

## بررسی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده اراضی محدوده کارخانه ید استان گلستان به فلزات سنگین با استفاده از گونه دیوخار (*Lycium depressum Stocks*)

محسن حسینی‌زاده<sup>۱</sup>، حسن یگانه<sup>۲\*</sup>، خدیجه خرمن‌دار<sup>۳</sup>، امیر سعادت‌فر<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶

### چکیده

کارخانه‌ها پس از بهره‌برداری، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان یکی از منابع اصلی آلودگی ناشی از فرسایش خاک و تجمع فلزات سنگین در گیاهان هستند که منجر به اثرات زیست‌محیطی متعددی می‌شوند. هدف از پژوهش حاضر بررسی غلظت آرسنیک، نیکل، کروم، کبالت و وانادیم بر روی اندام‌های هوایی و ریشه دیوخار *Lycium depressum Stocks* به‌منظور ارزیابی پتانسیل گیاه‌پالایی، تعیین شکل، اندازه و ترکیب مواد سنتز شده با استفاده از میکروسکوپ‌های FESEM و EDX بود. بدین منظور نمونه‌برداری از گونه دیوخار در ۵ فاصله ( $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5$ ) از کارخانه ید و به ترتیب در فواصل ۱۳/۹۷، ۱۲/۷۵، ۱۴/۴۲، ۱۲/۵۲ و ۱۵/۱۴ کیلومتر به صورت تصادفی انجام شد و با استفاده از تهیه برش عرضی از ساقه و ریشه نمونه‌ها، تعیین شکل، اندازه و ترکیب مواد سنتز شده با استفاده از دو میکروسکوپ FESEM و EDX بررسی و در مرحله دوم غلظت فلزات هدف توسط دستگاه جذب اتمی در اندام‌های هوایی و ریشه نمونه‌ها قرائت و فاکتور انتقال و تجمع آن‌ها نیز محاسبه شدند. نتایج نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک، نیکل، کروم، کبالت و وانادیم در نمونه‌های دیوخار برای هر پنج فاصله به ترتیب برابر با ۳۰/۸۳، ۶۷۵/۷۸، ۱۱/۳۵، ۲۴۶/۷۲ و ۵۵/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همچنین، در میان این فلزات، بیشترین غلظت به نیکل و کمترین غلظت به آرسنیک اختصاص دارد؛ و سایر فلزات به ترتیب شامل کبالت، وانادیم و کروم هستند. غلظت فلزات در نمونه‌های  $W_2$  و  $W_4$  و  $W_5$  در ریشه بالاتر از اندام‌های هوایی بود، اما در دو نمونه دیگر در ساقه بیشتر از ریشه آن‌هاست. همچنین، میانگین فاکتور انتقال آرسنیک، نیکل، کروم، کبالت و وانادیم در فواصل  $W_1$  و  $W_3$  بزرگ‌تر از یک و به ترتیب ۱/۱۲، ۱/۲۷، ۱/۲۵، ۱/۲۵ و ۱/۱۲ بود. این فاکتور در فاصله  $W_2$  نزدیک به یک بوده و دو فاصله دیگر کوچک‌تر از یک بود. میانگین فاکتور تجمع آرسنیک، نیکل، کروم، کبالت و وانادیم برای هر پنج فاصله کوچک‌تر از یک و به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۴۸، ۰/۴۵، ۰/۴۶ و ۰/۴۴ به دست آمد. طبق نتایج این پژوهش مشخص شد که غلظت فلزات در گیاهان به عوامل متعددی از جمله نوع گونه، اندام‌های گیاه، ویژگی‌های متقابل فلزات و سمیت آن‌ها بستگی دارد. گونه بومی دیوخار در مناطق نزدیک به کارخانه ید استان گلستان توانایی بالایی در تجمع فلز نیکل از خود نشان داد، به طوری که غلظت نیکل در فواصل مختلف از ۵۷۷/۷ تا ۹۴۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود.

**کلیدواژه‌ها:** فاکتور انتقال، فاکتور تجمع، میکروسکوپ FESEM و EDX، نیکل.

۱. دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، yeganeh@gau.ac.ir

۳. فارغ التحصیل دکتری مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴. دانشیار دانشگاه شهید باهنر کرمان

• این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است.

## مقدمه

احیای اراضی تخریب شده استفاده کرد. از طرفی فناوری‌های فیزیکی و شیمیایی ویژگی‌های خاک را به‌طور غیرقابل برگشت تغییر داده، در صورتی که روش گیاه‌پالایی<sup>۴</sup> کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی این اراضی را بهبود می‌بخشد و از طرفی دیگر این فناوری از گونه‌های گیاهی زنده برای پاک‌سازی خاک، آب و هوای آلوده به آلاینده‌های خطرناک از جمله فلزات سنگین کاربرد دارد (پکو و همکاران، ۲۰۲۱). بعضی از گیاهان پتانسیل رشد در مکان‌های حاوی فلزات در مقادیر بالا را دارند و از این منظر برای پاک‌سازی خاک‌ها استفاده می‌شوند. این گونه‌های گیاهی عموماً در خاک‌های دارای فلزات، سه عکس‌العمل از خود نشان می‌دهند: در دسته اول گیاهان اجتناب‌کننده<sup>۵</sup> که حتی در غلظت‌های بالای فلزات در خاک، غلظت فلزات در اندام‌های هوایی کم است؛ در دسته دوم گیاهان شاخص<sup>۶</sup> که در آن‌ها غلظت فلزات در اندام‌های گیاه با غلظت آن در خاک یکسان است و دسته سوم گونه‌های انباشتگر<sup>۷</sup>، که در آن غلظت فلزات در اندام‌های هوایی بالاتر از خاک است (وایت و پانگراک، ۲۰۱۷). رایج‌ترین روش‌ها در گیاه‌پالایی برای حذف فلزات سنگین از خاک شامل استخراج گیاهی<sup>۸</sup> و تثبیت گیاهی<sup>۹</sup> هستند. در استخراج گیاهی، ریشه‌های گیاهان فلزات از خاک جذب کرده و به اندام‌های هوایی منتقل می‌کنند. پس از تجمع فلزات در گیاهان، قسمت‌های هوایی آن‌ها برداشت و از محل خارج می‌شود. برای موفقیت در این روش، عواملی نظیر زیست‌فراهمی فلزات، مناسب بودن توپوگرافی زمین و امکان استفاده از تجهیزات کشاورزی باید در نظر گرفته شوند (کریستیلدا<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین در انتخاب گونه‌های گیاهی برای گیاه‌پالایی، ویژگی‌هایی از جمله توانایی جذب و تجمع مقادیر زیاد فلزات سنگین در بخش‌های هوایی، مقاومت به فلزات سنگین، تولید زیست‌توده بالا، سیستم ریشه‌ای متراکم و تحمل تنش‌های خاک اهمیت دارد. این ویژگی‌ها باعث می‌شوند که گیاهان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بهتر

