

## بررسی گیاه‌پالایی گونه‌های بیابانی *Haloxylon* و *Seidlitzia rosmarinus* *aphyllum* (مطالعه موردی: سنگ‌شکن بوکسیت معدن آلومینای جاجرم)

خدیدجه خرمن‌دار<sup>۱</sup>، محسن حسینعلی‌زاده<sup>۲\*</sup>، علی مهدوی<sup>۳</sup>، علی محمدیان بهبهانی<sup>۴</sup>، حسن یگانه<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۴

### چکیده

در پژوهش حاضر پتانسیل *Haloxylon aphyllum* و *Seidlitzia rosmarinus* با هدف شناسایی گونه‌های بومی مناسب برای گیاه‌پالایی در اراضی آلوده به فلزات نیکل، کبالت، کروم، آرسنیک و وانادیوم مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور در یک دوره رویشی، گونه‌ها در جهت باد غالب در خاک‌های نمونه‌برداری شده از فواصل مختلف سنگ‌شکن بوکسیت ۴۵۰-۷۰۰، ۸۰۰-۱۲۰۰، ۱۴۰۰-۲۰۰۰ و ۲۵۰۰-۵۰۰۰ متر و محدوده شاهد مستقر شدند. در نهایت میزان فلزات، ارزیابی و فاکتورهای انتقال و تجمع زیستی محاسبه شدند. نتایج نشان داد متوسط میزان فلزات نیکل، کبالت، آرسنیک، کروم و وانادیوم در *H. aphyllum* در فواصل هدف به ترتیب ۴۶۹/۱۹، ۱۷۲/۷۴، ۹/۵۱، ۲۱/۵۹ و ۲۳/۰۷، متوسط فاکتور انتقال ۱/۰۹، ۱/۲۱، ۱/۰۸، ۱/۲۱ و ۱/۰۲، متوسط فاکتور تجمع زیستی ۰/۵۳، ۰/۲۶، ۰/۶۶، ۰/۵۰ و ۰/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در *S. rosmarinus* نیز به ترتیب ۴۷۹/۳۱، ۱۶۹/۳۴، ۹/۴۲، ۲۱/۱۸ و ۳۰/۸۵، متوسط فاکتور انتقال ۱/۲۰، ۱/۰۵، ۱/۰۱، ۱/۰۵ و ۱/۰۵، متوسط فاکتور تجمع زیستی ۰/۲۴، ۰/۶۸، ۰/۵۴ و ۰/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. با توجه به اینکه فاکتور انتقال و تجمع زیستی برای عناصر مذکور در هر دو گونه به ترتیب بزرگ‌تر و کوچک‌تر از یک ارزیابی شد. بنابراین به‌عنوان گونه‌های ارزشمند جهت اهداف استخراج گیاهی در این منطقه و مناطق مشابه توصیه می‌شوند.

**کلیدواژه‌ها:** استخراج گیاهی، فاکتور انتقال، فاکتور تجمع زیستی، فلزات سنگین، گونه‌های بومی.

۱. دانشجوی دکتری گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲. دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، mhalizadeh@gau.ac.ir

۳. استاد گروه علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۴. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۵. دانشیار گروه علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است.

## مقدمه

امروزه یکی از فعالیت‌های انسانی با بیشترین اثر منفی بر روی محیط‌زیست، استخراج معادن است که این صنعت به‌عنوان یکی از عوامل مهم در چرخه بیوژئوشیمیایی عناصر سمی در محیط به شمار می‌آید (مونتالوان اولیوارس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). فلزات سنگین، عناصری با چگالی بیش از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و وزن مخصوص بیش از ۴ هستند که توزیع این فلزات کمیاب به‌عنوان تهدیدی جدی برای محیط‌زیست محسوب می‌شود؛ زیرا این فلزات به‌طور گسترده در آب، هوا و پوسته زمین وجود دارند. موجودات زنده به برخی از این عناصر تا حد معینی نیاز دارند، ولی تجمع بیش از حد آن‌ها اثرات مضر را به دنبال دارد (امانوئل و نصیردین<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹). به‌طور کلی این عناصر در دو گروه با مقدار کم ضروری (حسین و همکاران، ۲۰۲۱) و کم‌خطرناک (لی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) برای موجودات قرار می‌گیرند. در میان آلاینده‌های اصلی تولیدشده توسط فعالیت‌های معدنی، فلزات از نگرانی خاصی برخوردارند؛ به‌طوری‌که این عناصر به‌طور طبیعی سمی بوده، تجزیه‌ناپذیرند و آسیب‌های عمده محیط‌زیستی را در پی دارند. لذا ارائه راهبردهای کاربردی جهت محدود کردن پتانسیل آلودگی آن‌ها ضروری است (ال برکائویی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). همان‌طور که در دستور کار ۲۰۳۰ برای توسعه پایدار به این موضوع اشاره شده است، بازسازی اراضی و خاک‌های تخریب‌یافته از جمله معادن از اهداف توسعه پایدار در این دستورالعمل هستند (ال برکائویی و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین آلودگی این عناصر یک معضل جهانی بوده که صنعت معدن با آن مواجه است و از این منظر بررسی این صنایع بسیار حائز اهمیت است؛ به‌طوری‌که در سال‌های اخیر، فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی جهت پایش و اصلاح فلزات در مناطق آلوده استفاده می‌شود که دو عامل اقتصادی بودن روش اصلاح و مقبولیت محیطی آن‌ها در انتخاب و کاربرد روش‌ها باید مدنظر باشند (حسین‌پور و همکاران، ۲۰۲۰). در این بین به‌کارگیری گیاهان با توجه به

سازگاری و به‌صرفه بودن، از روش‌های کاربردی محسوب می‌گردد که از گیاهان مختلف علوفه‌ای، چوبی و بوته‌ای جهت حفظ، خروج و کاهش اثرات آلاینده‌های مختلف همچون فلزات می‌توان بهره برد (زوفان<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). روش‌های دیگری که جهت پالایش اراضی آلوده به فلزات به کار گرفته می‌شوند، شامل تثبیت<sup>۶</sup>، کلات‌کننده<sup>۷</sup>، حفاری<sup>۸</sup>، شستن خاک<sup>۹</sup> خاک آلوده با اسیدها هستند که متأسفانه این روش‌های غیراقتصادی، منجر به تخریب خاک شده، نیاز به نیروی کار فراوان داشته و عمدتاً دارای محدودیت هستند (آدی<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). اما روش گیاه‌پالایی، استفاده از گیاهان برای انتقال آلودگی موجود در منطقه و یا ایجاد شرایط ثبات آلودگی در مناطق هدف است. این روش در مقایسه با سایر روش‌های اصلاح خاک‌های آلوده از جمله شست‌وشوی شیمیایی و تثبیت فیزیکی دارای هزینه کمتر، اجرای ساده‌تر، بدون اثرات ثانویه آلودگی و کمک به ایجاد مجدد جوامع مختلف گیاهی و بندپایان هستند (لی<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). گیاه‌پالایی در مقایسه با سایر روش‌ها، توانایی رویش و سازگاری با اراضی آلوده را دارد (پازفریرو<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). به‌منظور بررسی پتانسیل گونه‌ها و معرفی آن‌ها به‌عنوان پالاینده آلودگی در محیط، باید میزان فلزات در بخش هوایی، زیرزمینی و خاک با استفاده از فاکتور انتقال<sup>۱۳</sup> و ضریب تجمع زیستی<sup>۱۴</sup> آن‌ها را بررسی و گونه مناسب برای پاک‌سازی اراضی آلوده به فلزات را پیشنهاد کرد. بنابراین، توانایی گیاه‌پالایی هر گیاه با این فاکتورها قابل ارزیابی هستند (فونتم لوم<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). چنانچه فاکتور انتقال بزرگ‌تر از عدد یک شود، آن گونه پتانسیل استخراج گیاهی دارد و چنانچه فاکتور انتقال کوچک‌تر از عدد یک و تجمع زیستی بزرگ‌تر از عدد یک شوند، گونه مورد نظر توانایی تثبیت گیاهی را دارد (چراغی و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات بسیاری بر روی

