ مناطقی بودند که در مرکز شرکت قرار داشتند و در مجاورت کارخانه‌های تولیدی و منابع آلودگی بودند و ایستگاه شماره ۵ هم مرکز آبرسانی و تصویه پساب‌های خروجی و تغلیظ لجن شرکت بود که کاملاً در جهت خلاف باد غالب قرار داشت.

سوزاندن زباله‌ها دو عامل اصلی در تولید نیکل و ورود آن به هوا می‌باشند (۹).

بررسی میزان تجمع فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی و درختچه‌ای (اکالیپتوس و کونوکارپوس) در محدوده اطراف مجتمع فولاد خوزستان در سال ۱۳۹۴ مطالعه دیگری است که نتایج آن نشان داد در بین فلزات مورد بررسی میزان تجمع فلز سرب در برگ دو گونه بیشتر از سایر فلزات می‌باشد و همچنین می‌توان گفت در مورد توانایی پالایش خاک تنها در مورد فلز کادمیوم این فرضیه اثبات شد (۱۱)، بررسی میزان تجمع فلز سنگین سرب در برگ گونه‌های درختی غالب شهرستان دزفول که در سال ۱۳۹۲ انجام پذیرفت نشان داد که هیچ یک از گیاهان کنار، اکالیپتوس و برهان قابلیت تجمع این فلز را در اندام‌های گیاهی خود نداشتند (۱۲).

بررسی تجمع فلزات سنگین (Cd, Ni, Fe, Co, Zn) در پوشش گیاهی غالب محدوده اطراف شرکت فولاد خوزستان که در سال ۱۳۹۱ انجام پذیرفت نشان داد خاک و پوشش گیاهی محدوده شرکت فولاد خوزستان به عناصر آهن، کبالت و روی آلوده است و همچنین گونه‌های درختی نسبت به گونه درختچه‌ای در جذب آلودگی این عناصر موثرتر بوده‌اند و تمام غلظت‌ها در محدوده طبیعی قرار داشتند و هیچ یک از گیاهان را نمی‌توان به عنوان گیاه بیش تجمع کننده در نظر گرفت (۱۳).

بررسی اثر گیاه پالایی چند گونه درخت در اطراف مجتمع صنعتی زنجان بر کاهش غلظت فلزات سنگین (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb) در سال ۲۰۱۵ نشان داد که غلظت فلزات سنگین (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb) در ایستگاه‌های نزدیک به مجتمع صنعتی بسیار بیشتر از ایستگاه‌های در نظر گرفته شده در فواصل دورتر از مجتمع بود



نمونه برداری از خاک و گیاه

با توجه به اینکه رابطه بین خاک و گیاه مورد نظر بود، هر دو از یک ایستگاه برداشت شدند. از گیاهان غالب شرکت (اکالیپتوس و برهان) مقادیری برگ از شاخه‌های درختان از ارتفاع ۱-۲ متر با ۳ تکرار برداشته شد و پس از انتقال به آزمایشگاه به دو گروه شسته و نشسته طبقه‌بندی گردیدند، که در مجموع ۶۰ نمونه گیاهی مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌های خاک نیز با ۳ تکرار از پای گیاهان در ایستگاه‌های مختلف تا عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری برداشته شد و در مجموع ۳۰ نمونه در کیسه‌های نایلونی جداگانه قرار گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد.

آماده‌سازی نمونه‌های گیاه و خاک

ابتدا نیمی از برگ‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آب مقطر دیونیزه مورد شست‌وشو قرار گرفت. سپس برگ‌ها را به قطعات کوچک تقسیم نموده و در پاکت‌های کاغذی در آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده تا خشک شوند. پس از خشک شدن نمونه‌ها، توسط هاون چینی برگ‌ها را به شکل پودر درآورده و پس از غربال کردن با استفاده از الک ۶۳ میکرون، ۰/۵ گرم از گیاه پودر شده با استفاده از ترازو با دقت ۴ رقم اعشار توزین گردید. برای آماده‌سازی نمونه‌های خاک، ابتدا خاک‌ها را در ظروف آلومینیومی مخصوص ریخته و



رساندیم، مایع حاصل را پس از عبور از کاغذ صافی به حجم ۲۵ سی سی رساندیم که در این حالت نمونه جهت خواندن دستگاه ICP آماده شد (۱۷).