آلودگی خاک به فلزات سنگین یک موضوع جهانی است که به‌طور قابل توجهی بر اکوسیستم و سلامت انسان تأثیر می‌گذارد. این فلزات به دلیل ماهیت غیرقابل تجزیه زیستی و پتانسیل تجمع زیستی، خطرات جدی را به همراه دارند زیرا می‌توانند وارد زنجیره غذایی شوند و منجر به اثرات نامطلوب سلامتی شوند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۴؛ ایوبر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۴). این فلزات عموماً به دو دسته ضروری و غیرضروری تقسیم‌بندی می‌شوند. دسته ضروری شامل فلزات، نیکل، آهن، مس و روی که در عملکردهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مورد نیازند و در غلظت‌های بالا اثرات سمی بر محیط دارند و دسته غیرضروری و سمی شامل فلزات، آرسنیک، کروم، جیوه، کادمیم، سرب و آنتیموان هستند (پکو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). شایان ذکر است که فلزات سنگین به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند، اما فعالیت‌های انسانی از قبیل کارخانه‌ها، معادن و صنایع منجر به افزایش آن‌ها می‌گردد. بین این فعالیت‌ها، معادن و کارخانه‌ها به‌عنوان یکی از تأثیرگذارترین فعالیت‌های انسانی شناخته می‌شوند که منجر به تغییر چشم‌انداز، نابودی زیستگاه، آلودگی خاک و آب و تخریب اراضی می‌شوند (وان<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۴). پاک‌سازی خاک‌های آلوده به فلزات به‌عنوان موضوعی مهم، مورد توجه بسیاری از محققان بوده است که علت این امر پراکندگی این آلودگی‌ها به مناطق بزرگ‌تر و بروز مشکلات خاص است. بیشتر فناوری‌های مهندسی برای ضدعفونی کردن خاک به‌صورت روش‌های حفاری خاک است که این روش‌ها اصولاً گران‌قیمت، تهاجمی و تهدیدی برای تعادل میکروبی و تغذیه‌ای خاک هستند و از طرفی دیگر فلزات به‌طور نامحدود در محیط خاک باقی می‌مانند و دسترس بودن آن‌ها برای موجودات زنده به‌طور قابل توجهی تغییر می‌کند. بنابراین حفاظت و احیای زیست‌بوم‌های خاک نیاز به شناسایی و اصلاح اراضی آلوده به فلزات سنگین را دارد (لطفی و مصطفی، ۲۰۱۴). در این راستا می‌توان از فناوری‌های گیاهی که روشی سازگار با محیط‌زیست و مقرون‌به‌صرفه است، برای

4. Phytoremediation  
5. Excluder  
6. Indicator  
7. Accumulator  
8. White and Pongrac  
9. Phytoextraction  
10. Phytostabilization  
11. Cristaldi

1. Ewubare  
2. Peco  
3. Wan

اطراف معدن بوکسیت جاجریم به این نتیجه رسیدند که گونهٔ درمنه دشتی به‌ترتیب با فاکتور انتقال و تجمع زیستی بزرگ‌تر و کوچک‌تر از یک دارای پتانسیل استخراج گیاهی و گونهٔ قیچ با فاکتور انتقال و تجمع زیستی کوچک‌تر از یک دارای پتانسیل تثبیت گیاهی فلزات مذکور هستند. عزیزا<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی غلظت سرب و کروم در گونهٔ حرا<sup>۹</sup> رشدیافته در اطراف معدن بوکسیت در اندونزی دریافتند که غلظت سرب در این گونه بیش از کروم بود، اما اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد و این فلزات از طریق ریشه جذب و به اندام‌های هوایی منتقل شدند. فاکتور انتقال در فلزات سرب و کروم به‌ترتیب کوچک‌تر و بزرگ‌تر از یک ارزیابی شدند که نشان‌دهندهٔ توانایی این گونه در استخراج و تثبیت گیاهی فلزات کروم و سرب است. ساسان و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی فلزات سرب و کادمیم در گونهٔ گز<sup>۱۰</sup> دریافتند که این گونه توانایی تجمع این فلزات را دارد و غلظت سرب بیشتر از کادمیم گزارش شد. پاراگا-آگودو<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی غلظت چند فلز در اندام‌های هوایی گونهٔ گز<sup>۱۲</sup> در اطراف معادن مناطق نیمه‌خشک اسپانیا دریافتند که غلظت آرسنیک در اندام‌های هوایی این گونه بیشتر از نیکل است. وانگ و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی غلظت فلزات مس، روی، کادمیم و روی در خاک‌های ریزوسفر گونهٔ پالونیا<sup>۱۳</sup> در اطراف کارخانهٔ ذوب سرب و روی در کشور چین اشاره کردند که مقادیر فلزات سنگین در ریشه‌ها به‌صورت قابل توجهی با مقدار کل فلزات در خاک دارای همبستگی هستند. ابرو<sup>۱۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر معدن مس بر روی خاک و گونه‌های زیتون<sup>۱۵</sup> بلوط<sup>۱۶</sup> و زردآلو<sup>۱۷</sup> در کشور پرتغال نشان دادند که خاک مورد بررسی آلوده به مس و نیکل بوده اما غلظت منگنز و روی بالا نبود. مقدار فلزات مس، روی و منگنز در گونه‌های مورد بررسی

رشد کنند و فلزات را به‌طور مؤثر جذب و از محیط خارج کنند (یان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). تثبیت گیاهی به‌عنوان یک فناوری اصلاحی مؤثر، به‌منظور تثبیت فلزات سنگین در خاک به کار می‌رود. این روش با کاهش انتقال فلزات به اندام‌های هوایی گیاهان، مانع از جابه‌جایی این آلاینده‌ها از طریق فرسایش آبی و بادی شده و همچنین از نفوذ عمودی آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی جلوگیری می‌کند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که استفاده از گونه‌های گیاهی مقاوم در برابر فلزات سنگین، نه تنها به حفظ سلامت محیط‌زیست کمک می‌کند، بلکه پایداری خاک را نیز افزایش می‌دهد (شارما<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). گونه‌ها در تثبیت گیاهی باید توانایی ضعیفی در انتقال فلزات مذکور به اندام‌های هوایی، قابلیت استقرار و نگهداری راحت، سرعت رشد بالا، تاج‌پوشش مناسب و سیستم ریشه‌ای متراکم، متحمل به آلاینده‌های فلزی و شرایط مکانی را که در آن رشد می‌کند، داشته باشند و باید به مکان‌هایی که از رشد گیاه ممانعت کرده، منجر به انتقال بقایای گیاه به محل آلوده شده، مشکلات بیماری و یا حشرات که منجر به کاهش طول عمر گیاهان می‌شوند نیز توجه کافی کرد (مورتازا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). در این راستا، مطالعاتی بر روی پتانسیل گیاه‌پالایی برخی گونه‌های درختی در اطراف مراکز صنعتی و معدنی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

