



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

امکان‌سنجی استفاده از بومادران (*Achillea wilhelmsii*) و ازمک (*Cardaria draba*) برای پایش و پالایش زیستی فلزات سنگین روی، سرب و نیکل در محیط کنار جاده‌ای

نیره سادات حسینی^۱، سهیل سبحان اردکانی^{۱*}، مهرداد چراغی^۱، بهاره لورستانی^۱، هاجر مریخ‌پور^۲

۱- گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

۲- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

اطلاعات مقاله: چکیده

زمینه و هدف: پایش و پالایش انتشارات حاصل از ترافیک راهکاری مناسب به منظور ایجاد زیست‌بوم امن برای زیست‌مندان است. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی قابلیت پایش و پالایش زیستی فلزات سنگین روی، سرب و نیکل توسط اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌های بومادران و ازمک مستقر در حاشیه جاده‌های برون شهری همدان در سال ۱۳۹۸ انجام یافت.

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۳
تاریخ ویرایش: ۹۹/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۸
تاریخ انتشار: ۹۹/۱۲/۲۷

روش بررسی: در این مطالعه توصیفی، پس از انتخاب ۳ ایستگاه نمونه‌برداری، در مجموع ۱۲۶ نمونه گیاهی و ۶۳ نمونه خاک برداشت شد. پس از آماده‌سازی و هضم اسیدی نمونه‌ها در آزمایشگاه، محتوی عناصر در آنها توسط روش طیف‌سنجی نوری پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES) خوانده شد. همچنین، ضریب تغلیظ‌زیستی (BCF)، تجمع‌زیستی (BAF)، فاکتور انتقال (TF) و شاخص انباشت فلزات (MAI) محاسبه شد. پردازش آماری نتایج نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام یافت.

واژگان کلیدی: ازمک، بومادران، پالایش زیستی، ترافیک، فلزات سنگین

یافته‌ها: میانگین مقادیر BCF و BAF در هر دو گونه بومادران و ازمک و برای همه عناصر بزرگ‌تر از ۱ بود. از طرفی بومادران دارای TF بزرگ‌تر از ۱ برای عنصر روی و ازمک دارای TF بزرگ‌تر از ۱ برای عناصر روی و سرب بود. بیشینه میانگین مقادیر MAI در شاخسار شسته نشده، شسته شده و ریشه نیز به ترتیب برابر با ۹۸/۴۸، ۶۴/۸۷ و ۷۲/۳۸ و مربوط به بومادران بود.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

s_sobhan@iauh.ac.ir

نتیجه‌گیری: با استناد به میانگین مقادیر محاسبه شده BCF، BAF و TF عناصر می‌توان ادعان داشت که گونه‌های بومادران و ازمک از قابلیت برداشت و تثبیت فلزات سنگین برخوردار بوده و استفاده از آنها برای پایش و پالایش فلزات سنگین از خاک و هوا در مناطق آلوده توصیه می‌شود.

مقدمه

از آغاز انقلاب صنعتی و بویژه در دهه‌های اخیر، فعالیت‌های بشر از قبیل رشد فزاینده فعالیت‌های صنعتی، معدنی، اقتصادی، کشاورزی، حمل و نقل، تولید و بهره‌برداری از انرژی و توسعه فناوری‌ها منجر به رهاسازی روزافزون آلاینده‌ها به محیط شده است (۱، ۲). آلاینده‌ها با ایجاد تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل دهنده محیط یعنی هوا، خاک و آب، عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آنها را مختل ساخته و بطور مستقیم یا غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده و سلامت بوم‌سازگان را به مخاطره می‌اندازند (۳، ۴). در بین آلاینده‌های شیمیایی معدنی، فلزات سنگین بدلیل سمیت، پایداری زیاد، قابلیت تجمع و بزرگ‌نمایی زیستی در زنجیر غذایی و برخورداری از نیم‌عمر بالا در زمره مهم‌ترین آلاینده‌ها و به‌عنوان یک معضل محیط‌زیستی و بهداشتی در سراسر جهان محسوب می‌شوند (۵، ۶).

روی از جمله ریزمغذی‌های ضروری برای بقای انسان و تشکیل‌دهنده بیش از ۳۰۰ آنزیم است که ترکیبات آن کاربرد گسترده‌ای در صنایع گوناگون دارند (۷). استخراج معادن، پردازش فولاد و احتراق سبب انتشار فزاینده این عنصر در محیط می‌شود (۸). سرب، به‌طور عمده از منابع انسان‌زاد و بواسطه کاربردهای گسترده و متنوع در فعالیت‌های صنعتی، نظامی و حمل و نقل در محیط انتشار می‌یابد. این عنصر هیچ‌گونه نقش زیستی مشخص و مفیدی در بدن جانداران نداشته و از توان ایجاد مسمومیت برای موجودات زنده برخوردار است (۴، ۹، ۱۰). نیکل از جمله فلزات پرکاربرد در صنعت و به لحاظ فراوانی بیست و دومین عنصر پوسته زمین است. این فلز سنگین به‌طور گسترده در محیط‌زیست پراکنده و غلظت آن تابعی از استخراج آن از معادن، احتراق سوخت‌های فسیلی و سوختن مواد زاید است. وجود مقدار اندک نیکل در رژیم غذایی برای بدن ضروری است، اما در غلظت‌های زیاد اثرات زیان‌باری به‌همراه خواهد داشت (۱۱).

امروزه افزایش نیاز جوامع به جابه‌جایی و استفاده از وسایل نقلیه (به سبب افزایش توسعه در بخش‌های مختلف)، منجر به تشدید انتشار آلاینده‌ها و تهدیدات محیط‌زیستی شده است (۱۲، ۱۳). در این میان، حمل و نقل جاده‌ای به‌عنوان یکی از ارکان اساسی توسعه اقتصادی و اجتماعی هر کشور علاوه بر نقش مؤثر در جابه‌جایی مسافر و کالا، عامل مهمی در افزایش انتشار آلاینده‌های فلزی است (۱۴). ورود فلزات سنگین منتشر شده از منابع آگزوزی (احتراق سوخت) یا غیر آگزوزی (ذرات حاصل از فرسایش سطح جاده، ذرات ناشی از استهلاک بدنه خودرو، اجزای موتور، لنت ترمز، کلاچ، نشت روغن موتور، خوردگی باتری) به محیط حاشیه جاده می‌تواند اثرات نامطلوبی باقی‌گذارده و از طرق مختلف نظیر گردوغبار، فرونشست خشک و مرطوب اتمسفری، فرایندهای گازی و جذب سطحی ذرات معلق به گیاهان، خاک و آب منتقل شده و پس از آلودگی منابع آب و خاک و ورود به ساختار گیاه به‌طور غیرمستقیم از طریق زنجیر غذایی و یا مستقیم از طریق استنشاق، بلع و تماس پوستی، تهدیدی برای سلامت انسان باشند (۱۵، ۱۶). از این‌رو، پایش و پالایش زیستی این گروه از آلاینده‌ها با استفاده از گیاهان بدلیل حضور ثابت در یک منطقه و غیرمتحرک بودن، به‌عنوان راهکاری مؤثر و اقتصادی به منظور مدیریت و ایجاد محیط‌زیست امن برای زیست‌مندان در حال گسترش است (۱۴). در این خصوص، گونه‌های علفی بویژه گونه‌های بومی به‌سبب سازگاری زیاد با تنش‌های محیطی، رشد سریع و زیست‌توده زیاد نسبت به گیاهان چوبی (درختی و بوته‌ای) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (۱۷، ۱۸). در این میان، گونه‌هایی نظیر بومادران از خانواده کاسنی (Asteraceae) و از مک از خانواده شب‌بوئیان (Brassicaceae) به‌عنوان پوشش رایج در کنار جاده‌ها و پراکنش گسترده در اکثر زیست‌بوم‌های طبیعی و دستکاری شده ابزارهای زیستی مناسبی در پایش و پالایش آلاینده‌های فلزی محسوب می‌شوند (۱۹). تاکنون در رابطه با پایش و پالایش زیستی