5. Zoufan

6. Stabilization

7. Chelating agents

8. Excavation

9. Soil washing

10. Addy

11. Li

12. Paz Ferreira

13. Translocation Factor

14. Biological Accumulation Factor

15. Fontem Lum

1. Montalvan Olivares

2. Emmanuel and Nasirudeen

3. Li

4. El Berkaoui

فلزات کمک شایانی خواهد کرد. از طرفی در طول دهه‌های اخیر، کاربرد گونه‌های درختچه‌ای به‌عنوان پوشش مناسب برای پاک‌سازی آلودگی فلزات، مورد توجه محققان در بحث گیاه‌پالایی واقع شده است که دلیل این امر اقتصادی بودن، سازگار با طبیعت و پایداری برای اصلاح اراضی آلوده به فلزات، مقاومت بالای آن‌ها و مکانیسم‌های مقاومتی در برابر فلزات است. با توجه به اینکه ایران یکی از کشورهای غنی در ذخایر معدنی است که خاک آن‌ها به‌دلیل مواد باقی‌مانده ناشی از فعالیت معادن منجر به آلودگی به فلزات شده، کاربرد گونه‌های بومی به‌عنوان یک راهبرد پایدار برای حل مشکلات زیست محیطی ناشی از فعالیت معادن توصیه می‌شود (حسین‌پور و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین هدف از پژوهش حاضر، میزان تجمع آرسنیک، نیکل، کروم، کبالت و وانادیوم ناشی از فعالیت سنگ شکن بوکسیت در جهت باد غالب بر روی اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌های بومی اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) و سیاه‌تاغ (*Haloxylon aphyllum*) و تعیین گونه مناسب به‌عنوان انباشتگر جهت گیاه‌پالایی اراضی آلوده به ریزگردهای صنعتی است.

### مواد و روش‌ها

برای تهیه خاک بستر استقرار گونه‌های اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) و سیاه‌تاغ (*Haloxylon aphyllum*) به‌منظور بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی آن‌ها، از خاک منطقه محدوده جاجریم استفاده شد. این منطقه در قسمت جنوبی استان خراسان شمالی در محدوده‌ای از نواحی بیابانی با مختصات جغرافیایی  $37^{\circ} 12' 45''$  شمالی و  $56^{\circ} 40'$  شرقی قرار دارد. کارخانه آلومینای جاجریم نیز در فاصله تقریبی ۷ کیلومتری از این شهر است که در فاصله ۴ کیلومتری این کارخانه، معدن بوکسیت واقع شده است. این محدوده در ارتفاع ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ متری از سطح دریا با اقلیم نمای دوما رتن از نوع خشک بیابانی و متوسط ریزش‌های جوی سالانه در این محدوده بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر است (کاشکی، ۲۰۱۵). نمونه‌برداری خاک منطقه بر اساس روش خرمن‌دار و همکاران (۲۰۲۳) از پنج فاصله ۴۵۰-۷۰۰، ۸۰۰-۱۲۰۰، ۱۴۰۰-۲۰۰۰ و ۲۵۰۰-۵۰۰۰ متری از سنگ‌شکن بوکسیت و محدوده شاهد به سمت جاده سنخواست

میزان تجمع فلزات در پوشش گیاهی موجود در مناطق معدنی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: سیار<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی گیاه‌پالایی چند گونه بومی در نزدیکی کارخانه ذوب و پالایش در ایران پرداختند و دریافتند که گونه درمنه (*Artemisia sp*) با توجه به فاکتور انتقال بالاتر از عدد یک، برای استخراج گیاهی و گونه چرخه (*Launaea acanthodes*) و هزارخار (*Cousinia congesta*) با توجه به فاکتور انتقال کمتر از عدد یک، برای تثبیت گیاهی مناسب‌اند. ال برکائویی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی تجمع برخی از فلزات سنگین در گونه‌های بومی کنگر طلائی (*Scolymus hispanicus*)، علف بره (*Festuca ovina*)، کلثوم (*Cleome brachycarpa*)، اسپند (*Peganum harmata*) و *Carlina involucrata* رشدیافته در اطراف معدنی در مراکش، دریافتند که این گونه‌ها به‌ترتیب دارای فاکتورهای تجمع زیستی و انتقال بزرگ‌تر و کمتر از عدد یک بوده که در گیاه‌پالایی فلزات هدف مناسب‌اند. جیمنز<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی برخی از فلزات سنگین در برگ و ریشه بومی پیرپاییزی (*Ditrichia viscosa*)، گل‌آفتابی (*Cistus salviifolius*) و فرفیون (*Euphorbia pithyusa subsp*) در معادن آلوده در اسپانیا نشان دادند که این گونه‌ها به‌عنوان تثبیت گیاهی مناسب بودند. حسین‌پور و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی گیاه‌پالایی گونه‌های بومی خارشتر (*Alhagi maurorum*)، سنبله ارغوانی (*Stachys inflata*) و کنگر (*Cirsium vulgare*) در دو معدن مس در شمال غرب ایران نشان دادند که گونه *A. maurorum* و *S. inflata* پتانسیل خوبی در تجمع کادمیوم، مولیبدین و اسکاندیم دارند. همچنین *C. vulgare* پتانسیل تجمع روی و سرب را داشته و به‌عنوان گونه‌های مناسب برای پاک‌سازی فلزات در مناطق معدنی معرفی شدند. با توجه به مطالعات انجام‌شده، شناسایی گونه‌های گیاهی با توانایی سازگاری و تحمل شرایط نامساعد در افزایش پتانسیل گیاه‌پالایی محدوده مطالعاتی اثر بسیار مؤثری دارد. لذا پژوهش بر روی گونه‌های گیاهی مختلف و سنجش میزان تجمع فلزات موجود در آن‌ها در مناطق معدنی، به شناسایی گونه‌های گیاهی انباشت‌کننده

1. Siyar  
2. Jimenez

مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ استفاده شد. به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد و با آزمون لیون، همگنی واریانس‌ها نیز بررسی شد.

### نتایج

تجزیه و تحلیل واریانس میزان فلزات در گونه‌های کشت‌شده در خاک محدوده مطالعاتی از فواصل مختلف نشان داد که در بررسی میزان فلزات هدف در بین گونه‌ها، فواصل و اثر مشترک بین آن‌ها در میزان وانادیوم، اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد و در سایر فلزات، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در بررسی میزان فلزات هدف در بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌ها، نتایج مانند خاک محدوده مطالعاتی فقط در مورد وانادیوم (اختلاف معنی‌دار) صدق کرد.

#### میزان فلزات مذکور در فواصل و گونه‌های هدف

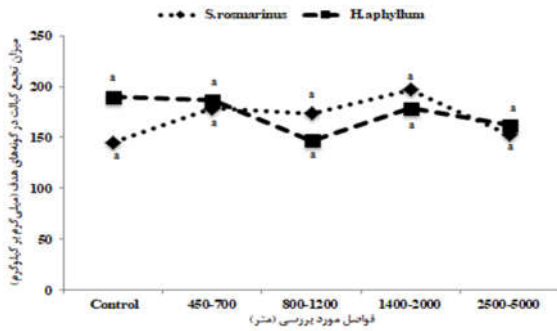
نتایج میزان جذب فلزات هدف در فواصل و در گونه‌های مورد مطالعه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میزان تجمع نیکل، کبالت، کروم و آرسنیک در بین فواصل و دو گونه وجود نداشت و تنها در میزان وانادیوم در بین فواصل و در بین دو گونه، اختلاف معنی‌داری موجود بود. بیشترین میزان فلزات در گونه‌ها و در تمام فواصل مورد بررسی به‌ترتیب شامل نیکل، کبالت، وانادیوم، کروم و آرسنیک تعیین شد (شکل‌های ۱ تا ۵).