محاسبه ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال

ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال، مشخص کننده توانایی گیاهان برای تحمل و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های خود بوده که این پارامترها با استفاده از: (غلظت فلز در ریشه/ مقدار فلز در خاک = ضریب تجمع زیستی ریشه)، (غلظت فلز در اندام-های هوایی/ مقدار فلز در خاک = ضریب تجمع زیستی اندام‌های هوایی) و (غلظت فلز در اندام‌های هوایی/ غلظت فلز در اندام زیر زمینی = فاکتور انتقال) محاسبه می‌گردند (۱۸).

ضریب تجمع زیستی (BCF)

غلظت فلز در خاک (میلی گرم در کیلوگرم) / غلظت فلز در بافت گیاهی (میلی گرم در کیلوگرم) = ضریب تجمع زیستی برای هر اندام

بر اساس رابطه فوق گیاهانی که دارای ضریب تجمع زیستی بیشتر از ۱ به خصوص در مجموع اندام‌های هوایی خود باشند، جهت استخراج گیاهی و آنها که دارای ضریب تجمع زیستی بیشتر از ۱ در ریشه و فاکتور انتقال کوچکتر از ۱ باشند، برای تثبیت گیاهی مناسب هستند. از آنجا که نمونه‌برداری گیاهی در این آزمایش اندام هوایی هر گونه گیاهی را در بر می‌گیرد ضریب تجمع زیستی در اندام هوایی با استفاده از مقادیر تجمع فلزات در برگ‌ها محاسبه گردید.

یافته‌ها

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار فلزات سرب، نیکل، کروم و کادمیوم در نمونه خاک گیاه اکالیپتوس در ایستگاه ۵ به ترتیب به مقدار $10000 \pm 50/48$ ، $7690 \pm 40/39$ ،

در دستگاه آون به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرارگرفت تا کاملاً خشک شدند. سپس نمونه‌ها، در هاون چینی پودر شده و پس از غربال کردن با استفاده از الک ۶۳ میکرون ، $0/5$ گرم از خاک پودر شده با استفاده از ترازو با دقت ۴ رقم اعشار توزین گردید (۱۵).

هضم نمونه‌های گیاه و خاک

در روش جکسون (۱۹۵۸) برای هضم نمونه های گیاهی ابتدا مخلوطی از ۳ اسید به نسبت ۷۵۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ، ۱۵۰ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ و ۳۰۰ میلی لیتر پر کلراید غلیظ ۶۰ درصد ترکیب و تهیه گردید. سپس مقدار ۱ گرم از نمونه وزن شده گیاه به بشر ۱۰۰ میلی لیتری منتقل شد و ۵ سی سی اسید نیتریک غلیظ به هر کدام از نمونه‌ها اضافه گردید و پس از گذاشتن شیشه ساعت بر روی بشر روی هیتز با درجه حرارت ۷۵ درجه قرار داده شد. عمل حرارت دادن به ملایمت آغاز شد تا بخاری به رنگ قهوه‌ای از نمونه‌ها متصاعد شد. پس از گذشت ۵-۱۰ دقیقه مقدار ۵-۱۰ سی سی از مخلوط ۳ اسید مذکور به هر کدام از بشرها اضافه گردید. سپس عمل حرارت دادن را شدیدتر کرده تا اکسیداسیون مواد گیاهی به اتمام رسید. در این عمل حجم نمونه‌ها به ۲-۳ میلی لیتر کاهش یافته و نمونه‌ها کاملاً بی‌رنگ شد. پس از این مرحله مقداری آب مقطر به آن اضافه شد تا به حجم ۱۰۰ سی سی رسید. سپس درون ظروف تیره با درب پلاستیکی قرار داده شد و میزان فلزات سنگین موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه ICP خوانده شد. جهت هضم نمونه‌های خاک، از روش EPA ۳۰۵۰ (۱۶) استفاده گردید. نمونه‌ها پس از خشک شدن در دمای ۶۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت، از الک ۶۳ میکرون عبور داده شده و پودر گردید. سپس به $0/5$ گرم از هر نمونه پودر شده به ترتیب ۲-۳ قطره HCL ۱ نرمال، $0/5$ سی سی تیزاب سلطانی و ۳ سی سی $HClO_4$ افزوده شد و بشر را روی حمام شن در دمای ۱۲۵ درجه