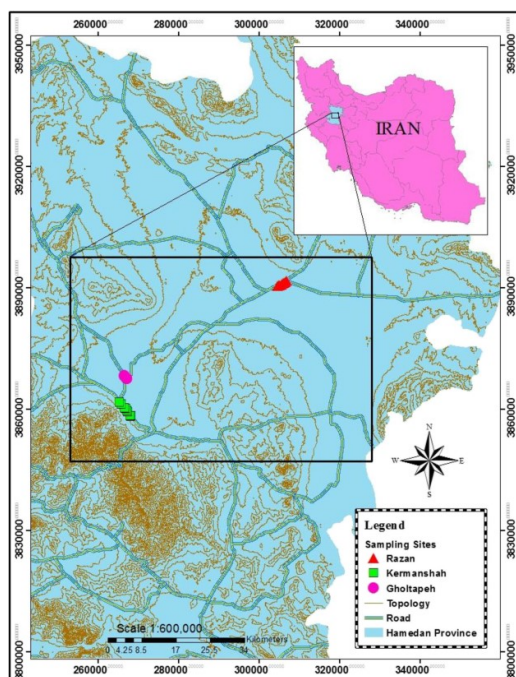
بهداشتی فلزات سنگین و ضرورت پایش و پالایش آنها در محیط و نظر به توسعه فزاینده شبکه حمل و نقل جاده‌ای و افزایش حجم ترافیک در کلان‌شهر همدان به‌عنوان نقطه تاکیدی‌گاهی ثقل ارتباطات جاده‌ای غرب کشور، این پژوهش با هدف امکان‌سنجی استفاده از بومادران و از مک به منظور پایش و پالایش زیستی عناصر روی، سرب و نیکل در محیط کنار جاده‌ای انجام یافت.

مواد و روش‌ها

– معرفی منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، نمونه‌برداری از جاده‌های همدان-کرمانشاه، همدان-رزن و همدان-گل‌تپه به‌ترتیب با میانگین حجم ترافیک ۱۴۷۹۹، ۷۱۲۱ و ۲۴۱۷ وسیله نقلیه در روز که از قدیمی‌ترین قطعات شبکه ارتباطات جاده‌ای استان‌های غربی با مناطق شمالی و مرکزی کشور محسوب می‌شوند، انجام شد (شکل ۱). مناطق مورد مطالعه دارای آب و هوای سرد نیم خشک، میانگین بارندگی سالانه ۳۳۰ mm و دمای متوسط سالانه ۱۱°C هستند (۲۳).

فلزات سنگین توسط گیاهان مطالعات مختلفی انجام یافته است. Shomali و همکار (۲۰۱۲) با بررسی آلودگی خاک‌ها و گیاهان پیرامون بزرگراه ارومیه-سلماس به برخی فلزهای سنگین نتیجه گرفتند که محتوی عناصر روی، نیکل و بویژه سرب در خاک سطحی و گیاهان رشد یافته در پیرامون این جاده از غلظت زمینه بیشتر بود (۲۰). Khalid و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی غلظت سرب در خاک و برخی از گونه‌های گیاهی وحشی در حاشیه دو جاده پرترافیک در پاکستان، گیاه استبرق (*Calotropis procera*) را به‌عنوان گونه مناسب برای پایش و پالایش گیاهی مناطق آلوده به سرب معرفی کردند (۲۱). Abbaszadeh و همکاران (۲۰۱۹) نسبت به امکان‌سنجی استفاده از برگ درختان کنار و کهور به‌عنوان زیست شناساگر آلودگی فلزات سنگین منتشر شده از مناطق صنعتی اقدام کرده و نتیجه گرفتند که از گونه‌های کنار و کهور می‌توان به‌عنوان گونه بیش‌اندوز در برداشت و استخراج گیاهی عنصر سرب بهره برد (۲۲). بنابراین، با توجه به نگرانی‌ها و مخاطرات محیط‌زیستی و



شکل ۱- موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از خاک و گیاه

در این مطالعه توصیفی با در نظر گرفتن محدودیت‌های زمانی و مالی، ۳ ایستگاه نمونه‌برداری با مشخصات مشابه در امتداد جاده‌های مورد بررسی و ۲ گونه علفی شامل بومادران و از مک به سبب فراوانی (گونه غالب) و پراکنش گسترده در منطقه مطالعاتی انتخاب شد. به منظور ایجاد شرایط یکنواخت و کاهش عوامل مداخله‌گر احتمالی، در همه ایستگاه‌ها، نمونه‌برداری (خاک و گیاه) در روز آفتابی و پس از ۱۳ روز بارندگی از هر دو طرف حاشیه جاده (۲-۰ m) از لبه جاده) با سه تکرار انجام شد. بدین صورت که، نمونه‌های گیاهی و خاک در طول ۷۰۰ m از یک قطعه ۹ km هر جاده با ویژگی‌های مشابه (مانند میانگین سرعت وسیله نقلیه و پوشش جاده)، و در فواصل ۱۰۰ m از یکدیگر برداشت شد. با هدف تهیه نمونه همگن از ریشه و شاخسار در هر جاده، از هر گونه ۲۰ پایه (با شرایط مشابه رویشی و سلامتی) از هر فاصله برداشت و به تفکیک گونه با یکدیگر مخلوط و به پاکت‌های کاغذی با برچسب معین منتقل شدند (۱۹، ۲۴). نمونه‌های خاک سطحی (عمق ۱۵-۰ cm) نیز توسط بیلچه باغبانی برداشت و برای تهیه یک نمونه همگن، نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده هر منطقه با یکدیگر مخلوط و به کیسه‌های پلی‌اتیلنی زیپ‌دار منتقل شدند (۲۵). تعداد کل نمونه‌های گیاهی و خاک جمع‌آوری شده به ترتیب برابر با ۱۲۶ و ۶۳ نمونه بود.

آماده‌سازی و تعیین محتوی عناصر در نمونه‌های گیاهی و خاک

در آزمایشگاه پس از جدا کردن اندام‌های هوایی (شاخسار) و زیرزمینی (ریشه) نمونه‌های گیاهان علفی، شاخسارها به دو گروه تقسیم شدند. نمونه‌های ریشه و یک گروه از شاخسارها به منظور زودن و حذف آلاینده‌های سطحی، ابتدا با آب شرب و سپس با آب دوبار تقطیر شسته شدند. در گروه دیگر نیز شاخسارها شسته نشدند. نمونه‌های گیاهی تا زمان خشک شدن کامل (۴۸ h) در آن با دمای ۶۰ °C قرار گرفت. در نهایت، پس از پودر کردن

نمونه‌های خشک گیاهی توسط آسیاب برقی و انتقال آنها به کیسه‌های پلی‌اتیلنی، نمونه‌ها در دمای ۴ °C نگهداری شدند (۲۶). نمونه‌های خاک نیز در آزمایشگاه هوا خشک شده و به منظور حذف ذرات بزرگ و بقایای آلی از الک ۲ mm عبور داده شدند (۲۷).