#### میزان فلزات در فواصل و اندام‌های هوایی گونه‌ها

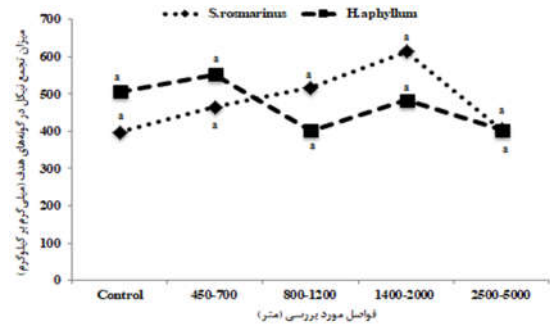
نتایج میزان جذب فلزات در فواصل و اندام‌های هوایی گونه‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میزان نیکل، کبالت، کروم و آرسنیک در بین فواصل و در بین اندام‌های هوایی دو گونه وجود نداشت و تنها در میزان تجمع وانادیوم در بین فواصل و در بین اندام‌های هوایی دو گونه دارای اختلاف معنی‌داری بود. بیشترین میزان فلزات در اندام‌های هوایی گونه *S. rosmarinus* و در فواصل مورد بررسی به‌ترتیب شامل نیکل، کبالت، وانادیوم، کروم و آرسنیک برآورد شد. اما بیشترین میزان تجمع فلزات در اندام‌های هوایی *H. aphyllum* و در فواصل به ترتیب شامل فلزات نیکل، کبالت، کروم، وانادیوم و آرسنیک تعیین شد (شکل‌های ۶ تا ۱۰).

انجام شد. سپس با توجه به فواصل تعریف‌شده و منطقه شاهد، دو تیمار استقرار بذرها در گلدان‌های حاوی خاک منطقه شاهد و خاک منطقه هدف در فواصل مختلف از سنگ‌شکن بوکسیت در جهت باد غالب در نهالستان جهت استقرار گونه‌ها بر اساس روش خرمن‌دار و همکاران (۲۰۲۳) تعریف شدند. در نهایت پس از اتمام یک دوره رویشی ۹ ماهه پتانسیل، گیاه‌پالایی گونه‌های مذکور در خاک فواصل مختلف، تحت‌تأثیر گردوغبار حاصل از سنگ‌شکن بوکسیت معدن آلومینای جاجرم در جهت باد غالب منطقه، ارزیابی شد. این پژوهش با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. برای تعیین میزان فلزات سنگین هدف، نهال‌ها از گلدان‌ها خارج و اندام هوایی و زیرزمینی گونه‌ها جدا و جهت حذف هر نوع آلودگی خارجی همچون گردوغبار چسبیده به گونه‌ها که احتمال ایجاد خطا در ارزیابی فلزات را دارند، پاک‌سازی و با آب مقطر شست‌وشو و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون قرار داده شدند. بعد از خشک شدن آن‌ها، نمونه‌های گیاهی با آسیاب نانو به تفکیک اندام هوایی و زیرزمینی پودر و در داخل پاکت قرار داده و کدگذاری شدند. سپس ۰/۱ گرم از هر نمونه اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌های مذکور، با اسیدهای نیتریک، سولفوریک و پیرکلریدریک به نسبت ۸:۲:۱ هضم و غلظت فلزات توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شدند (موریرا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱).

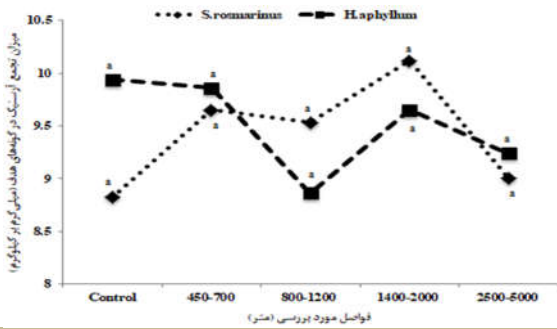
در نهایت فاکتور انتقال و تجمع زیستی که مشخص‌کننده توانایی گیاهان مذکور برای تجمع فلزات در اندام‌های مختلف آن‌هاست، محاسبه شدند. در واقع فاکتور انتقال و تجمع زیستی را می‌توان به‌منظور تخمین پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌ها استفاده کرد. فاکتور تجمع زیستی، غلظت فلز در ریشه به غلظت فلز در خاک و فاکتور انتقال، غلظت فلز در اندام هوایی به غلظت فلز در ریشه است (ال برکائویی و همکاران، ۲۰۲۲). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 انجام و در این پژوهش نقاط نمونه‌برداری به‌عنوان تیمارها و تکرار گلدان‌های گونه‌ها به‌عنوان بلوک در نظر گرفته شد. تجزیه واریانس نتایج انجام شده و در صورت معنی‌داری، از آزمون دانکن برای



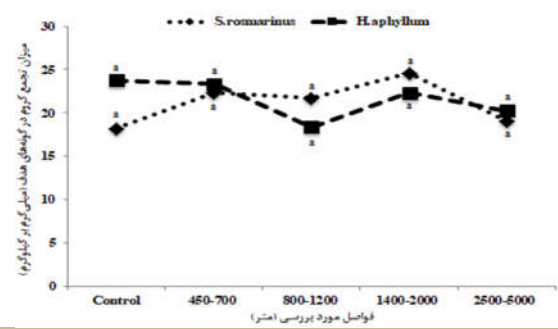
شکل (۲): میزان تجمع کبالت در فواصل مختلف و گونه‌های هدف  
Figure (2): Cobalt accumulation amount in different distances and target species



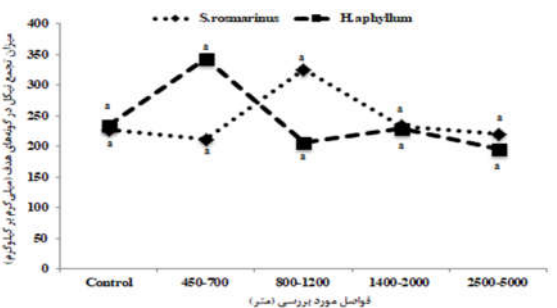
شکل (۱): میزان تجمع نیکل در فواصل مختلف و گونه‌های هدف  
Figure (1): Nickel accumulation amount in different distances and target species



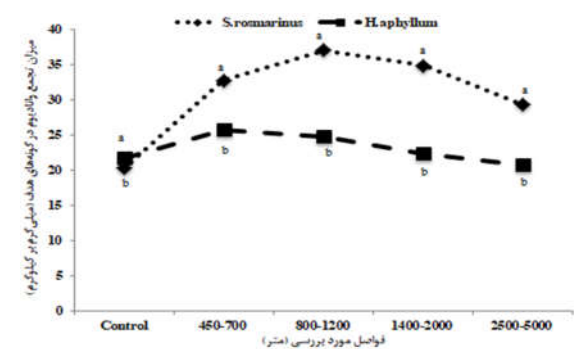
شکل (۴): میزان تجمع آرسنیک در فواصل مختلف و گونه‌های هدف  
Figure (4): Arsenic accumulation amount in different distances and target species



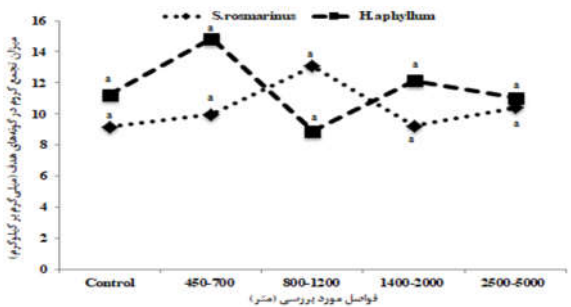
شکل (۳): میزان تجمع کروم در فواصل مختلف و گونه‌های هدف  
Figure (3): Chrome accumulation amount in different distances and target species



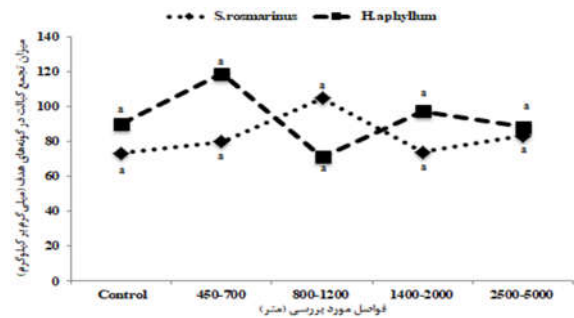
شکل (۶): میزان تجمع نیکل در فواصل مختلف و اندام‌های هوایی گونه‌ها  
Figure (6): Nickel accumulation amount in different distances and species aerial organs