^۱ Bio- Concentration Factor



۱۱۳۰۰/۴۵±۰/۳۹ و ۵۰/۴±۰/۴۲ میلی گرم در کیلوگرم و کمترین مقدار فلزات سرب، نیکل، کروم و کادمیوم در نمونه خاک گیاه اکالیپتوس در ایستگاه ۱ به ترتیب به مقدار ۲۰۰/۶۶±۰/۶ ، ۴۷۴۰/۳±۰/۳۳ ، ۶۶۹۰±۰/۲۵ و ۰/۰۰۰±۰/۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم می باشد. (جدول ۱ و ۲)

جدول ۱- نتایج اندازه گیری فلزات سرب، نیکل، کروم و کادمیوم در نمونه های گیاه اکالیپتوس در ایستگاه های مختلف

ایستگاه	انحراف معیار ± میانگین گیاه (mg/kg) (اکالیپتوس)							
	فلز سرب (Pb)		فلز نیکل (Ni)		فلز کروم (Cr)		فلز کادمیوم (Cd)	
	شسته شده	شسته نشده	شسته شده	شسته نشده	شسته شده	شسته نشده	شسته شده	شسته نشده
ایستگاه ۱	۳۸/۳۳±۰/۳۴	۲۸/۲۵±۰/۹	۴۳۸/۲۵±۰/۲۵	۴۹۱/۲۵±۰/۲	۱۱۷۸/۲۵±۰/۵۲	۱۶۸۲/۲۵±۰/۳	۰/۰۰۰±۰/۰۰۰	۱۷/۲۵±۰/۲۵
ایستگاه ۲	۱۹/۷±۰/۵۹	۴۲/۳۳±۰/۶	۲۷۰/۲۷±۰/۶	۲۷۷/۳۳±۰/۳	۱۵۰/۱/۴۵±۰/۶۱	۳۴۸۱/۵±۰/۱۵	۱۵/۲۵±۰/۱۵	۰/۰۰۰±۰/۰۰۰
ایستگاه ۳	۳۴/۳۴±۰/۲۸	۵۶/۴±۰/۳۳	۳۰۰/۵±۰/۵۱	۳۲۰/۲۱±۰/۱	۹۲۵±۰/۱۳	۲۲۳۹±۰/۵۲	۴۰/۲۸±۰/۳	۳۶/۳±۰/۱۲
ایستگاه ۴	۴۳/۲۵±۰/۱۸	۶۹/۸±۰/۵۲	۱۹۷/۲۵±۰/۲۹	۲۱۱/۲۱±۰/۴۵	۱۳۶۸/۶±۰/۹	۳۷۵۳/۴۵±۰/۳۹	۰/۰۰۰±۰/۰۰۰	۰/۰۰۰±۰/۰۰۰
ایستگاه ۵	۴۱/۳۶±۰/۴۷	۲۴/۱۲±۰/۱	۱۳۶/۳۳±۰/۳۳	۲۲۸/۵±۰/۳۶	۵۰/۰۶±۰/۰۴	۱۴۷۳/۶۵±۰/۴۷	۰/۰۰۰±۰/۰۰۰	۵۷/۵۵±۰/۵۲

میزان تجمع فلزات سرب، نیکل و کروم در هیچ یک از ایستگاه ها قابل ملاحظه نبود و هیچ یک از مقادیر بالاتر از یک مشاهده نشد.

ولی در مورد کادمیوم در برخی از ایستگاه ها ضریب تجمع زیستی بالاتر از ۱ شد.