خرمن‌دار و همکاران (۲۰۲۳a) در پژوهشی به بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی فلزات نیکل، کبالت، کروم، آرسنیک و وانادیوم در دو گونهٔ اشنان<sup>۴</sup> و سیاه‌تاغ<sup>۵</sup> در اطراف معدن بوکسیت بوکسیت جاجریم پرداختند و دریافتند که فقط در بین غلظت وانادیوم در دو گونه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و فاکتور انتقال و تجمع زیستی عناصر مذکور در هر دو گونه به‌ترتیب بزرگ‌تر و کوچک‌تر از یک بودند و دو گونه به‌عنوان گونه‌های استخراج‌کنندهٔ گیاهی فلزات هدف پیشنهاد شدند. خرمن‌دار و همکاران (۲۰۲۳b) در بررسی غلظت نیکل، کبالت، کروم، آرسنیک و وانادیوم در دو گونهٔ درمنه دشتی<sup>۶</sup> و قیچ<sup>۷</sup> در اطراف

7. *Zygophyllum atriplicoides* (Fisch. & C.A.Mey)  
 8. Azizah  
 9. *Avicennia marina* (Forssk. Vierh)  
 10. *Tamarix* (L.)  
 11. Aguado  
 12. *Tamarix canariensis* (Willd)  
 13. *Paulownia fortunei* (Seem. Hemsl.)  
 14. Abreu  
 15. *Olea europaea* (L. spp. europaea)  
 16. *Quercus ilex* (L.)  
 17. *Prunus domestica* (L.)

1. Yan  
 2. Sharma  
 3. Murtaza  
 4. *Seidlitzia rosmarinus* (Bunge ex Boiss)  
 5. *Haloxylon aphyllum* ((C.A.Mey.) Bunge)  
 6. *Artemisia sieberi* (Besser)

نیکل، کبالت، کروم و وانادیم، ساقه و ریشه نمونه‌ها جدا و برای حذف هر نوع آلودگی خارجی همچون گردوغبار چسبیده به گونه‌ها که احتمال ایجاد خطا در ارزیابی فلزات را داشتند، پاک‌سازی و با آب مقطر شست‌وشو و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آن قرار داده شدند. بعد از خشک شدن آن‌ها، نمونه‌های گیاهی با آسیاب نانو به تفکیک اندام‌های هوایی و ریشه پودر و در داخل پاکت قرار داده و کدگذاری شدند. سپس ۰/۱ گرم از هر نمونه اندام‌های هوایی و ریشه گونه‌های مذکور با اسیدهای نیتریک، سولفوریک و پرکلریدریک به نسبت ۸:۲:۱ هضم و غلظت فلزات توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شدند (خرمن‌دار و همکاران، ۲۰۲۳a) (شکل ۴). نمونه‌های خاک در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آن خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و سپس برای تعیین غلظت فلزات هدف عصاره آن‌ها تهیه شد که نتایج در جدول (۱۳) ارائه شده است. برای ارزیابی توانمندی گیاهان و معرفی آن‌ها برای آلودگی، بایستی بعد از مشخص کردن مقدار فلزات سنگین قابل استخراج در نمونه‌های گیاهی و خاک، شاخص‌های TF<sup>۳</sup> (فاکتور انتقال؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت فلز در ریشه)، BCF<sup>۴</sup> (فاکتور تجمع بیولوژیکی؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های گیاه به غلظت فلز در خاک) را اندازه‌گیری کرد و براساس این شاخص‌ها گونه مناسب برای پالایش خاک‌های آلوده معرفی شود؛ چراکه پتانسیل گیاه‌پالایی یک گونه با استفاده از فاکتور انتقال و فاکتور تجمع بیولوژیکی محاسبه می‌شود. اگر TF بزرگ‌تر از یک باشند، گیاه مورد نظر برای استخراج گیاهی آلاینده‌ها مناسب است. گیاهانی که در آن‌ها TF کمتر از یک و مقدار BCF بیشتر از یک باشد برای فرایند گیاه تثبیتی مناسب‌اند (جهانتاب و همکاران، ۲۰۱۶). در نهایت فاکتور انتقال و فاکتور تجمع زیستی که مشخص‌کننده توانایی گیاهان مذکور برای غلظت فلزات هدف در اندام‌های مختلف آن‌هاست، به‌منظور تخمین پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌ها ارزیابی شدند (زاکچینی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

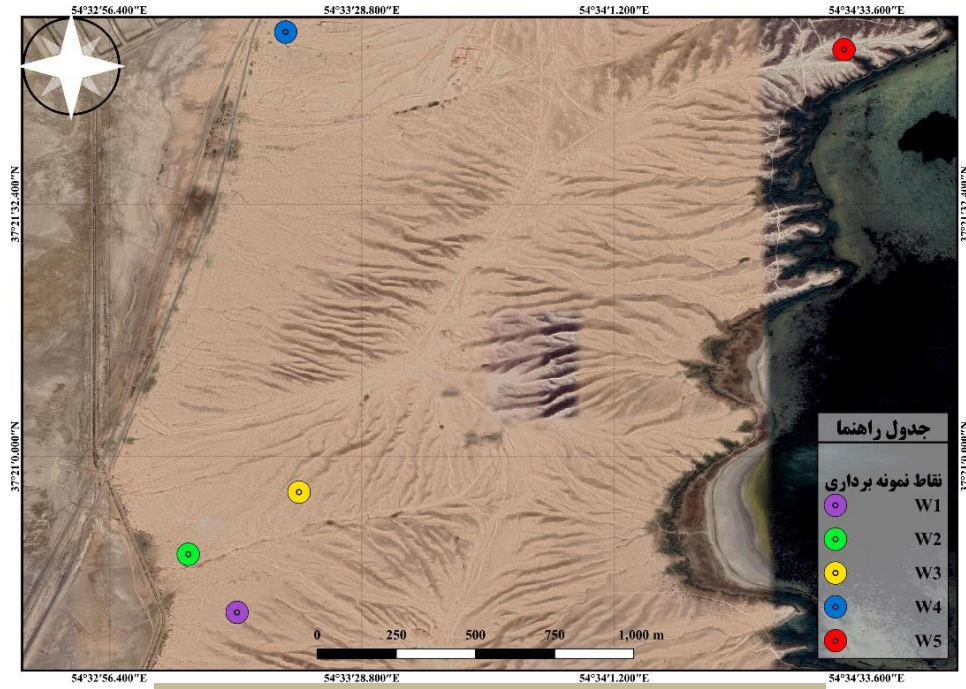
در محدوده نرمال قرار داشتند. گونه بلوط قادر به تجمع منگنز و تا حدودی نیکل بود. همچنین نتایج نشان داد که پراکندگی عناصر کمیاب به فاصله ۱۵۰۰ کیلومتر از محل باطله‌ها در جهت جنوب غربی معدن محدود شده بود. هدف از پژوهش حاضر بررسی غلظت آرسنیک، نیکل، کروم، کبالت و وانادیم ناشی از فعالیت کارخانه ید گلستان بر روی اندام‌های هوایی و ریشه دیوخار *Lycium depressum* (Stocks) به‌منظور بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی این گونه در اراضی آلوده به فلزات مذکور و تعیین شکل، اندازه و ترکیب مواد سنتز شده با استفاده از میکروسکوپ‌های FESEM و EDX است. شایان ذکر است که علت انتخاب گونه درختی مذکور بومی، غالب در منطقه و به‌دنبال آن بالا بودن شانس استقرار در منطقه مورد مطالعه است.

### مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی پتانسیل دیوخار *Lycium depressum* Stocks برای گیاه‌پالایی از فواصل مختلف از کارخانه ید استان گلستان نمونه‌برداری انجام شد. کارخانه ید استان گلستان، در ۲۷ کیلومتری شمال آق‌فلا و در نزدیکی مرز اینچه برون با مختصات جغرافیایی  $33^{\circ}22'41''$  شمالی و  $22^{\circ}86'27''$  شرقی قرار دارد. نمونه‌برداری گونه مذکور با توجه به بازدید از منطقه در ۵ فاصله  $(W_1, W_2, W_3, W_4, W_5)$  از کارخانه ید به‌صورت تصادفی انجام شد. شایان ذکر است که فواصل ۵ نقطه از کارخانه ید به‌ترتیب ۱۲/۵۲، ۱۴/۴۲، ۱۲/۷۵، ۱۳/۹۷ و ۱۵/۱۴ کیلومتر از کارخانه نمونه‌برداری شدند. تصویری از نقاط نمونه‌برداری نمونه‌های دیوخار بر روی گوگل ارث در شکل (۱) ارائه شده است (شکل ۱). شایان ذکر است فواصل انتخابی از لحاظ شیب، بارندگی، ارتفاع و جهت تقریباً مشابه بودند و ۵ نمونه انتخابی نمونه‌های دیوخار به‌صورت کامل از خاک خارج و به‌همراه خاک آن‌ها در داخل پاکت‌های نمونه‌برداری قرار داده شدند و سپس به آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انتقال یافتند (شکل ۲). در مرحله دوم با تهیه برش عرضی ساقه و ریشه نمونه‌های مذکور جهت تعیین شکل، اندازه و ترکیب مواد سنتز شده با استفاده از دو میکروسکوپ<sup>۱</sup> FESEM و EDX<sup>۲</sup> بررسی شدند (شکل ۳). برای تعیین غلظت فلزات، آرسنیک،

3. Translocation Factor  
4. Bio Concentration Factor  
5. Zacchini

1. Field Emission Scanning Electron Microscope  
2. Energy Dispersive X-ray spectroscopy



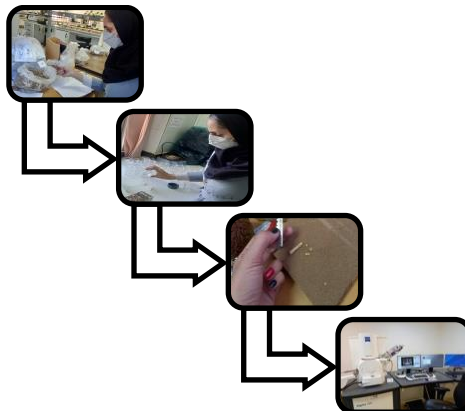
شکل (۱): موقعیت نقاط نمونه‌برداری شدهٔ نمونه‌های دیوخر بر روی گوگل ارث

Figure (1): Location of the sampled points of *L. depressum* samples on Google Earth



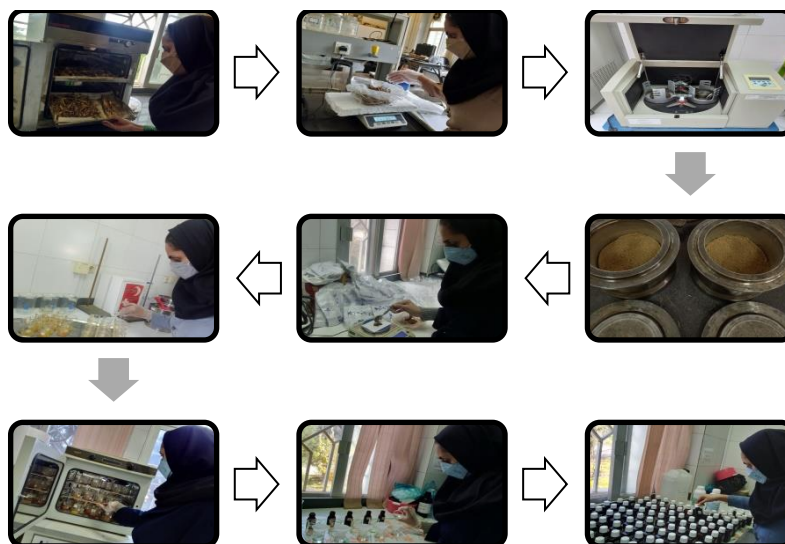
شکل (۲): تعیین مختصات جغرافیایی و خروج نمونه‌ها (مهر ۱۴۰۱)

Figure (2): Determining the geographic coordinates and sample exit (October 2022)



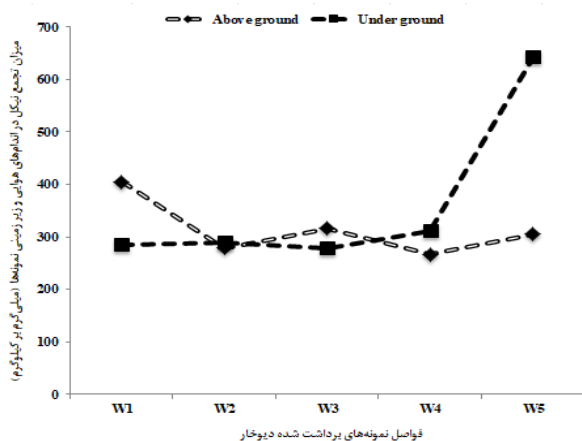
شکل (۳): آماده‌سازی نمونه‌ها برای FESEM\_EDX (آذر ۱۴۰۱)

Figure (3): Preparation of samples for FESEM\_EDX (November 2022)



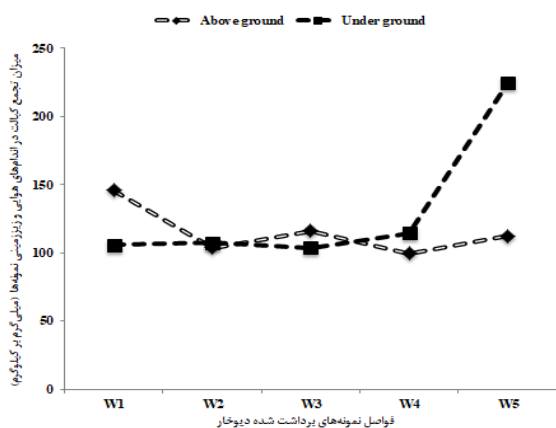
شکل (۴): آماده‌سازی نمونه‌ها برای تعیین فلزات هدف (دی ۱۴۰۱)

Figure (4): Preparation of samples to determine the target metals (December 2022)