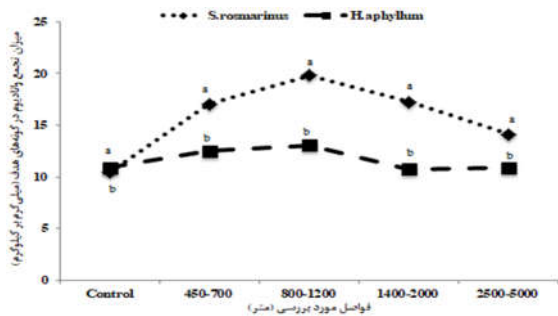
شکل (۵): میزان تجمع وانادیوم در فواصل مختلف و گونه‌های هدف  
Figure (5): Vanadium accumulation amount in different distances and target species



شکل (۸): میزان تجمع کروم در فواصل مختلف و اندام‌های هوایی گونه‌ها  
Figure (8): Chrome accumulation amount in different distances and species aerial organs

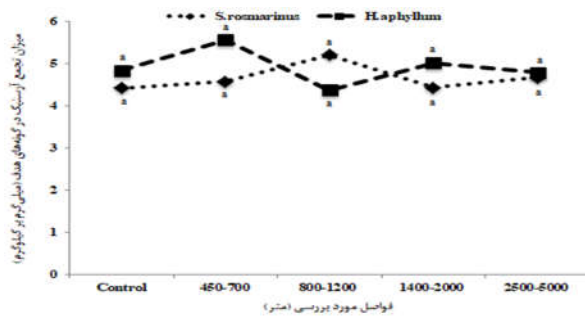


شکل (۷): میزان تجمع کبالت در فواصل مختلف و اندام‌های هوایی گونه‌ها  
Figure (7): Cobalt accumulation amount in different distances and species aerial organs



شکل (۱۰): میزان تجمع وانادیوم در فواصل مختلف و اندام‌های هوایی گونه‌ها

Figure (10): Vanadium accumulation amount in different distances and species aerial organs

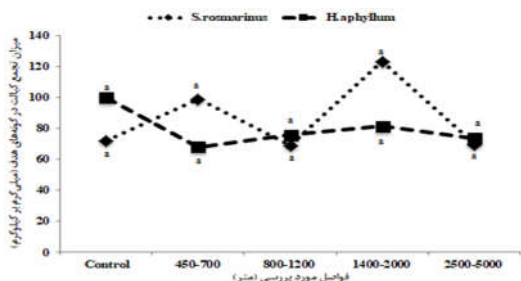


شکل (۹): میزان تجمع آرسنیک در فواصل مختلف و اندام‌های هوایی گونه‌ها

Figure (9): Arsenic accumulation amount in different distances and species aerial organs

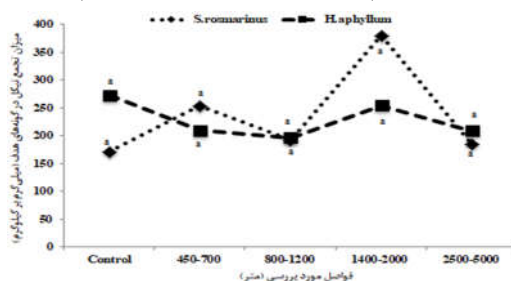
دو گونه دارای اختلاف معنی داری بود. بیشترین میزان فلزات در اندام زیرزمینی و فواصل به ترتیب شامل نیکل، کبالت، وانادیوم، کروم و آرسنیک بود (شکل‌های ۱۱ تا ۱۵).

میزان فلزات در فواصل و اندام زیرزمینی گونه‌ها نتایج میزان فلزات در فواصل و اندام زیرزمینی گونه‌ها نشان داد که میزان وانادیوم در بین فواصل و در بین اندام زیرزمینی



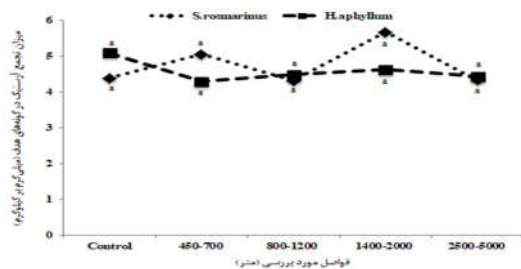
شکل (۱۲): میزان تجمع کبالت در فواصل مختلف و اندام زیرزمینی گونه‌ها

Figure (12): Cobalt accumulation amount in different distances and species underground organs



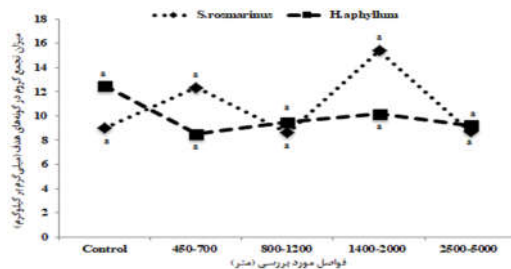
شکل (۱۱): میزان تجمع نیکل در فواصل مختلف و اندام زیرزمینی گونه‌ها

Figure (11): Nickel accumulation amount in different distances and species underground organs



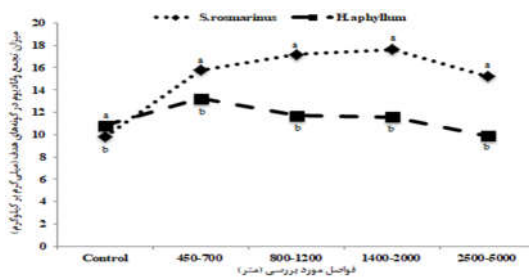
شکل (۱۴): میزان تجمع آرسنیک در فواصل مختلف و اندام زیرزمینی گونه‌ها

Figure 14. Arsenic accumulation amount in different distances and species underground organs



شکل (۱۳): میزان تجمع کروم در فواصل مختلف و اندام زیرزمینی گونه‌ها

Figure 13. Chrome accumulation amount in different distances and species underground organs



شکل (۱۵): میزان تجمع وانادیوم در فواصل مختلف و اندام زیرزمینی گونه‌ها

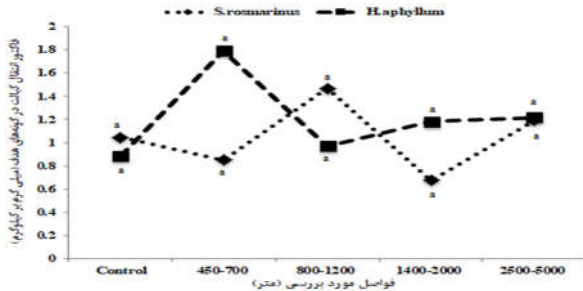
Figure (15): Vanadium accumulation amount in different distances and species underground organs

فاکتور انتقال

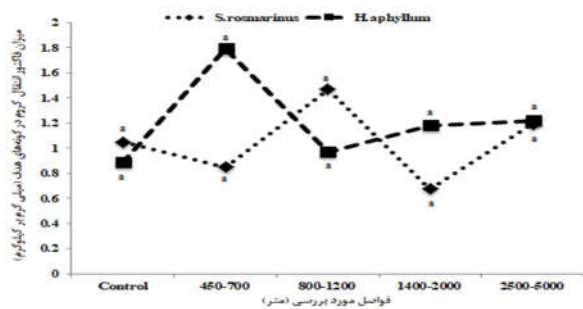
نتایج تجزیه و تحلیل واریانس فاکتور انتقال فلزات هدف در گونه‌ها در فواصل مورد بررسی نشان داد که برای فاکتور انتقال فلزات در بین گونه‌ها و فواصل، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد؛ اما در اثر مشترک بین گونه‌ها و تیمارها فلزات کبالت، آرسنیک و کروم در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری بودند.