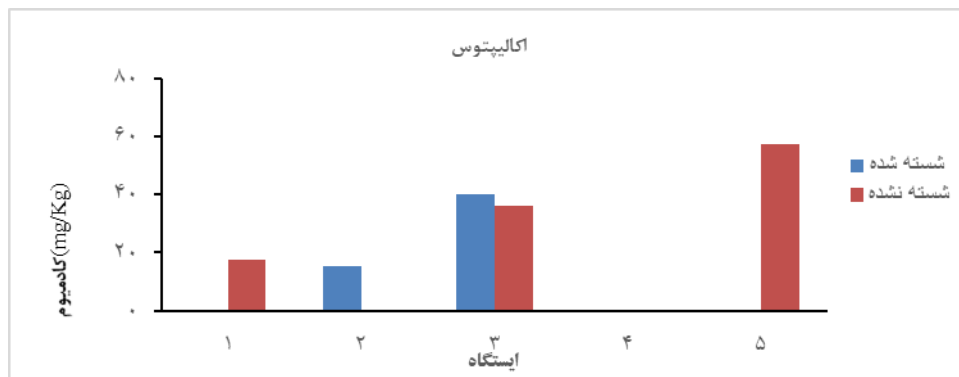
جدول ۲- نتایج اندازه گیری فلزات سرب، نیکل، کروم و کادمیوم در نمونه های گیاه برهان در ایستگاه های مختلف

ایستگاه	انحراف معیار ± میانگین گیاه (mg/kg)							
	فلز سرب (Pb)		فلز نیکل (Ni)		فلز کروم (Cr)		فلز کادمیوم (Cd)	
	شسته شده	شسته نشده	شسته شده	شسته نشده	شسته شده	شسته نشده	شسته شده	شسته نشده
ایستگاه ۱	۲۴/۲۵±۰/۲	۳۵/۲۵±۰/۳	۹۳/۳۵±۰/۳	۶۲/۲۵±۰/۴	۱۳۲۳/۲۵±۰/۴	۲۳۸۹/۲±۰/۶۵	۱۸/۱۷±۰/۱۶	۱۶/۲±۰/۲۵
ایستگاه ۲	۴۰/۲۵±۰/۳	۴۸/۲±۰/۲	۷۳/۲۵±۰/۲۵	۱۴۱/۵۶±۰/۳۷	۴۱۷±۰/۷۳	۲۹۲۲/۲۵±۰/۲۹	۳۵/۳±۰/۵۲	۲۳/۲۳±۰/۳۴
ایستگاه ۳	۳۶/۲۵±۰/۹	۲۹/۲۵±۰/۲۵	۴۸±۰/۴	۱۱۹/۱۹±۰/۲۹	۵۰/۲±۰/۱۲	۲۴۱۶/۶±۰/۹	۱۱۳±۰/۲	۵۲/۲۵±۰/۲۳
ایستگاه ۴	۳۱/۲۵±۰/۱۳	۵۷/۲۵±۰/۴	۴۰/۲۵±۰/۰۵	۴۹/۴±۰/۷	۵۰/۲۵±۰/۱۲	۵۰/۲۳±۰/۱۲	۰/۰۰۰±۰/۰۰۰	۳۰/۵±۰/۴
ایستگاه ۵	۵۳/۲۵±۰/۰۵	۰/۰۰۰±۰/۰	۴۰/۲۵±۰/۱۸	۸۳/۲۵±۰/۲۴	۵۰/۲۵±۰/۱۲	۴۲۵/۲۵±۰/۲۸	۰/۰۰۰±۰/۰۰۰	۰/۰۰±۰/۰۰۰



($P > 0.05$). در خصوص فلز سرب و نیکل در خاک و برگ شسته شده و شسته نشده برهان نیز همبستگی معنی‌دار مشاهده نگردید ($P > 0.05$). تنها رابطه مثبت و معنی‌دار مربوط به فلز کادمیوم برگ‌های شسته شده و شسته نشده گونه برهان با خاک بود ($P < 0.01$).