شکل (۶): غلظت نیکل در اندام‌های هوایی و ریشه دیوچار

Figure (6): Nickel concentration in root & shoot organs of *L. depressum*



شکل (۷): غلظت کبالت در اندام‌های هوایی و ریشه دیوچار

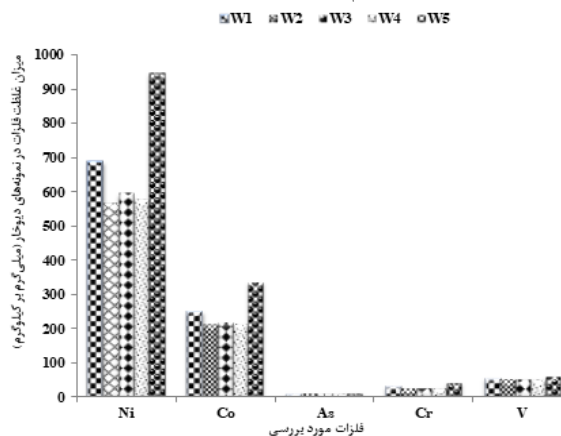
Figure (7): Cobalt concentration in root & shoot organs of *L. depressum*

## نتایج و بحث

### غلظت فلزات هدف در اندام‌های هوایی و ریشه

#### *L. depressum*

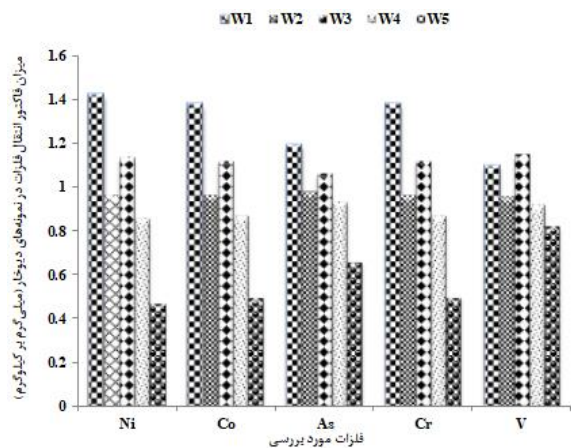
نتایج حاصل از غلظت آرسنیک، نیکل، کبالت، کروم و وانادیم در ۵ نمونه دیوچار نشان داد که بالاترین غلظت آرسنیک، نیکل، کبالت، کروم و وانادیم به ترتیب در  $W_5 > W_1 > W_3 > W_4 > W_2$ ، بالاترین غلظت این فلزات در اندام‌های هوایی نمونه‌های دیوچار به ترتیب در فواصل  $W_1 > W_3 > W_5 > W_2 > W_4$  و بالاترین غلظت این فلزات در ریشه ۵ نمونه دیوچار نیز به ترتیب در فواصل  $W_5 > W_4 > W_2 > W_1 > W_3$  تعیین شدند (شکل ۵ تا ۱۰). بنابراین نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت فلزات در تمام نمونه‌ها شامل نیکل و آرسنیک است و غلظت فلزات در فواصل  $W_3$  و  $W_1$  در اندام‌های هوایی بیشتر از ریشه بودند.



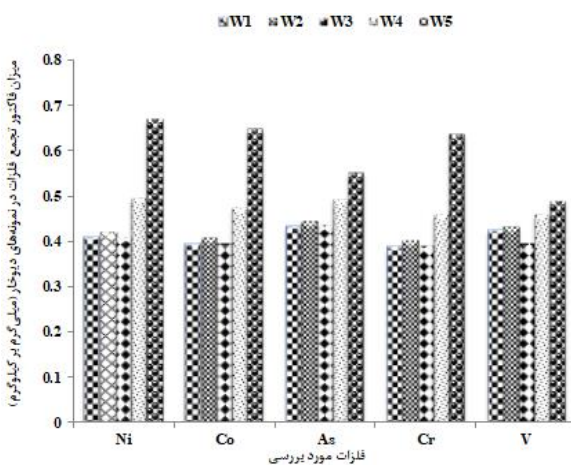
شکل (۵): غلظت فلزات هدف در نمونه‌های دیوچار

Figure (5): Concentration of target metals in *L. depressum* samples

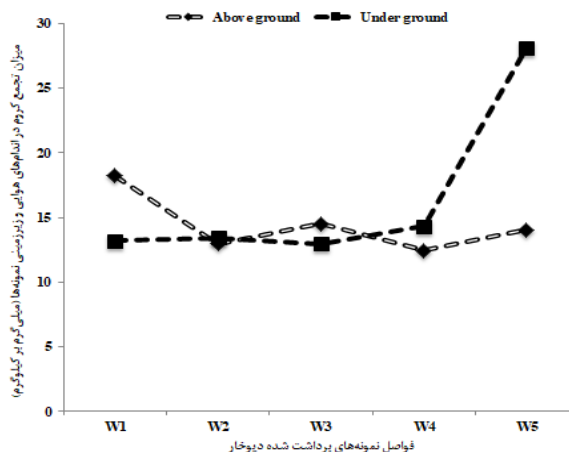
فاکتور انتقال نیکل، کبالت، آرسنیک و کروم به ترتیب در فواصل  $W_5 > W_4 > W_2 > W_3 > W_1$  و بالاترین فاکتور انتقال وانادیم به ترتیب در فواصل  $W_5 > W_4 > W_2 > W_1 > W_3$  تعیین شد (شکل ۱۱). بنابراین نتایج نشان داد که فاکتور انتقال در فواصل  $W_1$  و  $W_3$  برای تمام فلزات مورد بررسی بزرگ‌تر از یک بودند. نتایج حاصل از فاکتور تجمع فلزات آرسنیک، نیکل، کبالت، کروم و وانادیم در ۵ نمونهٔ دیوچار نشان داد که بالاترین فاکتور تجمع نیکل، کبالت، آرسنیک و کروم به ترتیب در فواصل  $W_5 > W_4 > W_2 > W_3 > W_1$  و بالاترین فاکتور تجمع وانادیم به ترتیب در فواصل  $W_5 > W_4 > W_2 > W_1 > W_3$  تعیین شد (شکل ۱۲). بنابراین نتایج نشان داد که فاکتور تجمع در تمام فواصل  $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5$  برای تمام فلزات مورد بررسی کوچک‌تر از یک بودند.



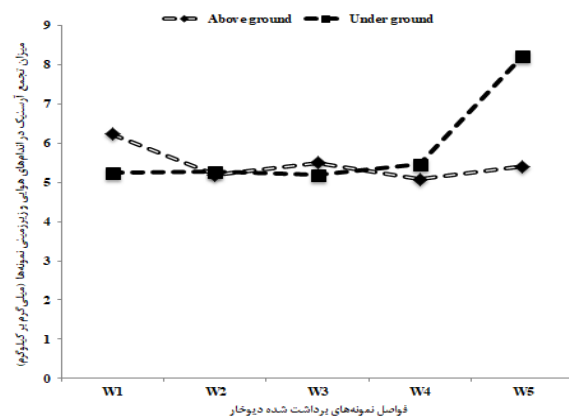
شکل (۱۱): فاکتور انتقال فلزات هدف در نمونه‌های دیوچار  
Figure (11): Transfer factor of target metals in *L. depressum* samples