فاکتور انتقال فلزات در فواصل و گونه‌های هدف

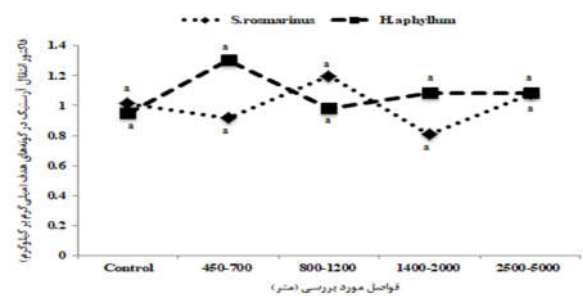
نتایج فاکتور انتقال فلزات در فواصل و گونه‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین فاکتور انتقال فلزات در بین فواصل و در بین دو گونه وجود نداشت. میانگین فاکتور انتقال در تمام فواصل در گونه *S. rosmarinus* بالاتر از یک برآورد شد و بالاترین میزان فاکتور انتقال در آن، در فاصله شاهد: نیکل، وانادیوم، کروم، کبالت و آرسنیک، در فاصله اول: وانادیوم، آرسنیک، کروم، کبالت و نیکل، در فاصله دوم: نیکل، کروم، کبالت، آرسنیک و وانادیوم و در فاصله سوم: وانادیوم، آرسنیک، نیکل، کروم و کبالت بود. میانگین فاکتور انتقال در تمام فواصل در گونه *H. aphyllum* بالاتر از یک برآورد شد و بالاترین فاکتور انتقال فلزات در آن، در فاصله شاهد: وانادیوم، آرسنیک، کروم، کبالت و نیکل در فاصله اول: کروم، کبالت، نیکل، آرسنیک و وانادیوم، در فاصله دوم: وانادیوم، نیکل، آرسنیک، کروم و کبالت، در فاصله سوم: کروم، کبالت، آرسنیک، وانادیوم و نیکل و در فاصله چهارم: کروم، کبالت، وانادیوم، آرسنیک و نیکل بود (شکل‌های ۱۶ تا ۲۰).



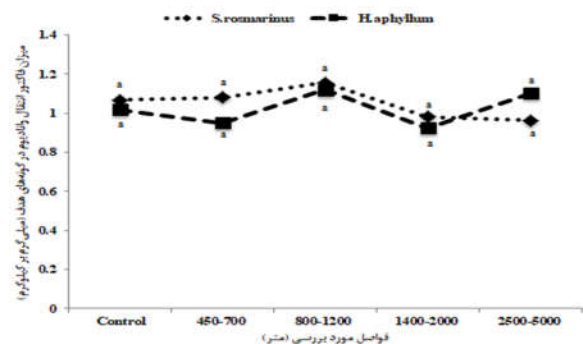
شکل (۱۷): میزان فاکتور انتقال کبالت در فواصل مختلف و گونه‌های هدف  
Figure (17): Cobalt transfer factor amount in different distances and target species



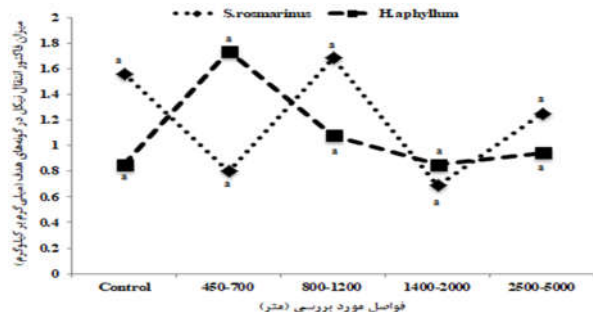
شکل (۱۸): میزان فاکتور انتقال کروم در فواصل مختلف و گونه‌های هدف  
Figure (18): Chrome transfer factor amount in different distances and target species



شکل (۱۹): میزان فاکتور انتقال آرسنیک در فواصل مختلف و گونه‌های هدف  
Figure (19): Arsenic transfer factor amount in different distances and target species



شکل (۲۰): میزان فاکتور انتقال وانادیوم در فواصل مختلف و گونه‌های هدف  
Figure (20): Vanadium transfer factor amount in different distances and target species



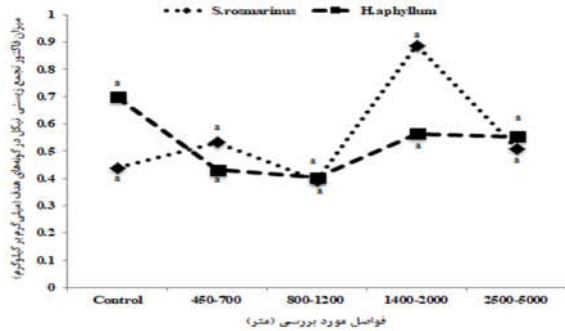
شکل (۱۶): میزان فاکتور انتقال نیکل در فواصل مختلف و گونه‌های هدف  
Figure (16): Nickel transfer factor amount in different distances and target species

**فاکتور تجمع زیستی**

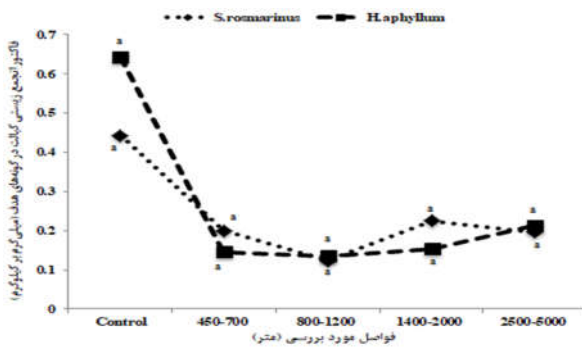
نتیجه تجزیه واریانس فاکتور تجمع زیستی فلزات در گونه‌ها و فواصل هدف در یک آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی نشان داد که فاکتور تجمع زیستی فلزات در بین دو گونه و اثر مشترک بین گونه‌ها و فواصل، فقط در میزان تجمع وانادیوم دارای اختلاف معنی داری است. در بررسی اثر فواصل در میزان تجمع کبالت و وانادیوم، اختلاف معنی داری وجود دارد و در سایر فلزات این اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

**فاکتور تجمع زیستی فلزات در فواصل و گونه‌ها**

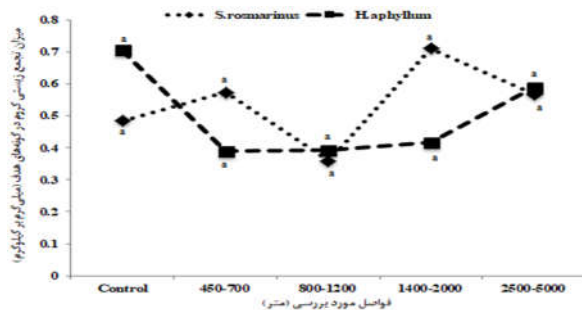
نتایج فاکتور تجمع زیستی فلزات در فواصل و گونه‌ها نشان داد که اختلاف معنی داری بین فاکتور تجمع زیستی فلزات در بین دو گونه به‌استثنای فلز وانادیوم وجود ندارد. همچنین فاقد اختلاف معنی داری بین میزان فاکتور تجمع زیستی فلزات در بین فواصل هدف به‌استثنای کبالت و وانادیوم بودند. میانگین فاکتور تجمع زیستی در تمام فواصل در *S. rosmarinus* کمتر از یک برآورد شد و بالاترین فاکتور تجمع زیستی در این گونه، در فاصله شاهد به‌ترتیب برابر با آرسنیک، کروم، نیکل، کبالت و وانادیوم، در فواصل اول و چهارم به‌ترتیب برابر با آرسنیک، کروم، نیکل، وانادیوم و کبالت، در فاصله دوم به‌ترتیب برابر با آرسنیک، وانادیوم، نیکل، کروم، کبالت، در فاصله سوم به‌ترتیب برابر با نیکل، آرسنیک، کروم، وانادیوم و کبالت بود. میانگین فاکتور تجمع زیستی در تمام فواصل در *H. aphyllum* کمتر از یک برآورد شد و بالاترین فاکتور تجمع زیستی فلزات در این گونه، در فاصله شاهد به‌ترتیب برابر با وانادیوم، آرسنیک، کروم، کبالت و نیکل در فاصله اول به‌ترتیب برابر با کروم، کبالت، نیکل، آرسنیک و وانادیوم، در فاصله دوم به‌ترتیب برابر با وانادیوم، نیکل، آرسنیک، کروم و کبالت، در فاصله سوم به‌ترتیب برابر با کروم، کبالت، آرسنیک، وانادیوم و نیکل و در فاصله چهارم به‌ترتیب برابر با کروم، کبالت، وانادیوم، آرسنیک و نیکل بود (شکل‌های ۲۱ تا ۲۵).