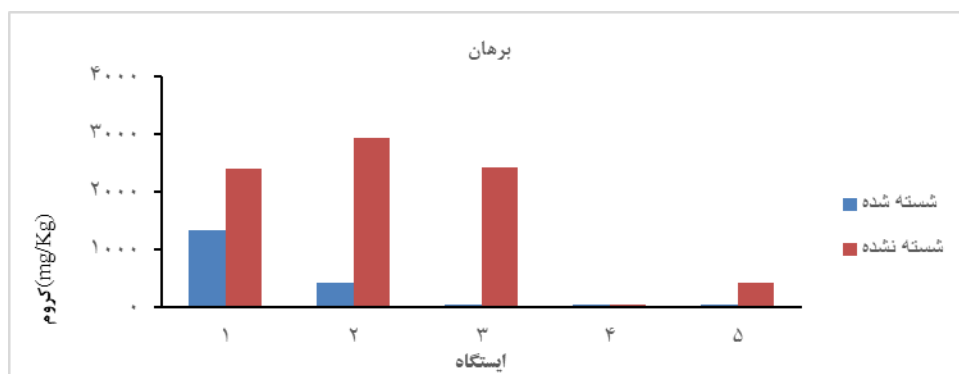
در مورد همبستگی مقدار فلز در گیاه و خاک نیز نتایج محاسبه ضریب همبستگی پیرسون برای میزان تجمع فلزات در نمونه‌های شسته شده و شسته نشده هر گیاه با خاک آن با توجه به میزان سطح معنی‌داری مشخص شد که بین میزان تجمع سرب، نیکل و کادمیوم در خاک اکالیپتوس و برگ‌های شسته شده و شسته نشده گونه اکالیپتوس همبستگی معنی‌دار وجود نداشت ($P > 0.05$).



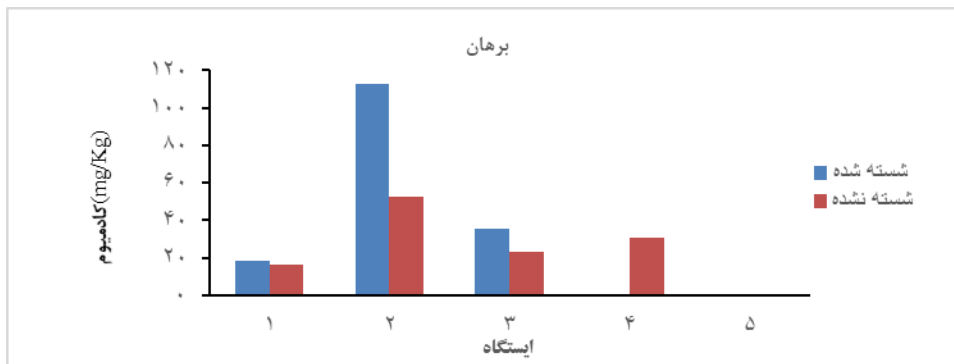
نمودار ۱- مقایسه فلز کادمیوم در برگ‌های شسته شده و شسته نشده گیاه اکالیپتوس در تمام ایستگاه‌ها

برگ‌های شسته شده تمام ایستگاه‌ها به جز ۱، ۴ و ۵ اختلاف معنی‌دار داشتند و برای برگ‌های شسته نشده تمام ایستگاه‌ها به جز ۲ و ۴ اختلاف معنی‌دار داشتند.

در مقایسه برگ‌های شسته شده و شسته نشده گیاه اکالیپتوس در ایستگاه‌های مختلف نتایج نشان داد که برای فلزات سرب، نیکل و کروم بین تمام ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) مشاهده شد. در مورد فلز کادمیوم با توجه به نمودار ۱ برای



نمودار ۲- مقایسه فلز کروم در برگ‌های شسته شده و شسته نشده گیاه برهان در تمام ایستگاه‌ها



نمودار ۳- مقایسه فلز کادمیوم در برگ‌های شسته شده و شسته نشده گیاه برهان در تمام ایستگاه‌ها

در مورد این فلزات نشان داد که گیاهان اکالیپتوس و برهان تنها قادر به جذب فلز کادمیوم از خاک هستند و هیچ یک از این دو گیاه توانایی چندانی برای انتقال سه فلز سرب، نیکل و کروم از خاک به اندام‌های هوایی خود نشان ندادند.

همچنین در خصوص تجمع کادمیوم بین خاک و برگ‌های شسته شده و شسته نشده برهان همبستگی مثبت معنی‌دار مشاهده گردید. در مطالعات مشابه نتایج حاصل از بررسی میزان تجمع فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیوم در برگ گونه‌های اکالیپتوس و کنوکارپوس در محدوده اطراف مجتمع فولاد خوزستان مشخص شد میزان تجمع فلز کادمیوم در برگ اکالیپتوس و کنوکارپوس بالاتر از ۱ بود (۱۱) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت. این امر نشان از انتقال کادمیوم به اندام هوایی گیاهان در اطراف صنایع فولاد و گروه ملی فولاد می‌باشد که از یک سو نشان از وجود این فلز سنگین در منطقه است و از سوی دیگر نشان دهنده ورود و انتقال آن به گیاهان منطقه می‌باشد. همچنین در بررسی فلزات سنگین Pb, Cu, Mn, Cd, Fe, Zn در گیاه کنوکارپوس بعنوان یک پالاینده زیستی آلودگی هوا و خاک در شهر اهواز، تجزیه و تحلیل نمونه‌های خاک نشان داد که غلظت بسیاری از این عناصر پایین‌تر از حد مجاز است.