به منظور عصاره‌گیری از نمونه‌های گیاهی، ۱ g از هر نمونه گیاهی پودر شده (شاخسار و ریشه) را به‌طور مجزا به بشر ۱۵۰ mL منتقل کرده و پس از افزودن ۵ mL اسید نیتریک غلیظ به هر بشر، محلول حاصل روی هیتر قرار داده شد. پس از افزایش دما تا ۹۵ °C، به مدت ۱۰ min عمل بازروانی یا رفلاکس انجام شد. نمونه‌ها پس از تغییر رنگ از روی هیتر برداشته شده و سرد شدند. سپس، در دو مرحله متوالی هر بار ۵ mL اسید نیتریک غلیظ را به نمونه‌ها افزوده و محلول حاصل به مدت ۳۰ min مجدداً رفلاکس و روی هیتر با دمای ۹۵ °C حرارت داده شد. پس از آن، ۲ mL آب مقطر و ۳ mL پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد به محلول افزوده و سپس به مدت ۲ تا ۵ min روی هیتر با دمای ۷۵ °C حرارت داده شد. در مرحله بعد، نمونه‌ها را از روی هیتر برداشته و پس از خنک شدن به هر یک از آنها ۱۰ mL اسید کلریدریک غلیظ اضافه شد و بعد از ۱۵ min رفلاکس، عصاره حاصل با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و با آب دوبار تقطیر به حجم ۱۰۰ mL رسانده شد (۲۱).

از طرفی، به منظور تعیین غلظت قابل جذب فلزات سنگین (بخش قابل دسترس فلزات) در نمونه‌های خاک، از عصاره‌گیر DTPA (دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید) ۰/۰۰۵ mol/L و کلرور کلسیم (CaCl₂, 2H₂O) ۰/۱ mol/L و تری اتانول آمین (TEA) ۰/۱ mol/L استفاده شد و pH محلول عصاره‌گیر با استفاده از اسید کلریدریک ۱ N در حدود ۷/۳ ± ۰/۵ تنظیم شد. سپس ۱۰ g از هر نمونه خاک را به‌طور مجزا به ارلن ۱۵۰ mL منتقل کرده و پس از افزودن ۲۰ mL از محلول استخراج DTPA به هر ارلن، درب آنها بسته و به مدت ۲ h با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه، روی همزن مکانیکی دورانی

در معادله ۱:

BCF بیانگر فاکتور تغلیظ‌زیستی؛ C_{root} و C_{soil} نیز به ترتیب نشان‌دهنده محتوی فلز در بافت زمینی گیاه (ریشه) و خاک بر حسب mg/kg است (۳۰، ۳۱).

$$\text{BAF} = C_{\text{aerial tissues}} / C_{\text{soil}} \quad (2)$$

در معادله ۲:

BAF بیانگر فاکتور تجمع‌زیستی؛ $C_{\text{aerial tissues}}$ و C_{soil} نیز به ترتیب نشان‌دهنده محتوی فلز در بافت هوایی گیاه (شاخسار) و خاک بر حسب mg/kg است (۳۲، ۳۳).

$$\text{TF} = C_{\text{aerial tissues}} / C_{\text{Root}} \quad (3)$$

در معادله ۳:

TF بیانگر فاکتور انتقال؛ $C_{\text{aerial tissues}}$ و C_{Root} نیز به ترتیب نشان‌دهنده محتوی فلز در بافت هوایی (شاخسار) و ریشه گیاه بر حسب mg/kg است (۶، ۳۴).

$$\text{MAI} = (1/N) \sum_{j=1}^N I_j ; I_j = X/\delta x \quad (4)$$

در معادله ۴:

MAI بیانگر شاخص انباشت فلز؛ N و I_j نیز به ترتیب نشان‌دهنده تعداد کل فلزات مورد مطالعه و زیر شاخص (Sub-index) متغیر I_j است که از نسبت بین میانگین غلظت هر یک از فلزات در بافت مورد نظر اعم از برگ، پوست و یا ریشه بر حسب mg/kg (X) به انحراف معیار (δx) هر یک از فلزات محاسبه می‌شود (۳۳، ۳۵).

– پردازش آماری داده‌ها

پردازش آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS19 انجام یافت. بدین صورت که، فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smornov) و فرض برابری واریانس‌ها

قرار داده شد. در مرحله بعد، عصاره حاصل با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شد (۲۸، ۲۹).

در نهایت پس از ساخت محلول مادر (استوک) و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه نشر اتمی Varian مدل ES-۷۱۰، محتوی عناصر روی، سرب و نیکل در نمونه‌های مورد مطالعه اعم از گیاه و خاک در سه تکرار خوانده شد. برای تایید صحت روش کار و اطمینان از روش آماده‌سازی نمونه‌ها (گیاه و خاک)، از روش افزودن استاندارد و درصد بازیابی استفاده شد. بدین منظور، نمونه‌های شاهد (بدون خاک و گیاه)، نمونه‌های افزوده شده (به دلیل عدم وجود مواد مرجع استاندارد مشخص برای نمونه‌های خاک و گیاهان) و نمونه‌های بدل (برای ۱۵ درصد نمونه‌ها) به‌طور همزمان برای تضمین کیفیت و کنترل کیفیت اندازه‌گیری شدند (۲۵). نتایج حاصل از درصد بازیابی فلزات سنگین (بین ۱۰۱-۹۴ درصد برای نمونه‌های خاک و بین ۱۰۶-۹۵ درصد برای نمونه‌های گیاهی) نشان داد که روش مورد استفاده برای تعیین فلزات سنگین مورد مطالعه از اطمینان کافی و دقت خوب برخوردار بوده است. همچنین، مقادیر حد تشخیص برای عناصر روی، سرب و نیکل به ترتیب برابر با ۰/۰۷۶، ۰/۰۱۷ و ۰/۰۹۳ mg/kg بود. مقادیر محدودیت کمی عناصر روی، سرب و نیکل نیز به ترتیب برابر ۰/۲۲۶، ۰/۰۵۱ و ۰/۲۷۹ mg/kg بود. همچنین، انحراف استاندارد ۵ درصد مشاهده شد.

– محاسبه فاکتور تغلیظ‌زیستی (BCF)، فاکتور تجمع زیستی (BAF)، فاکتور انتقال (TF) و شاخص جامع انباشت فلزات (MAI)

به منظور ارزیابی قابلیت گیاهان مورد بررسی در پایش و پالایش فلزات سنگین، شاخص‌های BCF، BAF، TF و MAI به ترتیب با استفاده از معادلات ۱ تا ۴ محاسبه شدند:

$$\text{BCF} = C_{\text{root}} / C_{\text{soil}} \quad (1)$$

نیز توسط آزمون لون (Levene's Test) بررسی شدند. به منظور مقایسه میانگین محتوی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گیاه و خاک بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آزمون تحلیل واریانس بین آزمودنی یک‌طرفه (-One way ANOVA) و آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan Multiple Range Test) در سطح معنی‌داری ۵ درصد و برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار آماری میانگین غلظت عناصر بین شاخسارهای شسته نشده و شسته شده گونه‌ها از آزمون تی مستقل (-Independent Samples T-Test) استفاده شد.

یافته‌ها

- نتایج سنجش محتوی عناصر در نمونه‌های گیاهی و خاک

نتایج سنجش محتوی عناصر روی، سرب و نیکل در نمونه بافت‌های علفی (شاخسار شسته نشده، شسته شده و ریشه) و خاک در جداول ۱ تا ۳ ارائه شده است. نتایج مندرج در جدول ۱ بیانگر آن است که غلظت عنصر روی در اندام‌های گیاهی و خاک به ترتیب در دامنه ۸۱/۹۷-۲۱/۷۹ mg/kg و ۳/۵۳-۱۴/۴۵ mg/kg بود. از سوی دیگر، بیشینه میانگین محتوی عنصر روی در نمونه‌های شاخسار با mg/kg

جدول ۱- محتوی عنصر روی در نمونه‌های گیاهی و خاک (mg/kg) به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری

ایستگاه	میانگین غلظت روی در اندام‌های گیاهی					
	شاخسار شسته نشده		شاخسار شسته شده		ریشه	
	بومادران	ازمک	بومادران	ازمک	بومادران	ازمک
گلته	۳۳/۰±۸۵/۱۰ ^a	۲۲/۰±۶۹/۲۴ ^a	۳۰/۰±۲۷/۱۵ ^a	۲۱/۰±۷۹/۰۹ ^a	۲۳/۰±۵۰/۲۳ ^a	۲۷/۰±۲۱/۰۹ ^a
کرمانشاه	۴۹/۰±۷۱/۱۲ ^b	۴۸/۰±۹۲/۷۳ ^c	۴۷/۰±۰۳/۲۵ ^b	۴۶/۰±۸۳/۴۴ ^c	۵۲/۰±۳۹/۱۴ ^c	۳۷/۰±۰۹/۲۹ ^c
رزن	۸۱/۲±۹۷/۰۲ ^c	۳۲/۰±۴۶/۱۳ ^b	۵۷/۰±۰۸/۴۶ ^c	۲۵/۰±۲۵/۲۹ ^b	۳۵/۰±۶۵/۳۳ ^b	۲۷/۰±۹۱/۲۸ ^b
میانگین کل	۵۵/۰±۱۸/۷۵	۳۴/۰±۶۹/۳۶	۴۴/۰±۷۹/۲۹	۳۱/۰±۲۹/۲۷	۳۷/۰±۱۸/۲۳	۳۰/۰±۷۴/۲۲

حروف غیر مشترک (a, b, c, ...) در هر ستون، بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) میانگین محتوی عنصر روی در نمونه‌های گیاهی و خاک براساس نتایج آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن است.