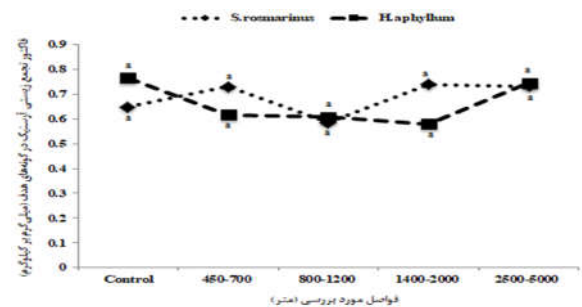
شکل (۲۱): میزان فاکتور تجمع زیستی نیکل در فواصل مختلف و گونه‌ها  
Figure (21): Nickel bioaccumulation factor amount in different distances and target species



شکل (۲۲): میزان فاکتور تجمع زیستی کبالت در فواصل مختلف و گونه‌ها  
Figure (22): Cobalt bioaccumulation factor amount in different distances and target species

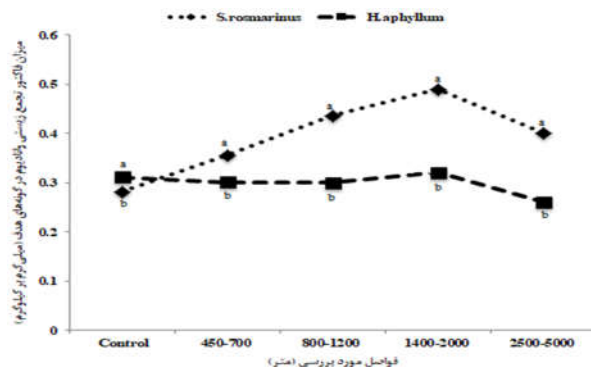


شکل (۲۳): میزان فاکتور تجمع زیستی کروم در فواصل مختلف و گونه‌ها  
Figure (23): Chrome bioaccumulation factor amount in different distances and target species



شکل (۲۴): میزان فاکتور تجمع زیستی آرسنیک در فواصل مختلف و گونه‌ها  
Figure (24): Arsenic bioaccumulation factor amount in different distances and target species





شکل (۲۵): میزان فاکتور تجمع زیستی وانادیوم در فواصل مختلف و گونه‌ها

Figure (25): Vanadium bioaccumulation factor amount in different distances and target species

در میزان تجمع وانادیوم در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. طبق نظر محققان دلیل تجمع بیشتر برخی فلزات در اندام زیرزمینی، می‌تواند ناشی از پتانسیل این گونه‌ها در تجمع فلزات در ریشه و ممانعت از انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی باشد و در واقع گونه‌ها مکانیسم مقاومتی در برابر فلزات دارند (امیرا و قادوس<sup>۳</sup>، ۲۰۱۵). از طرفی دیگر این امر ممکن است به دلیل اختلاف در ساختمان فیزیولوژی اندام‌های گیاهان و به دلیل جذب سطحی بخشی از فلزات در اندام زیرزمینی باشد، که این عناصر با ترکیباتی که در بافت اندام زیرزمینی وجود دارند ادغام می‌شوند. بنابراین این فلزات امکان انتقال به اندام‌های دیگر را ندارند و در اندام زیرزمینی باقی می‌مانند. لذا جذب سطحی این عناصر از طریق ممانعت از نفوذ دیواره آوندهای چوبی، اپیدرم ریشه و وجود نوار کاسپارین در اندام زیرزمینی از علل مؤثر در بروز این مسئله‌اند (گلکوگور و تکین اوزآن<sup>۴</sup>، ۲۰۱۷). همچنین علت تجمع بیشتر برخی فلزات در اندام‌های هوایی، می‌تواند به دلیل آن باشد که فلزات در مجاورت سطح ریشه جذب و از طریق غشای سلولی وارد سلول‌های ریشه می‌شوند و برخی از قسمت‌های فلز از غشای سلولی عبور و به بافت آوندی ریشه می‌رسند؛ در حالی که قسمت باقی‌مانده در واکوئل بی‌حرکت شده و سپس از بافت‌های آوندی به برگ و ساقه منتقل می‌شوند. لذا اکثر فلزات زمانی که در داخل بافت گیاه قرار می‌گیرند، نامحلول شده و به دلیل اسیدیتهٔ بهینهٔ سلولی

### بحث و نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر بسیاری از تحقیقات بر روی کاربرد گونه‌های بومی به منظور احیای مناطق معدنی متمرکز شده است؛ به طوری که این گونه‌ها دارای مکانیسم فیزیولوژیکی برای تحمل سمیت فلزات سنگین بوده و توانایی زنده‌مانی و تولید مثل را دارند. از طرفی تحمل گیاهان به فلزات سنگین با حذف فلزات و یا تجمع آن‌ها حاصل می‌گردد؛ در حالی که بسیاری از گونه‌ها از جذب فلزات در خاک‌های غنی از آن‌ها اجتناب و برخی دیگر میزان قابل توجهی از غلظت بالای فلزات را جمع‌آوری می‌کنند (دروزدوا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). از طرفی میزان تجمع فلزات در گیاهان به عوامل نوع گونه، اندام گیاه، خصوصیات گیاه و ویژگی‌های متقابل فلزات و سمیت آن‌ها بستگی دارد. بنابراین گونه‌های گیاهی و اندام‌های آن‌ها واکنش‌های متفاوتی در برابر فلزات دارند (نارش کومار<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج این پژوهش نیز نشان داد که بیشترین میزان نیکل و وانادیوم در *S. rosmarinus* و بیشترین میزان کبالت، کروم و آرسنیک در *H. aphyllum*، بیشترین میزان فلزات در اندام‌های هوایی شامل فلزات نیکل و وانادیوم در *S. rosmarinus* و بیشترین میزان کبالت، کروم و آرسنیک در *H. aphyllum* و بیشترین میزان فلزات در اندام زیرزمینی شامل نیکل، کبالت، آرسنیک، کروم و وانادیوم در *S. rosmarinus* تخمین زده شد، که تنها

سرب و کادمیوم دریافتند که میزان قابل توجهی از فلزات را در خود تجمع دادند و برای استخراج گیاهی در مناطق معدنی مقرون به صرفه‌اند. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج معماری و همکاران (۲۰۱۷) که در بررسی چند گونه مرتعی دریافتند گونه‌های گل گاوزبان (*Echium amoenum*)، گاوچاق‌کن (*Scariola orientalis*) و شنگ وحشی (*Tragopogon collinus*) دارای فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک، برای نیکل هستند، همخوانی دارد. در مورد بالا بودن فاکتور انتقال آرسنیک و نیکل پژوهش حاضر با نتایج سیار و همکاران (۲۰۲۲) که بیشترین فاکتور انتقال فلز آرسنیک در گونه‌های *C. congesta* و *S. sp. P. harmala* و بیشترین فاکتور انتقال نیکل در *Artemisia sp.* و *P. harmala* را ارزیابی کردند، همخوانی دارد. پتانسیل استخراج آرسنیک، نیکل، کروم، کبالت در گونه‌های *S. rosmarinus* و *H. aphyllum* نیز با نتایج برخی محققان همخوانی دارد؛ به طوری که طبق پژوهش‌های انجام شده، قدومه (*Abyssum sp.*)، کیسه چوپان (*Thlaspi sp.*) و *Berkheya coddii* به عنوان استخراج کننده نیکل، گونه *Leersia hexandra* به عنوان استخراج کننده کروم شناسایی شدند (پکو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش *S. rosmarinus* و *H. aphyllum* به عنوان استخراج کننده فلزات مذکور قابلیت کاربرد در گیاه‌پالایی محدوده مطالعاتی را دارند. لذا این گونه‌ها به عنوان گونه مناسب برای پاک‌سازی اراضی آلوده به فلزات هدف در این منطقه و مناطق مشابه پیشنهاد می‌گردند. شایان ذکر است که برای توصیه این گونه‌ها به منظور گیاه‌پالایی محدوده مطالعاتی نیاز به اجرا و استقرار آن در شرایط طبیعی در محدوده مطالعاتی است. البته با توجه به اینکه گونه‌های هدف از گونه‌های بومی محدوده مطالعاتی هستند، این گونه‌ها امکان استقرار و پاک‌سازی در این محدوده را دارند و می‌توان پس از برداشت اندام‌های هوایی *S. rosmarinus* و *H. aphyllum* جهت حفظ اکوسیستم پاک‌سازی، بقایای آن‌ها را جمع‌آوری و در شرایط کنترل شده سوزانده و خاکستر آن‌ها را به عنوان سنگ معدن زیستی، برای استخراج مجدد فلزات و یا اهداف