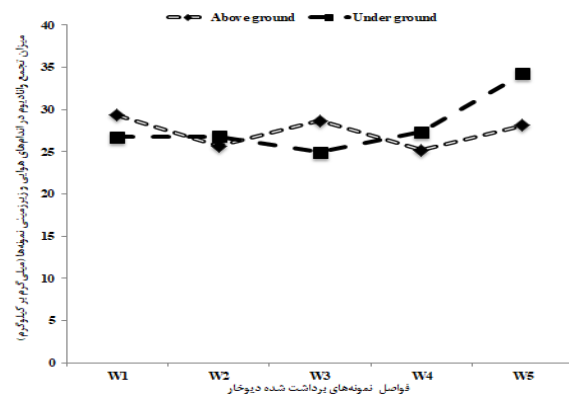
شکل (۱۲): فاکتور تجمع فلزات هدف در نمونه‌های دیوچار  
Figure (12): Accumulation factor of target metals in *L. depressum* samples



شکل (۸): غلظت کروم در اندام‌های هوایی و ریشهٔ دیوچار  
Figure (8): Chrome concentration in root & shoot organs of *L. depressum*



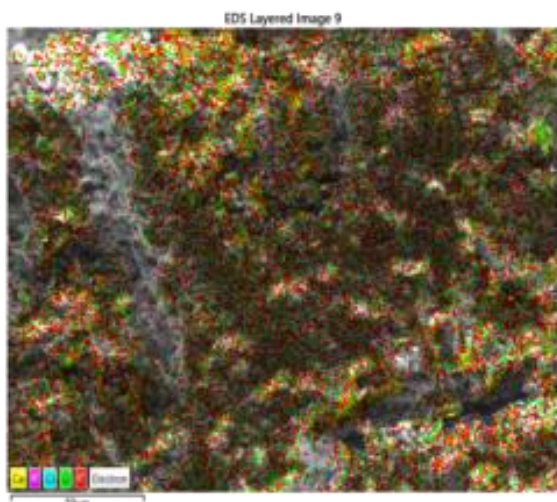
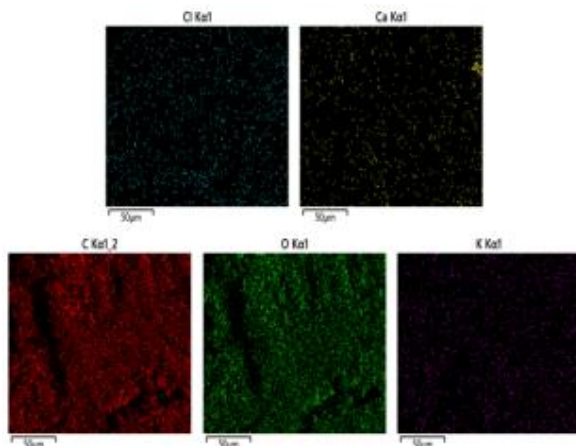
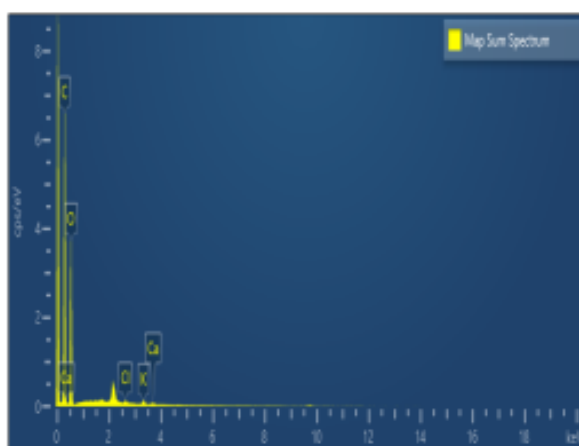
شکل (۹): غلظت آرسنیک در اندام‌های هوایی و ریشهٔ دیوچار  
Figure (9): Arsenic concentration root & shoot organs of *L. depressum*



شکل (۱۰): غلظت وانادیم در اندام‌های هوایی و ریشهٔ دیوچار  
Figure (10): Vanadium concentration in root & shoot organs of *L. depressum*

فاکتور انتقال و تجمع فلزات هدف در نمونه‌های دیوچار

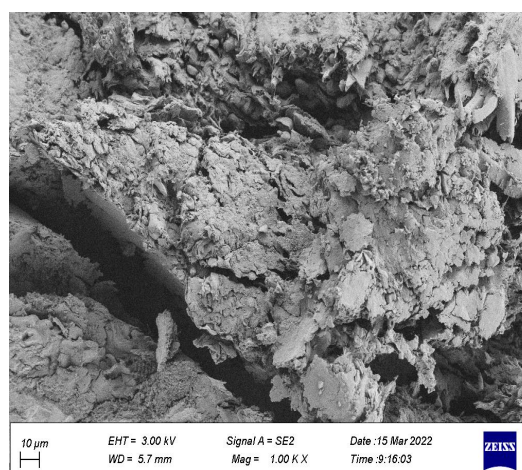
نتایج حاصل از فاکتور انتقال فلزات آرسنیک، نیکل، کبالت، کروم و وانادیم در ۵ نمونهٔ دیوچار نشان داد که بالاترین

شکل (۱۴): خروجی EDX در ساقه W<sub>1</sub> دیوچارFigure (14): EDX output of W<sub>1</sub> L. depressum stemشکل (۱۵): خروجی EDX در ساقه W<sub>1</sub> دیوچارFigure (15): EDX output of W<sub>1</sub> L. depressum stemشکل (۱۶): خروجی EDX در ساقه W<sub>1</sub> دیوچارFigure (16): EDX output of W<sub>1</sub> L. depressum stem

تعیین شکل، اندازه و ترکیب مواد سنتز شده با

### استفاده از FESEM\_EDX

برش عرضی ساقه نمونه W<sub>1</sub> دیوچار با استفاده از میکروسکوپ FESEM با ولتاژ (EHT) ۳۰۰ کیلووات، فاصله گان<sup>۱</sup> تا سطح نمونه (WD) ۵/۷ میلی‌متر، بزرگنمایی (Mag) ۱۰۰ و مقیاس ۲۰ میکرومتر آنالیز و با میکروسکوپ EDX عناصر موجود در ساقه W<sub>1</sub> شامل، کلسیم، کلر، پتاسیم، اکسیژن و کربن شناسایی شدند (شکل ۱۳ تا ۱۶ و جدول ۱). برش عرضی ریشه نمونه W<sub>1</sub> دیوچار با استفاده از میکروسکوپ FESEM با ولتاژ ۳۰۰ کیلووات، فاصله گان تا سطح نمونه ۶/۲ میلی‌متر، بزرگنمایی ۱۰۰۰ و مقیاس ۲ میکرومتر، آنالیز و با میکروسکوپ EDX عناصر موجود در ریشه W<sub>1</sub> شامل، کلسیم، کلر، پتاسیم، سیلیس، فسفر، گوگرد، اکسیژن و کربن شناسایی شدند (شکل ۱۷ تا ۲۰ و جدول ۲). بنابراین نتایج حاصل از تعیین شکل، اندازه و ترکیب مواد سنتز شده در نمونه W<sub>1</sub> در ساقه و ریشه نشان داد که بیشترین درصد وزنی و اتمی عناصر موجود در ساقه W<sub>1</sub> به ترتیب شامل، کربن، اکسیژن، پتاسیم، کلسیم و کلر تعیین شد. اما بیشترین درصد وزنی و اتمی عناصر موجود در ریشه W<sub>1</sub> به ترتیب شامل، کربن، اکسیژن، کلسیم، کلر، پتاسیم، فسفر، گوگرد و سیلیس مشخص شد. بنابراین نتایج نشان داد که ریشه W<sub>1</sub> گونه دیوچار قادر به تجمع عناصر، فسفر، گوگرد و سیلیس در خود بود که این عناصر در ساقه مشاهده نشد.