در مقایسه برگ‌های شسته شده و شسته نشده گیاه برهان در ایستگاه‌های مختلف نتایج نشان داد که برای فلزات سرب و نیکل بین تمام ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) مشاهده شد. در مورد فلز کروم، در مورد برگ‌های شسته شده تمام ایستگاه‌ها به جز ۳، ۴ و ۵ اختلاف معنی‌دار وجود داشت و برای برگ‌های شسته نشده در تمام ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) مشاهده شد. در مورد فلز کادمیوم، برای برگ‌های شسته شده تمام ایستگاه‌ها به جز ۴ و ۵ اختلاف معنی‌دار داشتند و برای برگ‌های شسته نشده در تمام ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) مشاهده شد.

بحث

با توجه به نتایج مشخص گردید که بیشترین مقادیر تجمع فلزات در خاک و برگ‌های شسته شده گیاهان اکالیپتوس و برهان برای فلزات سرب، نیکل، کروم و کادمیوم به ترتیب ۱۰۰۰۰/۵ ، ۷۶۹۰/۴ ، ۱۱۳۰۰/۴۵ و ۵۰/۴ میلی گرم در کیلوگرم در نمونه‌های خاک و ۴۳/۲۵ ، ۴۳۸/۲۵ ، ۱۵۰۱/۴۵ و ۴۰/۲۸ میلی گرم در کیلوگرم در برگ اکالیپتوس و ۵۳/۲۵ ، ۹۳/۳۵ ، ۱۳۲۳/۲۵ و ۱۱۳ میلی گرم در کیلوگرم در نمونه‌های برگ برهان مشاهده شد. همچنین محاسبه ضریب تجمع زیستی



یافته‌های مطالعه شریعت و همکاران نشان داد که اکالیپتوس توان انباشته سازی عنصر آلاینده کادمیوم را دارد بدون آنکه اختلال جدی در رشد آن بوجود آید (۲۱). نتایج مطالعه اثر گیاه پالایی چند گونه درخت در اطراف مجتمع صنعتی زنجان نشان داد که غلظت فلزات سنگین (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb) در ایستگاه‌های نزدیک به مجتمع صنعتی، بسیار بیشتر ایستگاه‌های دورتر از مجتمع بود که این مسئله بیانگر این است که فلزات سنگین موجود در برگ درختان در منطقه مورد مطالعه تنها مربوط به فعالیت‌های صنعتی سرب و روی ایران (NILZ) و مجتمع صنعتی (ZSIC) است. همچنین بهترین گیاه برای ذخیره و پالایش عناصر روی و کادمیوم درخت *Thujaorientalis* است که با مطالعه حاضر همخوانی داشت (۱۴). با توجه به تشابه تحقیقات صورت گرفته در مناطق صنعتی با مطالعه حاضر می‌توان نتیجه گرفت که غلظت فلزات در محدوده‌های صنعتی بالا بوده و از سوی دیگر در ایستگاه‌های مختلف و بر اساس دوری و نزدیکی به خروجی‌های آلاینده مقدار فلزات تفاوت خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

از نظر آلودگی ایستگاه‌ها با توجه به اینکه بیشترین میزان فلزات سرب، نیکل، کروم و کادمیوم در نمونه خاک گونه اکالیپتوس در ایستگاه ۵ مشاهده گردید و از آنجا که ایستگاه ۵ در خلاف جهت باد غالب قرار داشت، لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این موضوع (جهت باد غالب) تأثیری در میزان تجمع فلزات سنگین نداشته و یا به خاطر اینکه این ایستگاه منطقه ورود پساب‌های شرکت و تغلیظ لجن است خاک گیاهان این منطقه مقادیر جذب بالای عناصر سنگین را داشته‌اند. همچنین نتیجه‌گیری می‌شود که در این صنعت تأثیر آلاینده‌های فلزات سنگین در خاک مهم‌تر و اثرگذار تر از منابع آلاینده موجود در هوا می‌باشد.