نمی‌توانند در سیستم عروقی حرکت کنند؛ لذا فلزات نامحلول عموماً در محفظه‌های خارجی سلول و درون سلول به صورت رسوبات سولفات، کربنات یا فسفات ذخیره می‌شوند (منظور و همکاران، ۲۰۲۰). طبق نتایج این پژوهش مشخص شد که *S. rosmarinus* و *H. aphyllum* در مجموع فواصل مورد بررسی در این پژوهش، بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل در اندام‌های هوایی خود تجمع دادند. با توجه به پژوهش‌های انجام شده، میزان بحرانی نیکل در گونه‌های حساس، متوسط و مقاوم به ترتیب بیش از ۱۰، بیش از ۵۰ و بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (چن<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). شایان ذکر است که دلیل غلظت کم آرسنیک، کروم و وانادیوم در بافت‌های گیاه و مقادیر کمتر از سطح سمیت در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌های مذکور به دلیل محتوای زیستی کم آن‌ها در خاک است که منجر به کاهش انتقال فلزات به گیاهان می‌شود (ال برکائویی و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین گردوغبار ناشی از استخراج معادن ممکن است منجر به افزایش غلظت نیکل گردد که غلظت بالای آن بدون علائم سمیت در گونه‌های مذکور نشان‌دهنده تحمل بالای آن‌هاست (دروزدوا و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج فاکتور انتقال این پژوهش نشان داد که بیشترین فاکتور انتقال و تجمع زیستی، نیکل و وانادیوم در *S. rosmarinus* و بیشترین فاکتور انتقال و تجمع زیستی، کبالت، کروم و آرسنیک در *H. aphyllum* برآورد شد، که در مجموع فاکتور انتقال فلزات در هر دو گونه بالاتر از یک برآورد شدند؛ در صورتی که در مجموع فاکتور و تجمع زیستی فلزات هدف در هر دو گونه کمتر از یک برآورد شدند. بنابراین *S. rosmarinus* و *H. aphyllum* پتانسیل استخراج گیاهی فلزات مذکور را دارند. اما هیچ‌یک از گونه‌ها را به عنوان فراانباشت نمی‌توان طبقه‌بندی کرد؛ با این حال توانایی تحمل و تجمع فلزات مذکور را داشته و برای استخراج گیاهی مناسب‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج برخی محققان همخوانی دارد؛ دروزدوا و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی گیاه‌پالایی قدومه (*Abyssum murale*) و *Arabis sagittata* به نیکل، کبالت، مس، روی،

### سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از رساله دکتری است که با حمایت مالی شرکت آلومینای ایران و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به شماره طرح ۴۹۲۰ ج انجام شده است. لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از زحمات و حمایت‌های بی‌شائبه حامیان این طرح، بی‌نهایت تشکر کنند.

اقتصادی دیگر به کار برد. گفتنی است باید منبع و نوع آلاینده‌ها بررسی شود و قبل از سرمایه‌گذاری در این خصوص اطلاعات مقدماتی و مطالعات مذکور انجام گیرد. بنابراین ضرورت به مطالعات جامع‌تر برای بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی *S. rosmarinus* و *H. aphyllum* نیاز است که گونه‌های کشت‌شده در گلدان و در تحقیقات میدانی به کار گرفته شوند تا الگوی مناسبی برای استخراج گیاهی به‌منظور احیای این اراضی و اراضی مشابه باشند.

### منابع

1. Addy, M., Losey, B., Mohseni, R., Zlotnikov, E., and Vasiliev, A., 2012. Adsorption of heavy metal ions on mesoporous silica-modified montmorillonite containing a grafted chelate ligand. *Journal of Applied Clay Science* 59, 115–120.
2. Amira, M.S., and Qados, A., 2015. Phytoremediation of Pb and Cd by native tree species grown in the Kingdom of Saudi Arabia. *Agriculture and Biology Journal of North America* 6 (1), 8-21.
3. Chen, C., Huang, D., and Liu, J., 2009. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Journal of Clean-Soil, Air, Water* 37 (4-5), 304-313.
4. Cheraghi, M., Lorestani, B., Khorasani, N., Yousefi, N., and Karami, M., 2011. Findings on the phytoextraction and phytostabilization of soils contaminated with heavy metals. *Journal of Biological Trace Element Research* 144 (1- 3), 1133-1141 .
5. Drozdova, I., Alekseeva-Popova, N., Kalimova, I., Bech, J., and Roca, N., 2018. Research of reclamation of polluted mine soils by native metallophytes: Some cases. *Journal of Geochemistry Exploration Environment Analysis* 19 (2), 164-170.
6. El Berkaoui, M., El Adnani, M., Hakkou, R., Ouhammou, A., Bendaou, N., and Smouni, A., 2022. Assessment of the Transfer of Trace Metals to Spontaneous Plants on Abandoned Pyrrhotite Mine: Potential Application for Phytostabilization of Phosphate Wastes. *Journal of Plants* 11 (2), 1-13.
7. Emmanuel, N.M., and Nasirudeen, M.B., 2019. Heavy Metal Analysis of Soil Around Mine Sites in Ameri, Enyigba and Ishiagu in Ebonyi State. *Journal of Environment and Earth Science* 9 (10), 116-122.
8. Fontem Lum, A., Ngwa, E.S.A., Chikoye, D., and Suh, C.E., 2014. Phytoremediation Potential of Weeds in Heavy Metal Contaminated Soils of the Bassa Industrial Zone of Douala, Cameroon. *International Journal of Phytoremediation* 16 (3), 302–319.
9. Gulcu Gur, B., and Tekin Ozan, S., 2017. The Investigation of heavy metal levels in water and sediment from Isikli Lake (Turkey) in relation to seasons and physico-chemical parameters. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research* 3 (2), 87-96.
10. Hossain, M., Karmakar, D., Begum, S. N., Ali, S.Y., and Patra, P.K., 2021. Recent trends in the analysis of trace elements in the field of environmental research: A review. *Microchemical Journal* 165,1-13.
11. Hoseinpour, F., Hosein-Nejad Mohtarami, M., Alipour, S., and Torbati, S., 2020. Heavy Metal Contaminations at Two Iranian Copper Mining Areas and the Remediation by Indigenous Plants. *Iranian Journal of Toxicology* 14 (2), 81-92.
12. Jimenez, M.N., Bacchetta, G., Navarro, F.B., and Casti, M., 2021. Native Plant Capacity for Gentle Remediation in Heavily Polluted Mine. *Journal of Applied Sciences* 11 (4), 1-17.
13. Khermandar, K.H., Hossinalizadeh, M., Mahdavi, A., Mohammadian Behbahani, A., and Yeganeh, H. 2023. Ecological restoration of polluted soils in arid region (Case study: bauxite crusher of Jajarm alumina). *Desert Management* (in press).
14. Li, L., Wu, J., Lu, J., Min, X., Xu, J., and Yang, L., 2018. Distribution, pollution, bioaccumulation, and ecological risks of trace elements in soils of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety* 166, 345-353.
15. Li, R., Dong, F., Yang, G., Zhang, W., Zong, M., Nie, X., Zhou, L., Babar, A., Liu, J., Kanwar Ram, B., Fan, C., and Zeng, Y., 2019. Characterization of Arsenic and Uranium Pollution Surrounding a Uranium Mine in Southwestern China and Phytoremediation Potential. *Polish Journal of Environmental Studies* 28 (6), 173-185.
16. Kashki, M.T., Shahmoradi, A.A., and Namdoost,