جدول ۲- محتوی عنصر سرب در نمونه‌های گیاهی و خاک (mg/kg) به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری

ایستگاه	میانگین غلظت سرب در اندام‌های گیاهی					
	شاخسار شسته نشده		شاخسار شسته شده		ریشه	
	بومادران	ازمک	بومادران	ازمک	بومادران	ازمک
گلته	۲/۰±۵۹/۶۳ ^a	۲/۰±۶۴/۴۶ ^a	۱/۰±۵۷/۴۴ ^a	۲/۰±۴۲/۷۰ ^{ab}	۲/۰±۷۴/۶۹ ^a	۲/۰±۰۵/۲۹ ^a
کرمانشاه	۲/۰±۷۲/۴۷ ^a	۳/۰±۰۶/۳۳ ^a	۱/۰±۷۹/۳۷ ^a	۲/۰±۳۶/۲۲ ^{ab}	۲/۰±۵۳/۵۳ ^a	۲/۰±۴۲/۵۲ ^a
رزن	۳/۲±۰۶/۲۶ ^a	۵/۰±۱۰/۱۹ ^b	۲/۰±۲۸/۸۶ ^a	۲/۰±۹۶/۱۶ ^b	۲/۰±۶۸/۶۵ ^a	۲/۰±۷۱/۱۵ ^a
میانگین کل	۲/۰±۷۹/۴۵	۳/۰±۰۶/۳۲	۱/۰±۹۱/۵۶	۲/۰±۵۸/۳۶	۲/۰±۶۵/۶۲	۲/۰±۳۹/۳۲

حروف غیر مشترک (a, b, c, ...) در هر ستون، بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) میانگین محتوی عنصر سرب در نمونه‌های گیاهی و خاک براساس نتایج آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن است.

یافته بود. همچنین بیشینه میانگین محتوی عنصر نیکل در نمونه‌های گیاهی و خاک به ترتیب با $2/32 \text{ mg/kg}$ و $0/48 \text{ mg/kg}$ مربوط به نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه رزن بود.

- نتایج پردازش آماری داده‌ها

نتایج آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که همه داده‌های مربوط به محتوی عناصر در نمونه‌های گیاهی و خاک از توزیع نرمال برخوردار بودند ($p > 0/05$). نتایج آزمون آماری تی مستقل بیانگر آن بود که بین شاخسارهای شسته نشده و شسته شده گونه‌های بومادران و ازمک از نظر میانگین غلظت تجمع یافته عنصر روی اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت ($p > 0/05$), این در حالی بود که در رابطه با میانگین غلظت عناصر سرب و نیکل اختلاف معنی‌دار آماری بین شاخسارهای شسته نشده و شسته شده دو گونه بومادران و ازمک مشاهده شد ($p < 0/05$).

- نتایج محاسبه شاخص‌های BCF، BAF و TF

نتایج محاسبه شاخص‌های BCF، BAF و TF عناصر روی، سرب و نیکل در نمونه‌های شاخسار شسته شده و ریشه گونه‌های علفی بومادران و ازمک در نمودار ۱ ارائه شده است.

$55/18$ و $34/69 \text{ mg/kg}$ به ترتیب به شاخسار شسته نشده گونه‌های بومادران و ازمک مربوط بود. همچنین بیشینه میانگین محتوی عنصر روی در نمونه‌های گیاهی و خاک به ترتیب با $46/96 \text{ mg/kg}$ و $14/45 \text{ mg/kg}$ مربوط به نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های کرمانشاه و رزن بود.

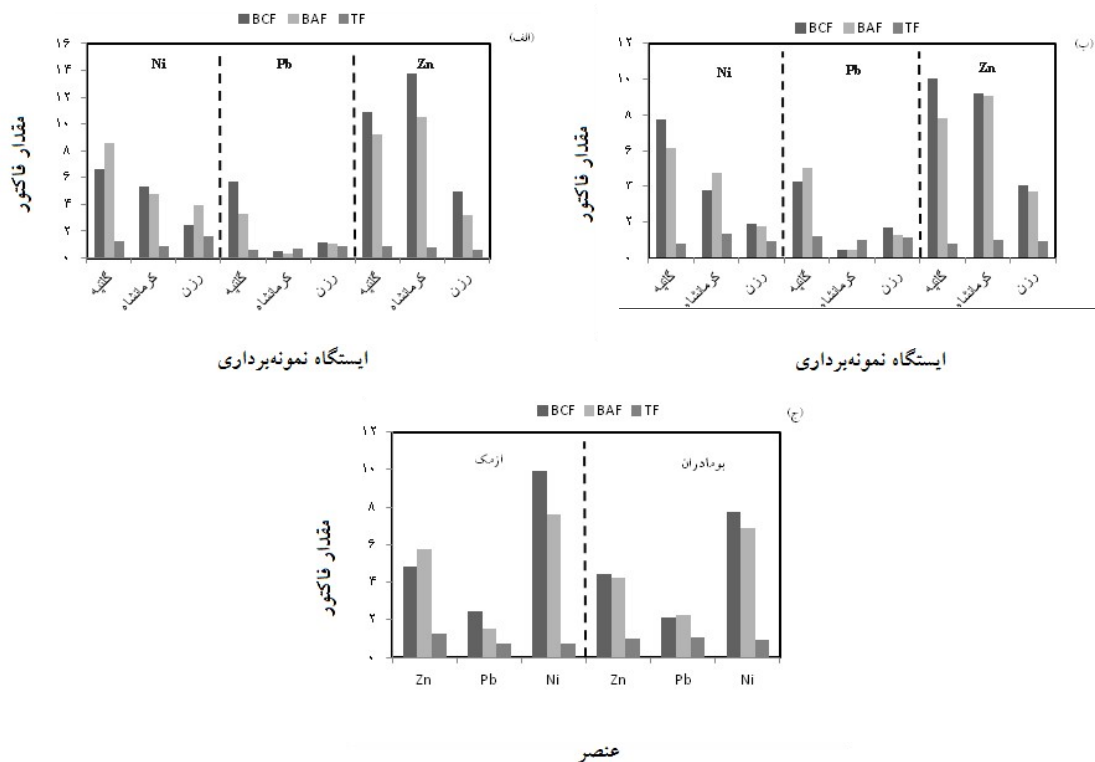
نتایج مندرج در جدول ۲ بیانگر آن است که غلظت عنصر سرب در اندام‌های گیاهی و خاک به ترتیب در دامنه $1/57-5/10 \text{ mg/kg}$ و $0/48-4/93 \text{ mg/kg}$ بود. از سوی دیگر، بیشینه میانگین محتوی عنصر سرب برابر با $2/79 \text{ mg/kg}$ و $3/60 \text{ mg/kg}$ به ترتیب به شاخسار شسته نشده گونه‌های بومادران و ازمک تعلق داشت. از طرفی بیشینه میانگین محتوی عنصر سرب در نمونه‌های گیاهی و خاک به ترتیب با $3/15 \text{ mg/kg}$ و $4/93 \text{ mg/kg}$ مربوط به نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه رزن و کرمانشاه بود.