همچنین غلظت فلزات سنگین در برگ‌های شسته شده کمتر از برگ‌های شسته نشده بود (۱۹) که با نتایج مطالعه حاضر در این زمینه هم‌خوانی داشت. کمبود میزان فلزات سنگین در برگ‌های شسته شده نسبت به شسته نشده نشان دهنده وجود آلاینده‌های فلزات سنگین در هوای منطقه علاوه بر مقادیر موجود در خاک می‌باشد.

در بررسی توانایی سه گونه درختی برهان، کنار و اکالیپتوس در تجمع فلز سرب در محدوده شهری شهرستان دزفول نیز هیچ یک از گیاهان قابلیت تجمع این فلز را در اندام‌های گیاهی خود نداشتند (۱۲) و همچنین غلظت کادمیوم در سه گونه برهان، کهور و کونوکارپوس در مطالعه‌ای که در اطراف شرکت فولاد خوزستان انجام شد، در محدوده طبیعی قرار داشت و هیچ یک از گیاهان را نمی‌توان به عنوان گیاه بیش تجمع کننده در نظر گرفت (۱۳). در حالیکه در مطالعه حاضر با توجه به نتایج بدست آمده گیاه اکالیپتوس توانایی تجمع فلز کادمیوم را در برگ‌های خود نشان داد که با مطالعه ذکر شده مغایرت داشت. بالا بودن مقدار فلز سنگین در گیاه اکالیپتوس در مطالعه حاضر و عدم بالا بودن مقادیر فلزات در گونه‌های مورد بررسی در شهر دزفول نشان می‌دهد که میزان فلزات سنگین در محدوده‌های صنعتی بالاتر از مناطق شهری می‌باشند.

سردابی و همکاران در پژوهشی قابلیت چند گونه اکالیپتوس در جذب عناصر سنگین و ذخیره آنها در برگ‌ها در ۵ محل در مناطق آلوده استان‌های خوزستان و بوشهر را بررسی نمودند. نتایج حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین گونه مورد مطالعه و ایستگاه بود و مشخص شد عملکرد گونه‌های مختلف در جذب آلاینده‌ها در ایستگاه‌های مختلف یکسان نمی‌باشد، بلکه با توجه به خصوصیات محیطی، به ویژه نوع خاک تغییر می‌یابد (۲۰) که موید یافته‌های مطالعه حاضر است.



صنعتی استفاده گردد. ضمن اینکه کاشت گونه اکالیپتوس نسبت به برهان ارجحیت دارد. قطعاً استفاده از این گونه‌های بومی در مناطق بسیار منطقی‌تر از گونه‌های غیربومی خواهد بود. با توجه به بالاتر بودن ضریب تجمع زیستی در گونه اکالیپتوس، پیشنهاد می‌گردد در اطراف مناطق صنعتی و حتی مناطق شهری و در راستای کاهش مقادیر آلاینده‌های فلزات سنگین از خاک و هوا از کاشت این گونه استفاده گردد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که میزان آلودگی گیاهان مورد بررسی به عناصر سرب، نیکل، کروم و کادمیوم در منطقه تحت تاثیر فرآیندهای تولید در شرکت گروه ملی خوزستان بوده است. همچنین مقایسه میزان غلظت عناصر در این منطقه نشان می‌دهد که گونه اکالیپتوس بهتر از گونه برهان قادر به جذب این عناصر بوده است و همچنین نوع فلز و نوع گونه گیاهی هم تاثیر عمده‌ای در میزان جذب این فلزات داشته است.