شکل (۱۳): خروجی FESEM در ساقه W<sub>1</sub> دیوچارFigure (13): FESEM output of W<sub>1</sub> L. depressum stem

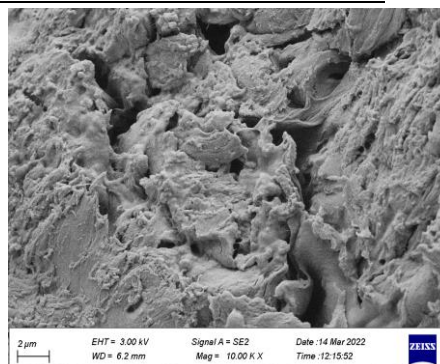
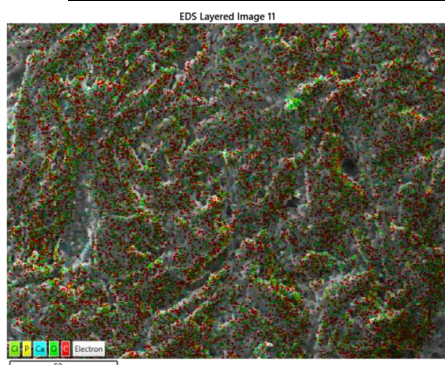
۱. فاصله لوله تفنگ میکروسکوپ با سطح نمونه



جدول (۱): خروجی EDX در ساقه W<sub>1</sub> دیوچار

Table (1): EDX output of W<sub>1</sub> L. depressum stem

نقشه مجموع طیف (Map Sum Spectrum)				
عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight% Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
کربن (C)	سری کا (K series)	59.05	0.39	66.00
اکسیژن (O)	سری کا (K series)	40.22	0.39	33.74
پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.38	0.04	0.13
کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	0.18	0.04	0.06
کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.17	0.03	0.07
مجموع (Total)		100.00		100.00

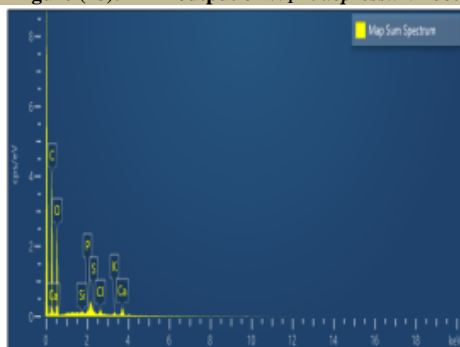


شکل (۱۸): خروجی EDX در ریشه W<sub>1</sub> دیوچار

Figure (18): EDX output of W<sub>1</sub> L. depressum root

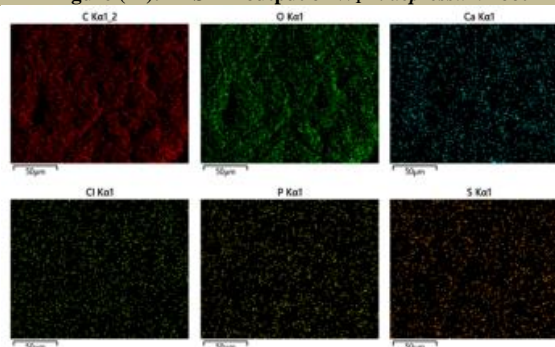
شکل (۱۷): خروجی FESEM در ریشه W<sub>1</sub> دیوچار

Figure (17): FESEM output of W<sub>1</sub> L. depressum root



شکل (۲۰): خروجی EDX در ریشه W<sub>1</sub> دیوچار

Figure (20): EDX output of W<sub>1</sub> L. depressum root



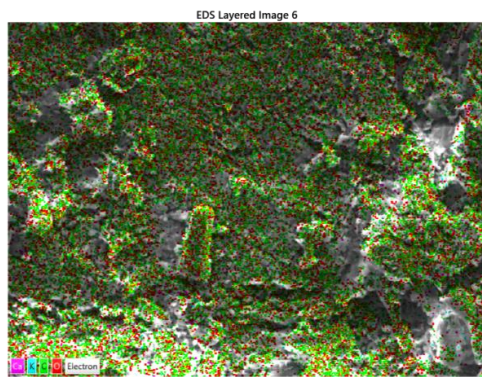
شکل (۱۹): خروجی EDX در ریشه W<sub>1</sub> دیوچار

Figure (19): EDX output of W<sub>1</sub> L. depressum root

جدول (۲): خروجی EDX در ریشه W<sub>1</sub> دیوچار

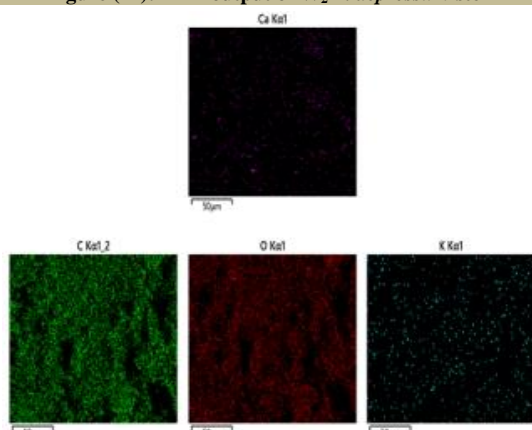
Table (2): EDX output of W<sub>1</sub> L. depressum root

نقشه مجموع طیف (Map Sum Spectrum)				
عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight% Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
کربن (C)	سری کا (K series)	57.85	0.49	65.64
اکسیژن (O)	سری کا (K series)	38.94	0.48	33.17
کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	1.44	0.07	0.49
کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.64	0.05	0.25
پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.42	0.05	0.15
فسفر (P)	سری کا (K series)	0.30	0.06	0.13
گوگرد (S)	سری کا (K series)	0.29	0.06	0.12
سیلیس (Si)	سری کا (K series)	0.12	0.03	0.06
مجموع (Total)		100.00		100.00



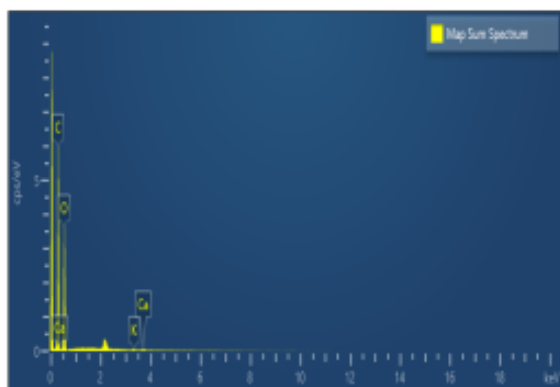
شکل (۲۲): خروجی EDX در ساقه W<sub>2</sub> دیوچار