نتایج مندرج در جدول ۳ بیانگر آن است که غلظت عنصر نیکل در اندام‌های گیاهی و خاک به ترتیب در دامنه $1/45-3/44 \text{ mg/kg}$ و $0/16-0/48 \text{ mg/kg}$ بود. از سوی دیگر بیشینه میانگین محتوی عنصر نیکل در نمونه‌های شاخسار برابر با $2/70 \text{ mg/kg}$ و $2/40 \text{ mg/kg}$ به ترتیب در شاخسار شسته نشده گونه‌های بومادران و ازمک تجمع

جدول ۳- محتوی عنصر نیکل در نمونه‌های گیاهی و خاک (mg/kg) به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری

ایستگاه	میانگین غلظت نیکل در اندام‌های گیاهی					
	شاخسار شسته نشده		شاخسار شسته شده		ریشه	
	بومادران	ازمک	بومادران	ازمک	بومادران	ازمک
گلپه	$2/0 \pm 48/09^b$	$1/0 \pm 95/13^a$	$1/0 \pm 84/08^b$	$1/0 \pm 45/03^a$	$2/0 \pm 18/12^a$	$2/0 \pm 10/15^b$
کرمانشاه	$2/0 \pm 19/18^a$	$2/0 \pm 41/06^b$	$1/0 \pm 68/09^b$	$1/0 \pm 56/03^a$	$2/0 \pm 21/21^a$	$1/0 \pm 47/07^a$
رزن	$3/0 \pm 44/11^c$	$2/0 \pm 83/14^c$	$1/0 \pm 54/11^a$	$1/0 \pm 79/09^b$	$2/0 \pm 38/19^a$	$1/0 \pm 92/07^b$
میانگین کل	$2/0 \pm 70/13$	$2/0 \pm 40/11$	$1/0 \pm 68/09$	$1/0 \pm 60/05$	$2/0 \pm 26/14$	$1/0 \pm 80/10$

حروف غیر مشترک (a, b, c و ...) در هر ستون، بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0/05$) میانگین محتوی عنصر نیکل در نمونه‌های گیاهی و خاک براساس نتایج آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن است.



نمودار ۱- (الف) و (ب) به ترتیب مقادیر BCF, BAF, TF عناصر روی، سرب و نیکل در نمونه بافت‌های گیاهی بومادران و ازمک به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری و (ج) میانگین مقادیر BCF, BAF, TF عناصر روی، سرب و نیکل در نمونه بافت‌های گیاهی بومادران و ازمک

نتایج محاسبه شاخص MAI -

نتایج محاسبه MAI در نمونه بافت‌های علفی (شاخسار شسته نشده، شسته شده و ریشه) در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج مندرج در جدول ۴ بیانگر آن است که مقادیر MAI در نمونه شاخسار شسته نشده، شسته شده و ریشه گونه بومادران به ترتیب در دامنه ۲۷-۱۴۴/۰۷، ۲۷/۱۲-۷۷/۱۲-۴۶/۹۵ و ۴۱/۴۴-۱۳۲/۴۷ بود. همچنین مقادیر MAI در نمونه شاخسار شسته نشده، شسته شده و ریشه گونه ازمک به ترتیب در دامنه ۳۸/۸۴-۹۸/۹۱، ۳۸/۸۲-۹۶/۰۲ و ۴۱/۸۲-۹۶/۰۲ و ۱۰۷/۰۶-۴۸/۳۹ بود. از سوی دیگر، بیشینه مقادیر میانگین MAI در نمونه شاخسار شسته نشده، شاخسار شسته شده و ریشه به ترتیب با ۹۸/۴۸، ۶۴/۸۷ و ۷۲/۳۸ به گونه بومادران مربوط بود.

با استناد به نتایج مندرج در نمودار ۱، مقادیر BCF، BAF و TF عناصر روی، سرب و نیکل شاخسارهای شسته شده و ریشه گونه بومادران به ترتیب در دامنه ۲/۴۷-۹/۵۹، ۵/۷۱-۳۶/۰۳ و ۱۳۶/۶۹-۳/۲۱ بود. از طرفی، میانگین مقادیر BCF و BAF همه عناصر شاخسارهای شسته شده و ریشه گونه بومادران بزرگ‌تر از ۱ بود. این در حالی است که از حیث میانگین مقادیر TF، فقط عنصر روی دارای ضریب انتقال بزرگ‌تر از ۱ بود. در رابطه با گونه ازمک نیز مقادیر BCF، BAF و TF عناصر روی، سرب و نیکل شاخسارهای شسته شده و ریشه به ترتیب در دامنه ۰/۸۱-۷/۷۱، ۵/۰۴-۴۸/۰۳ و ۱۰/۰۵-۰/۷۸ بود. از سوی دیگر، میانگین مقادیر BCF و BAF همه عناصر شاخسارهای شسته شده و ریشه گونه ازمک بزرگ‌تر از ۱ بود. همچنین، میانگین مقادیر TF روی و سرب بزرگ‌تر از ۱ بود.

جدول ۴- مقادیر شاخص انباشت فلزات در نمونه بافت‌های گیاهی به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری

ایستگاه	شاخص انباشت فلز					
	شاخصار شسته نشده		شاخصار شسته شده		ریشه	
	بومادران	ازمک	بومادران	ازمک	بومادران	ازمک
گل‌تپه	۱۲۳/۴۹	۳۸/۸۴	۷۷/۱۲	۹۶/۰۲	۴۱/۴۴	۱۰۷/۰۶
کرمانشاه	۱۴۴/۰۷	۳۹/۲۲	۷۰/۵۴	۵۶/۳۹	۱۳۲/۴۷	۵۱/۱۸
رزن	۲۷/۸۷	۹۸/۹۱	۴۶/۹۵	۴۱/۸۲	۴۳/۲۴	۴۸/۳۹
میانگین	۹۸/۴۸	۵۸/۹۹	۶۴/۸۷	۶۴/۷۱	۷۲/۳۸	۶۸/۸۸

بحث

روی، سرب و نیکل (به عنوان اجزای سازنده پوسته زمین) اگرچه به‌طور طبیعی در محیط وجود دارند، اما انتشار آنها از منابع انسان‌ساخت سبب توزیع فزاینده آن در محیط شده است (۳۶، ۳۷). در پژوهش حاضر نتایج سنجش میانگین محتوی عناصر نشان داد که بیشینه میانگین محتوی عناصر روی، سرب و نیکل در نمونه‌های گیاهی با $۴۶/۹۶ \text{ mg/kg}$ ، $۳/۱۵ \text{ mg/kg}$ و $۲/۳۲ \text{ mg/kg}$ مربوط به ایستگاه‌های کرمانشاه، رزن و در نمونه‌های خاک نیز با $۱۴/۴۵ \text{ mg/kg}$ ، $۴/۹۳ \text{ mg/kg}$ و $۰/۴۸ \text{ mg/kg}$ مربوط به ایستگاه‌های رزن، کرمانشاه و رزن بود. در این خصوص، بیشینه غلظت این عناصر در ایستگاه‌های کرمانشاه و رزن را می‌توان با حجم زیاد ترافیک و به تبع آن نرخ بالای احتراق سوخت‌های فسیلی و استهلاک قطعات خودروها بویژه استهلاک لنت ترمز و فرسایش تایر خودروها مرتبط دانست. در مطالعات مشابه و در تایید نتایج حاصل، Liang و همکاران (۲۰۱۷) و Yu و همکاران (۲۰۱۷) نیز در مطالعه زیست‌ردیابی آلودگی فلزات سنگین گزارش کردند که افزایش حجم ترافیک سبب افزایش محتوای عناصر روی، سرب و نیکل در خاک و گیاهان کنار جاده شده است (۳۵، ۳۸). از طرفی Bernardino و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای که با هدف منشایابی و ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین در خاک منطقه شهری استان جیانگ در چین انجام یافت،

نتیجه گرفتند که احتراق بنزین، سایش سطح جاده، خوردگی و استهلاک قطعات خودرو (مانند ترمز و لاستیک) و نشست روان‌کننده‌ها از منابع اصلی آلودگی روی، سرب و نیکل در محیط‌های کنار جاده است (۳۹).