در نهایت پیشنهاد می‌گردد از هر دو گونه در مناطق صنعتی و آلوده در راستای کاهش آلودگی و جلوگیری از ورود فلزات سنگین به محصولات کشاورزی کشت شده در نزدیک مناطق

References

1. Mossazadeh M. Investigation of lead concentration in soils of some Ahwaz regions and relation of soil and plant lead levels in studied areas [dissertation]. Khuzestan: Islamic Azad University, Khuzestan Science Research Branch; 2003. [Persian]
2. Ghosh M, Singh SP. A review on Phytoremediation of heavy metals and utilization of its by-products. *Applied Ecology and Environmental Research* 2005;3(1):1-18.
3. Mohammadi Rouzbahani M, Abedi koupaie J. Application of hyper-accumulator plants for remediation of soils that polluted with Ni. *Journal of Environmental Sciences and Technology*. 2009; 11(4): 449-57. [Persian]
4. Adriano DC. Trace elements in the terrestrial environment. New York: Springer-Verlag; 1986.
5. Boularbah A, Schwartz Ch, Bitton G, Abouddar W, Ouhammou A, Morel JA. Heavy metal contamination from mining sites in south Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. *Chemosphere* 2005;63(5):811-7.
6. Rashid Yasemi H. [Poisoning]. Tehran: Tehran University Press; 1966. [Persian]
7. Mortazavi S, Hatami M. Assessment of ecological hazard of heavy metals (Cr, Zn, Cu, Pb) in surface sediments of the Bashar river, Yasouj, Iran. *Arch Hyg Sci* 2018;7(1):47-60.
8. Bayat F. The study of heavy metal accumulation in the leaves of dominant tree and shrub species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Conocarpus erectus*) in the vicinity of Khuzestan Steel Complex. MSc thesis, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, 1990. [Persian]
9. Esmaili sari A. Pollution health and environmental standards. Tehran: Naghshe mehr Press; 2002. [Persian]
10. Jalili F, Hosseini N. Investigating the effects of chromium on plant physiology and the environment. Fourth Environmental Engineering Conference. 2010. [Persian]
11. Pourmokhtari F. The study of heavy metal accumulation in the leaves of dominant tree and shrub species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Conocarpus erectus*) in the vicinity of Khuzestan steel complex [dissertation]. Ahvaz: Islamic Azad University of Ahvaz; 2015. [Persian]
12. Binanda A. Investigation of heavy metal accumulation in leaf of tree species dominant in Dezful [dissertation]. Khuzestan: Khuzestan University of Science and Research Branch; 2013. [Persian]

13. Ali zadeh P. A study of heavy metals (Cd, Ni, Fe, Co, Zn) accumulation in the dominant vegetation around the Khuzestan Steel Company [dissertation]. Khuzestan: Khuzestan University of Science and Research Branch; 2012. [Persian]
14. Saba G, Parizanganeh AH, Zamani A, Saba J. Phytoremediation of heavy metals in contaminated environments: Screening for native accumulator plants in Zanjan-Iran. Int. J. Environ. Res. 2015;9(1):309-16.
15. Khan S, Cao Q, Chen BD, Zhu YG. Humic acids increase the phytoavailability of Cd and Pb to wheat plants cultivated in freshly spiked, contaminated soil. J Soils Sediment 2006;6(4):236-42.
16. U.S. EPA (1990), International Waste Technologies /Geo-Con In situ Stabilization/ Solidification, EPA/540/A5-89/004, U.S. Environmental Protection Agency, Office Of Research and Development, Cincinnati, OH.
17. Jacson. M.L. Soil Chemical Analysis. New Jersey: Prentice-Hall, Inc; 1958.
18. Zacchini M, Pietrini F, Mugnozza GS, Lori V, Pietrosanti L, Massacci A. Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. Water Air Soil Pollut 2009;197:23-34.
19. Gholami A, Davami AH, Panahpour A and Amini H. Evaluation of "*Conocarpus erectus*" Plant as Biomonitoring of Soil and Air Pollution in Ahwaz Region. Middle-East J. Sci. Res. 2013;13(10):1319-24. [Persian]
20. Sardabi H, Saleha Shoshtari MH, Banj Shafiei SH, Ashraf Jafari A, Toghraie N, Shariat A, *et al.* Investigation on potential of few eucalypt species for absorbing pollutants and reserv-ing them in their leaves. Iranian Journal of Forest and Poplar Research 2013;21(2):357-72. [Persian]
21. Shariat A, Assara MH, Qamari Zare A. Effects of cadmium on some physiological characteristics of eucalyptus occidentalis. JWSS 2009;14(53):145-54. [Persian]