- T., 2015. Investigate dynamic and trend changes of vegetation on desert ecosystems (case study: Jajarm region, North Khorasan). *Desert Ecosystem Engineering Journal* 4 (7), 87-98.
17. Manzoor, M.M., Goyal, P., Gupta, A.P., and Gupta, S., 2020. Heavy Metal Soil Contamination and Bioremediation. Springer Nature Switzerland AG. Chapter 13. Bioremediation and Biotechnology, pp. 221-239.
  18. Moameri, M., Jafari, M., Tavili, A., Motasharezadeh, B., and Zare Chahouki, M.A., 2017. Rangeland Plants Potential for Phytoremediation of Contaminated Soils with Lead, Zinc, Cadmium and Nickel (Case Study: Rangelands around National Lead and Zinc Factory, Zanjan, Iran). *Journal of Rangeland Science* 7(2), 160-171.
  19. Montalvan Olivares, D.M., Santana, C.S., Velasco, F.G., Luzardo, F.H.M., Andrade, S.F.R., Ticianelli, R.B., Armelin, M.J.A., and Genezini, F.A., 2021. Multi-element contamination in soils from major mining areas in Northeastern of Brazil. *Journal of Environmental Geochemistry and Health* 43, 4553-4576.
  20. Moreira, H., Marques, A.P.G.C., Rangel, A.O.S.S., and Castro, P.M.L., 2011. Heavy metal accumulation in plant species indigenous to a contaminated Portuguese site: prospects for Phytoremediation. *Journal of Water Air Soil Pollution* 221, 377-389.
  21. Nareshkumar, A., Veernagamallaiah, G., Pandurangaiah, M., Kiranmai, K., Amaranathareddy, V., Lokesh, U., Venkatesh, B., and Sudhakar, C., 2015. Pb-Stress Induced Oxidative Stress Caused Alterations in antioxidant efficacy in two groundnuts (*Arachis hypogaea* L.) Cultivars. *Journal of Agricultural Sciences* 6 (10), 1283-1297.
  22. Paz Ferreira, J., Lu, H., Fu, S., Mendez, A., and Gasco, G., 2014. Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. *Journal of Solid Earth* 5 (2), 65-75.
  23. Peco, J.D., Higuera, P., Campos, J.A., Esbri, J.M., Moreno, M.M., Brunet, F.B., Luisa, M., and Sandalio, L.M., 2021. Abandoned Mine Lands Reclamation by Plant Remediation Technologies. *Journal of Sustainability* 13, 1-27.
  24. Siyar, R., Doulati Ardejani, F., Norouzi, P., Maghsoudy, S., Yavarzadeh, M., Taherdangkoo, R., and Butscher, C., 2022. Phytoremediation Potential of Native Hyperaccumulator Plants Growing on Heavy-Metal-Contaminated Soil of Khatunabad Copper Smelter and Refinery, Iran. *Water* 14, 1-19.
  25. Zoufan, P., Saadatkhah, A., and Rastegharzadeh, S., 2013. Comparison of potentiality of heavy metals accumulation in the plants surrounding steel industries in the Mahshahr-Bandar Imam road, Ahvaz. *Journal of Plant Biology* 5 (16), 41-56.

## Investigating the Phytoremediation of *Seidlitzia Rosmarinus* and *Haloxylon aphyllum* Desert Plants: A Case Study of Bauxite Crusher of Jajarm Alumina Mine

Khadijeh Khermandar<sup>1</sup>, Mohsen Hosseinalizadeh<sup>2\*</sup>, Ali Mahdavi<sup>3</sup>, Ali Mohammadian Behbahani<sup>4</sup>, Hassan Yeganeh<sup>5</sup>

Received: 23/02/2023

Accepted: 04/06/2023

### Extended Abstract

**Introduction:** While Iran's soil is considered one of the richest soils in terms of mineral deposits worldwide, it is contaminated with heavy metals. On the other hand, some studies have recommended the use of native plants as a sustainable strategy to resolve the environmental problems caused by mining. In this regard, phytoremediation can be regarded as an economical, effective, economical, biological, and practical method for removing heavy metals from contaminated sites. Therefore, this study sought to investigate the potential of *Seidlitzia Rosmarinus* and *Haloxylon Aphyllum* desert species for the phytoremediation of heavy metals (i.e., Ni, Co, As, Cr, and V) found around the bauxite crusher of Jajarm alumina mine in the direction of the prevailing wind.

**Materials and Methods:** Soil sampling was performed at distances of 450-700, 800-1200, 1400-2000, and 2500-5000 meters away from the center of the bauxite crusher and the control site. To this end, the seeds of the above-mentioned species were planted in pots with a 3:1:1 ratio of sand, dung, and soil, respectively. Then, the planted seeds were transferred, after two months, to the pots containing the soils sampled from target distances. Finally, upon the completion of the vegetative period, phytoremediation was carried out on the potential species using a factorial experiment in a greenhouse located at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, applying a completely randomized block design with three replications. The data analysis was then performed using the SPSS software, and Duncan's test was used to compare the obtained means for the significant results at the 5% level. To check the normality of the data, the Kolmogorov-Smirnov test. Moreover, the homogeneity of variances was checked via the Lyon test.

**Results:** The results indicated that *S. Rosmarinus* and *H. Aphyllum* contained various amounts of heavy metals, with the amount of absorbed Arsenic (As), Chromium (Cr), and Cobalt (Co) being greater in aerial and underground tissues of the *H. Aphyllum* species than those of the *S. Rosmarinus*. However, the case was reversed in terms of Nickel (Ni) and Vanadium (V), that is, the number of such metals was greater in aerial and underground tissues of *S. Rosmarinus* tissues compared with *H. Aphyllum*.

On the other hand, while the transfer rate of As, Cr, and Co was higher in *H. Aphyllum* than that of *S.*

1. Ph.D. Student, Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, mhalizadeh@gau.ac.ir

2. Associate Professor, Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3. Professor, Dept. of Forest Sciences, Ilam University, Ilam, Iran

4. Assistant Professor, Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

5. Associate Professor, Dept. of Rangeland Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

DOI: 10.22052/deej.2023.252496.1010

Rosmarinus, the transfer rate of Ni and V was greater in S. Rosmarinus compared to H. Aphyllum. The results of the study also suggested that whereas the rates of Ni, As, Cr, and Co bioaccumulation factor was higher in S. Rosmarinus than those of H. Aphyllum, it was the bioaccumulation rate of Co that was greater in H. Aphyllum compared to the S. Rosmarinus.

In this regard, the average amount of Ni, Co, As, Cr, and V in H. Aphyllum were found to be 469.19, 172.74, 9.51, 21.59, and 23.07 mg/kg in the intended intervals, respectively. Moreover, the average transfer rates of such heavy metals in the species were reported as 1.09, 1.21, 1.08, 1.21, and 1.02, respectively, and the average bioaccumulation rate of metals was found to be 0.53, 0.26, 0.66, 0.50, and 0.30 mg/kg, respectively.

On the other hand, the study found that the average amount of Ni, Co, As, Cr, and Vanadium in S. Rosmarinus was 479.31, 169.34, 9.42, 21.18, and 30.85 mg/kg, respectively. Furthermore, the average rates of the transfer factor in the species were 1.20, 1.05, 1.01, 1.05, and 1.05, respectively, and the average rates of bioaccumulation were reported as 0.55, 0.24, 0.68, 0.54, and 0.39 mg/kg, respectively.

The results of the study also indicated a significant difference between the aerial and underground tissues of the intended species in terms of vanadium accumulation at a 1% significance level. Moreover, the transfer and bioaccumulation rates of Ni, Co, As, Cr, and V were greater and less than 1 in S. Rosmarinus and H. Aphyllum, respectively, indicating that the species had transferred metals to their aerial tissues. Therefore, as S. Rosmarinus and H. Aphyllum have low biochemical rates, they are appropriate for phytoextraction purposes in the phytoremediation process.

**Conclusion:** According to the results of the current study, S. Rosmarinus and H. Aphyllum are highly applicable for the extraction of Ni, Co, As, Cr, and V in the phytoremediation of the study area. On the other hand, as the intended species are indigenous to the study area, they can be planted in the area for clearance purposes. Moreover, after removing the aerial parts of S. Rosmarinus and H. Aphyllum for the preservation and clearance of the ecosystem, their remaining parts could be collected and burned under controlled conditions, using their ashes (as biological ore) for the re-extraction of metals or other economic purposes.

Therefore, the species are recommended for clearing the study area and similar areas of heavy metals. However, to conduct more comprehensive studies on the potential phytoremediation applicability of S. Rosmarinus and H. Aphyllum, it is necessary to examine the species grown in pots in terms of field studies so that they can be used as a suitable model for phytoextraction and the revival of the lands contaminated with heavy metals.

**Keywords:** Bioaccumulation Factor, Heavy metals, Native species, Phytoextraction, Transfer Factor.