اندام‌های مختلف گیاهان بومی، باغی، زراعی و زینتی را می‌توان به‌عنوان پایشگر زیستی برای مطالعه پراکندگی مکانی و تغییرات زمانی در میزان غلظت آلاینده‌های محیط از جمله فلزات سنگین بکار گرفت (۴۰). در این بین، اندام‌های هوایی به سبب برخورداری از سطح بیشتر در واحد وزن در مقایسه با سایر اندام‌های پوششی، مخزن مهمی برای آلاینده‌های فلزی محسوب و به‌طور وسیعی برای پایش زیستی آلاینده‌های فلزی اتمسفر استفاده می‌شوند (۱۲، ۴۱). در این راستا، نتایج سنجش میانگین تجمع عناصر نشان داد که بیشینه میانگین غلظت عناصر روی، سرب و نیکل با دامنه به ترتیب برابر با $۳۴/۶۹-۵۵/۱۸$ ، $۲/۷۹-۳/۶۰$ و $۰/۴۸-۲/۳۲$ مربوط به شاخصار شسته نشده گونه‌های علفی بود. در این خصوص، تفاوت در مقدار انباشت فلزات سنگین در شاخصارهای شسته نشده و شسته شده را می‌توان به فرونشست اتمسفری مرتبط دانست. در تایید نتایج این پژوهش، Calzoni (۲۰۰۷) و Wang (۲۰۱۳) در پایش زیستی آلاینده‌های فلزی بوسیله گیاهان گزارش کردند که فرونشست‌های اتمسفری منشأ اصلی تجمع سرب، روی و نیکل در برگ گیاهان مختلف بود (۴۲، ۴۳). Serbula و

همکاران (۲۰۱۲) و Pourkhabbaz و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پایش زیستی آلودگی محیط و هوا سپهر گزارش کردند که با شستشوی برگ‌ها ۵۰ درصد از محتوی فلزات کاسته شد (۴۴، ۴۵). همچنین Norouzi و همکاران (۲۰۱۵) و Abbaszadeh و همکاران (۲۰۱۹) نیز با بررسی درختان به‌عنوان نشانگر زیستی آلودگی فلزات سنگین عنوان کردند که بیشینه غلظت عناصر نمونه‌های برگ مربوط به برگ‌های شسته نشده بود (۲۲، ۲۶).

گیاهان به‌علت استفاده از آب، خاک و هوا، در تغییر شرایط بوم‌شناختی مشارکت مهمی دارند و می‌توان از آنها برای پاکسازی بوم‌سامانه‌های آلوده به انواع آلاینده‌ها نظیر فلزات سنگین استفاده کرد (۴۶). در این راستا، BAF، BCF و TF به‌عنوان مهمترین شاخص‌ها در فرایند گیاه‌پالایی (Phytoremediation)، توانایی گیاه در جذب و تجمع عناصر از خاک را نشان می‌دهد (۴۷). بر این اساس، گونه‌ای که دارای BCF بزرگ‌تر از ۱ و TF کوچک‌تر از ۱ است، برای تثبیت‌گیاهی (Phytostabilization) و گونه‌ای که دارای BAF و TF بزرگ‌تر از ۱ است، برای استخراج گیاهی (Phytoextraction) مناسب است (۴۸). نتایج محاسبه BCF و BAF نشان داد که گونه بومادران دارای BAF و TF بزرگ‌تر از ۱ برای عنصر روی و BCF بزرگ‌تر از ۱ و TF کوچک‌تر از ۱ برای عناصر سرب و نیکل بود. لذا، می‌توان نتیجه گرفت که بومادران، گونه‌ای مناسب برای برداشت فلز روی و تثبیت عناصر سرب و نیکل در خاک است. در مورد از مک مقادیر میانگین BAF و TF برای عنصر سرب بزرگ‌تر از ۱ بود. از سوی دیگر، گونه از مک دارای BCF بزرگ‌تر از ۱ و TF کوچک‌تر از ۱ برای عناصر روی و نیکل بود. از این‌رو، از مک گونه‌ای مناسب برای برداشت فلز سرب و تثبیت عناصر روی و نیکل در خاک است. در مطالعات مشابه و در تایید نتایج حاصل، Jeddi و همکار (۲۰۱۸) نیز با ارزیابی قابلیت گونه *Erodium glaucophyllum* L در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات عنوان کردند که با استناد به مقادیر محاسبه شده فاکتور انتقال، گونه

E. glaucophyllum از قابلیت استخراج گیاهی عناصر روی و سرب و نیکل در محیط پیرامون جاده‌ها و مناطق آلوده به فلز معرفی کردند (۴۹). اندام‌های گیاهی قادرند به‌طور هم‌زمان چندین فلز مختلف را در خود انباشته کنند. نتایج محاسبه MAI نشان داد که بیشینه میانگین مقادیر MAI در همه بافت‌های مورد مطالعه مربوط به گونه بومادران بود. در این خصوص، می‌توان نتیجه گرفت که این گونه از توانایی بهتری در جذب هم‌زمان عناصر روی، سرب و نیکل برخوردار است و از این‌رو، گونه‌ای مناسب برای پالایش محیط‌هایی با آلودگی هم‌زمان روی، سرب و نیکل است. در مطالعات مشابه و در تایید نتایج حاصل، Shomali و همکار (۲۰۱۲) با بررسی آلودگی خاک‌ها و گیاهان پیرامون بزرگراه ارومیه سلماس به برخی فلزهای سنگین نتیجه گرفتند که با استناد به مقادیر محاسبه شده MAI گونه علفی بومادران در مقایسه با دیگر گیاهان مورد مطالعه از توانایی بهتری در جذب هم‌زمان فلزهای مختلف برخوردار بوده است (۲۰).

در نهایت، با توجه به محدودیت‌های زمانی و کمبود منابع مالی در اجرای این پژوهش، نسبت به مطالعه سایر گونه‌های گیاهی رشد یافته در نواحی آلوده برای شناسایی و معرفی گونه‌های زیست‌شناساگر با قابلیت گیاه‌پالایی آلاینده‌ها و بویژه فلزات سنگین سمی توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش حجم ترافیک، در اغلب موارد محتوی عناصر روی، سرب و نیکل در نمونه‌های گیاهی و

همکاران (۲۰۱۲) و Pourkhabbaz و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پایش زیستی آلودگی محیط و هوا سپهر گزارش کردند که با شستشوی برگ‌ها ۵۰ درصد از محتوی فلزات کاسته شد (۴۴، ۴۵). همچنین Norouzi و همکاران (۲۰۱۵) و Abbaszadeh و همکاران (۲۰۱۹) نیز با بررسی درختان به‌عنوان نشانگر زیستی آلودگی فلزات سنگین عنوان کردند که بیشینه غلظت عناصر نمونه‌های برگ مربوط به برگ‌های شسته نشده بود (۲۲، ۲۶).

گیاهان به‌علت استفاده از آب، خاک و هوا، در تغییر شرایط بوم‌شناختی مشارکت مهمی دارند و می‌توان از آنها برای پاکسازی بوم‌سامانه‌های آلوده به انواع آلاینده‌ها نظیر فلزات سنگین استفاده کرد (۴۶). در این راستا، BAF، BCF و TF به‌عنوان مهمترین شاخص‌ها در فرایند گیاه‌پالایی (Phytoremediation)، توانایی گیاه در جذب و تجمع عناصر از خاک را نشان می‌دهد (۴۷). بر این اساس، گونه‌ای که دارای BCF بزرگ‌تر از ۱ و TF کوچک‌تر از ۱ است، برای تثبیت‌گیاهی (Phytostabilization) و گونه‌ای که دارای BAF و TF بزرگ‌تر از ۱ است، برای استخراج گیاهی (Phytoextraction) مناسب است (۴۸). نتایج محاسبه BCF و BAF نشان داد که گونه بومادران دارای BAF و TF بزرگ‌تر از ۱ برای عنصر روی و BCF بزرگ‌تر از ۱ و TF کوچک‌تر از ۱ برای عناصر سرب و نیکل بود. لذا، می‌توان نتیجه گرفت که بومادران، گونه‌ای مناسب برای برداشت فلز روی و تثبیت عناصر سرب و نیکل در خاک است. در مورد از مک مقادیر میانگین BAF و TF برای عنصر سرب بزرگ‌تر از ۱ بود. از سوی دیگر، گونه از مک دارای BCF بزرگ‌تر از ۱ و TF کوچک‌تر از ۱ برای عناصر روی و نیکل بود. از این‌رو، از مک گونه‌ای مناسب برای برداشت فلز سرب و تثبیت عناصر روی و نیکل در خاک است. در مطالعات مشابه و در تایید نتایج حاصل، Jeddi و همکار (۲۰۱۸) نیز با ارزیابی قابلیت گونه *Erodium glaucophyllum* L در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات عنوان کردند که با استناد به مقادیر محاسبه شده فاکتور انتقال، گونه

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان همه نکات اخلاقی از جمله عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل مستخرج از رساله دکتری تخصصی با عنوان "پایش زیستی و استخراج گیاهی فلزات سنگین در برخی گونه‌های گیاهی مستقر در بیوتوپ شهری و حاشیه شهری همدان" مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان با کد ۱۷۱۳۰۶۰۷۹۸۱۰۰۲ است.

References

1. Ceretti S, Zani C, Zerbini I, Viola G, Moretti M, Villarini M, et al. Monitoring of volatile and non-volatile urban air genotoxins using bacteria, human cells and plants. *Chemosphere*. 2015;1120:221-29.
2. Pan L, Wang Y, Ma J, Hu Y, Su B, Fang G, et al. A review of heavy metal pollution levels and health risk assessment of urban soils in Chinese cities. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(2):1055-69.
3. Estabragh A, Beytollahpour I, Moradi M, Javadi A. Consolidation behavior of two fine-grained soils contaminated by glycerol and ethanol. *Engineering Geology*. 2014;178:102-108.
4. Jandacka D, Durcanska D, Bujdos M. The contribution of road traffic to particulate matter and metals in air pollution in the vicinity of an urban road. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2017;50:397-408.
5. Mohamadi M, Ghasemi R, Naeimi M. distribution pattern of heavy metals in roadside topsoils around the Rasht-Qazvin freeway. *Journal of Health*. 2018;9(3):249-58 (in Persian).
6. Devi U, Taki K, Shukla T, Sarma KP, Hoque RR, Kumar M. Microzonation, ecological risk and attributes of metals in highway road dust traversing through the Kaziranga National Park, Northeast India: implication for confining metal pollution in the

خاک به‌طور معنی‌داری روند افزایش داشته است که نتایج آزمون دانکن نیز مؤید این موضوع بود. از طرفی مقادیر محاسبه شده شاخص‌های BCF، BAF و TF بیانگر آن بود که بومادران، گونه‌ای مناسب برای برداشت فلز روی و تثبیت عناصر سرب و نیکل و از مک گونه‌ای مناسب برای برداشت فلز سرب و تثبیت عناصر روی و نیکل در خاک است. همچنین براساس مقادیر محاسبه شده شاخص MAI، بومادران از بیشترین توانایی در انباشت زیستی هم‌زمان عناصر روی، سرب و نیکل برخوردار بود. همچنین، می‌توان ادعان داشت که بومادران و از مک گونه‌هایی مناسب برای پایش و پالایش فلزات سنگین از خاک و هوا در مناطق آلوده محسوب می‌شوند.

- national forest. *Environmental Geochemistry and Health*. 2019;41(3):1387-403.
7. Al-Khashman OA. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric Environment*. 2004;38(39):6803-12.
8. Noman A, Ali Q, Maqsood J, Iqbal N, Javed MT, Rasool N, et al. Deciphering physio-biochemical, yield, and nutritional quality attributes of water-stressed radish (*Raphanus sativus* L.) plants grown from Zn-Lys primed seeds. *Chemosphere*. 2018;195:175-89.
9. Ahmad I, Khan B, Asad N, Mian I, Jamil M. Traffic-related lead pollution in roadside soils and plants in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan: implications for human health. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019;16(12):8015-22.
10. Mohammadi MJ, Yari AR, Saghazadeh M, Sobhanardakani S, Geravandi S, Afkar A, et al. A health risk assessment of heavy metals in people consuming Sohan in Qom, Iran. *Toxin Reviews*. 2018;37(4):278-86.
11. Zhang J, Zhou X, Wang Z, Yang L, Wang J, Wang W. Trace elements in PM_{2.5} in Shandong Province: Source identification and health risk assessment. *Science of the Total Environment*. 2018;621:558-77.
12. Ghannadnia M, Zarabbi M, Habibi N. The effect of vehicular air pollution on leaf anatomical characters of

- some fruitbearing trees (Case study: traditional Qazvin gardens). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2020;12(4):593-606 (in Persian).
13. Szwalec A, Mundała P, Kędzior R, Pawlik J. Monitoring and assessment of cadmium, lead, zinc and copper concentrations in arable roadside soils in terms of different traffic conditions. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2020; 192(3):155.
 14. Nazari Alamdarloo B, Mosleh Arany A, Shojae Barjoe S, Azimzadeh H, Kiani B. Air pollution tolerance index and heavy metals (Pb and Cd) bioaccumulation in selected plant species (trees, shrubs and herbs) in high-traffic areas of Yazd city. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2020;13(2):299-318 (in Persian).
 15. Wiseman CL, Zereini F, Püttmann W. Metal translocation patterns in *Solanum melongena* grown in close proximity to traffic. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014;21(2):1572-81.
 16. Guan Z-H, Li XG, Wang L. Heavy metal enrichment in roadside soils in the eastern Tibetan Plateau. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(8):7625-37.
 17. Wang G, Yan X, Zhang F, Zeng C, Gao D. Traffic-related trace element accumulation in roadside soils and wild grasses in the Qinghai-Tibet Plateau, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014;11(1):456-72.
 18. Zanello S, Nagata N. Study of different environmental matrices to assess the extension of metal contamination along highways. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(6):5969-79.
 19. Wang H, Nie L, Xu Y, Li M, Lv Y. Traffic-emitted metal status and uptake by *Carex meyeriana* Kunth and *Thelypteris palustris* var. *pubescens* Fernald growing in roadside turfy swamp in the Changbai Mountain area, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(19):18498-509.
 20. Shomali AR, Khodaverdiloo H. Contamination of soils and plants along Urmia-Salmas highway (Iran) to some heavy metals. *Water and Soil Science*. 2012;22(3):157-72 (in Persian).
 21. Khalid N, Hussain M, Young HS, Ashraf M, Hameed M, Ahmad R. Lead concentrations in soils and some wild plant species along two busy roads in Pakistan. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018;100(2):250-8.
 22. Abbaszadeh H, Mohammadi Roozbahani M, Sobhanardakani S. Use of *Ziziphus spina-christi* and *Prosopis cineraria* leaves as bio-indicators of environmental pollution emitted from industrial areas. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2019;12(1):87-100 (in Persian).
 23. Shokri Ragheb P, Sobhan Ardakani S. Analysis of Co, Cr and Mn concentrations in atmospheric dry deposition in Hamadan City. *Avicenna Journal of Clinical Medicine*. 2016;23(2):149-56 (in Persian).
 24. Zhang H, Zhang Y, Wang Z, Ding M, Jiang Y, Xie Z. Traffic-related metal (loid) status and uptake by dominant plants growing naturally in roadside soils in the Tibetan plateau, China. *Science of the Total Environment*. 2016;573:915-23.
 25. Zhai Y, Dai Q, Jiang K, Zhu Y, Xu B, Peng C, et al. Traffic-related heavy metals uptake by wild plants grow along two main highways in Hunan Province, China: effects of soil factors, accumulation ability, and biological indication potential. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23(13):13368-77.
 26. Norouzi S, Khademi H, Cano AF, Acošta JA. Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: a case study from Isfahan, Central Iran. *Ecological Indicators*. 2015;57:64-73.
 27. Odabasi M, Tolunay D, Kara M, Falay EO, Tuna G, Altioğ H, et al. Investigation of spatial and historical variations of air pollution around an industrial region using trace and macro elements in tree components. *Science of the Total Environment*. 2016;550:1010-21.
 28. Lindsay WL, Norvell WA. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 1978;42(3):421-28.
 29. Randelović D, Jakovljević K, Mihailović N, Jovanović S. Metal accumulation in populations of *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth from diverse anthropogenically degraded sites (SE Europe, Serbia). *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018;190(4):1-17.
 30. Galal TM, Shehata HS. Bioaccumulation and trans-

- location of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. *Ecological Indicators*. 2015;48:244-51.
31. Korzeniowska J, Stanislawska-Glubiak E. Phytoremediation potential of *Phalaris arundinacea*, *Salix viminalis* and *Zea mays* for nickel-contaminated soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019;16(4):1999-2008.
 32. Jeddi K, Chaieb M. Evaluation of the potential of *Erodium glaucophyllum* L. for phytoremediation of metal-polluted arid soils. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(36):36636-44.
 33. Nadgórska-Socha A, Kandziora-Ciupa M, Trzęsicki M, Barczyk G. Air pollution tolerance index and heavy metal bioaccumulation in selected plant species from urban biotopes. *Chemosphere*. 2017;183:471-82.
 34. Bonanno G, Borg JA. Comparative analysis of trace element accumulation in seagrasses *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*: Biomonitoring applications and legislative issues. *Marine Pollution Bulletin*. 2018;128:24-31.
 35. Liang J, Fang H, Zhang T, Wang X, Liu Y. Heavy metal in leaves of twelve plant species from seven different areas in Shanghai, China. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017;27:390-8.
 36. Maeaba W, Prasad S, Chandra S. First assessment of metals contamination in road dust and roadside soil of Suva City, Fiji. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2019;77(2):249-62.
 37. Mustafa G, Komatsu S. Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics*. 2016;1864(8):932-44.
 38. Yu L, Li H-G, Liu F-C. Pollution in the urban soils of Lianyungang, China, evaluated using a pollution index, mobility of heavy metals, and enzymatic activities. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017;189(1):34.
 39. Bernardino CA, Mahler CF, Santelli RE, Freire AS, Braz BF, Novo LA. Metal accumulation in roadside soils of Rio de Janeiro, Brazil: impact of traffic volume, road age, and urbanization level. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191(3):156.
 40. Sawidis T, Breuste J, Mitrovic M, Pavlovic P, Tsigaridas K. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. *Environmental Pollution*. 2011;159(12):3560-70.
 41. Shi J, Zhang G, An H, Yin W, Xia X. Quantifying the particulate matter accumulation on leaf surfaces of urban plants in Beijing, China. *Atmospheric Pollution Research*. 2017;8(5):836-42.
 42. Calzoni GL, Antognoni F, Pari E, Fonti P, Gnes A, Speranza A. Active biomonitoring of heavy metal pollution using *Rosa rugosa* plants. *Environmental Pollution*. 2007;149(2):239-45.
 43. Wang XS. Magnetic properties and heavy metal pollution of soils in the vicinity of a cement plant, Xuzhou (China). *Journal of Applied Geophysics*. 2013;98:73-8.
 44. Pourkhabbaz AR, Shirvani Z, Ghader Ghaderi M. Biomonitoring of air pollution in urban regions by *Platanus orientalis* and *Fraxinus excelsior* (Case study: Shiraz city). *Journal of Environmental Studies*. 2015;41(2):351-60 (in Persian).
 45. Serbula SM, Miljkovic DD, Kovacevic RM, Ilic AA. Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2012;76:209-14.
 46. Shahid M, Dumat C, Khalid S, Schreck E, Xiong T, Niazi NK. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials*. 2017;325:36-58.
 47. Usman K, Al-Ghouti MA, Abu-Dieyeh MH. The assessment of cadmium, chromium, copper, and nickel tolerance and bioaccumulation by shrub plant *Tetraena qataranse*. *Scientific Reports*. 2019;9(1):1-11.
 48. Zacchini M, Pietrini F, Mugnozza GS, Iori V, Pietrosanti L, Massacci A. Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2009;197(1):23-34.
 49. Khalid N, Noman A, Aqeel M, Masood A, Tufail A. Phytoremediation potential of *Xanthium strumarium* for heavy metals contaminated soils at roadsides. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019;16(4):2091-100.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Feasibility of using *Achillea wilhelmsii* and *Cardaria draba* for biomonitoring and bioremediation of heavy metals (Zn, Pb and Ni) in the roadside environments

Nayereh Sadat Hosseini¹, Soheil Sobhanardakani^{1,*}, Mehrdad Cheraghi¹, Bahareh Lorestani¹, Hajar Merrikhpour²

1- Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

2- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Sayyed Jamaledin Asadabadi University, Asadabad, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 1 February 2021

Revised: 6 March 2021

Accepted: 8 March 2021

Published: 17 March 2021

Keywords: *Cardaria draba*, *Achillea wilhelmsii*, Bioremediation, Traffic, Heavy metals

***Corresponding Author:**

s_sobhan@iauh.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Monitoring of traffic emissions is a good way to build a safe ecosystem for living organisms. Therefore, the present study was conducted to assess the feasibility of using *Achillea wilhelmsii* and *Cardaria draba* located along the suburban roads of Hamadan for Zn, Pb and Ni removal by their aerial and underground organs in 2020.

Materials and Methods: In this descriptive study, after selecting 3 sampling stations, a total of 126 plant samples and 63 soil samples were collected. In the laboratory, the samples were prepared, and were then digested with acid. Subsequently, the concentration of each heavy metal was measured by inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES). Moreover, bioconcentration factor (BCF), bioaccumulation factor (BAF), transfer factor (TF) and metal accumulation index (MAI) were also calculated. Statistical analyses of the results were performed using SPSS statistical software.

Results: The mean values of BCF and BAF in both *A. wilhelmsii* and *C. draba* for all tested elements were greater than 1. On the other hand, *A. wilhelmsii* showed TF greater than 1 for zinc while *C. draba* showed TF greater than 1 for zinc and lead. The highest mean values of MAI in unwashed and washed shoots and roots of *A. wilhelmsii* were 98.48, 64.87 and 72.38, respectively.

Conclusion: Based on the calculated average values of BCF, BAF and TF of each elements, it can be argued that *A. wilhelmsii* and *C. draba* species have the potential of phytoextraction and Phytostabilization of the measured heavy metals and can be used for biomonitoring and bioremediation from soil and air in the heavy metals polluted areas.

Please cite this article as: Hosseini NS, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Lorestani B, Merrikhpour H. Feasibility of using *Achillea wilhelmsii* and *Cardaria draba* for biomonitoring and bioremediation of heavy metals (Zn, Pb and Ni) in the roadside environments. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;13(4):607-20.