Figure (22): EDX output of W<sub>2</sub> L. depressum stem



شکل (۲۳): خروجی EDX در ساقه W<sub>2</sub> دیوچار

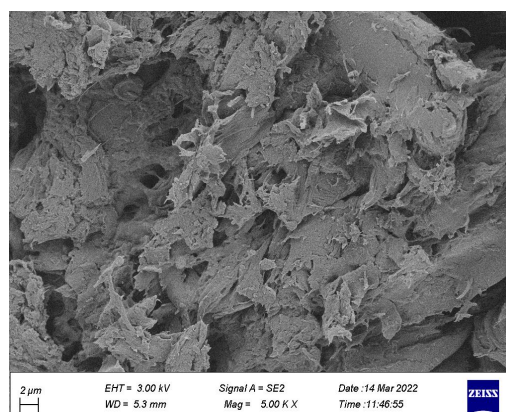
Figure (23): EDX output of W<sub>2</sub> L. depressum stem



شکل (۲۴): خروجی EDX در ساقه W<sub>2</sub> دیوچار

Figure (24): EDX output of W<sub>2</sub> L. depressum stem

برش عرضی ساقه W<sub>2</sub> با استفاده از میکروسکوپ FESEM با ولتاژ ۳۰۰ کیلووات، فاصله گان تا سطح نمونه ۵/۳ میلی متر، بزرگنمایی ۵۰۰ و مقیاس ۲ میکرومتر، آنالیز و با میکروسکوپ EDX عناصر موجود در ساقه W<sub>2</sub> شامل کلسیم، پتاسیم، اکسیژن و کربن شناسایی شدند (شکل ۲۱ تا ۲۴ و جدول ۳). برش عرضی ریشه W<sub>2</sub> با استفاده از میکروسکوپ FESEM با ولتاژ ۳۰۰ کیلووات، فاصله گان تا سطح نمونه ۵/۴ میلی متر، بزرگنمایی ۵۰۰ و مقیاس ۲۰ میکرومتر آنالیز و با میکروسکوپ EDX عناصر موجود در ریشه W<sub>2</sub> شامل کلسیم، کربن، پتاسیم، اکسیژن و کربن شناسایی شدند (شکل ۲۵ تا ۲۸ و جدول ۴). نتایج حاصل از تعیین شکل، اندازه و ترکیب مواد سنتز شده در W<sub>2</sub> در ساقه و ریشه نشان داد که بیشترین درصد وزنی و اتمی عناصر در ساقه W<sub>2</sub> به ترتیب شامل کربن، اکسیژن، کلسیم و پتاسیم و بیشترین درصد وزنی و اتمی عناصر موجود در ریشه W<sub>2</sub> به ترتیب شامل اکسیژن، کربن، کلسیم، پتاسیم و کربن تعیین شد. بنابراین ریشه W<sub>2</sub> برعکس ساقه قادر به تجمع عنصر کربن بود.



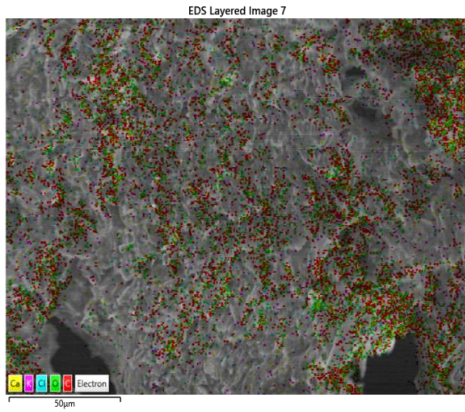
شکل (۲۱): خروجی FESEM در ساقه W<sub>2</sub> دیوچار

Figure (21): FESEM output of W<sub>2</sub> L. depressum stem

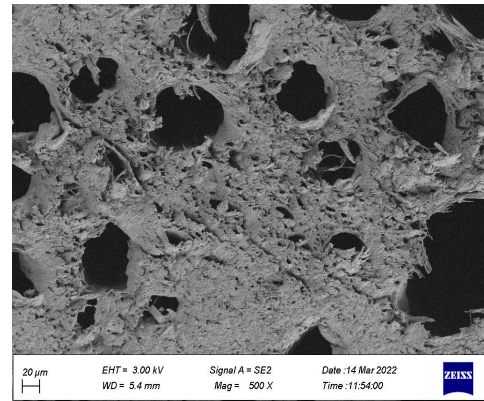
جدول (۳): خروجی EDX در ساقه W<sub>2</sub> دیوچار

Table (3): EDX output of W<sub>2</sub> L. depressum stem

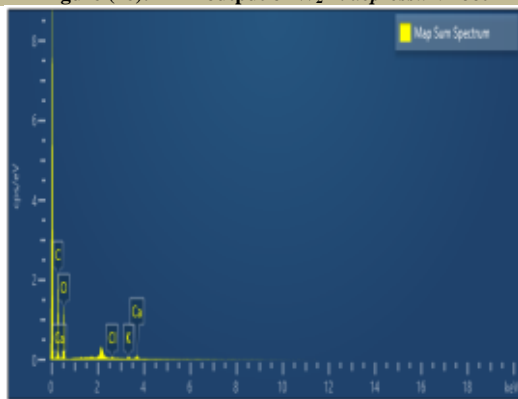
نقشه مجموع طیف (Map Sum Spectrum)				
عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight% Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
کربن (C)	سری کا (K series)	57.31	0.41	64.24
اکسیژن (O)	سری کا (K series)	42.38	0.41	35.66
کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	0.17	0.03	0.06
پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.14	0.03	0.05
(Total) مجموع		100.00		100.00



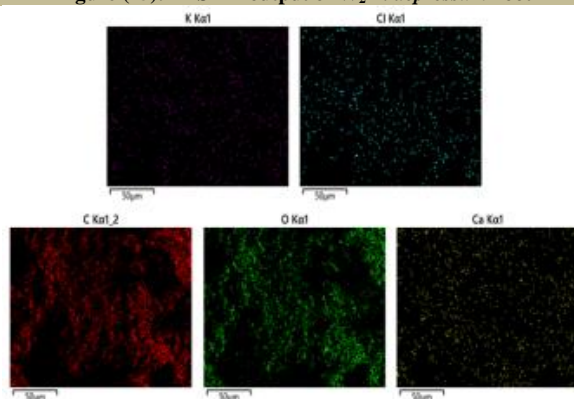
شکل (۲۶): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_2$  دیوچار  
**Figure (26): EDX output of  $W_2$  *L. depressum* root**



شکل (۲۵): خروجی FESEM در ریشهٔ  $W_2$  دیوچار  
**Figure (25): FESEM output of  $W_2$  *L. depressum* root**



شکل (۲۸): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_2$  دیوچار  
**Figure (28): EDX output of  $W_2$  *L. depressum* root**



شکل (۲۷): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_2$  دیوچار  
**Figure (27): EDX output of  $W_2$  *L. depressum* root**

جدول (۴): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_2$  دیوچار

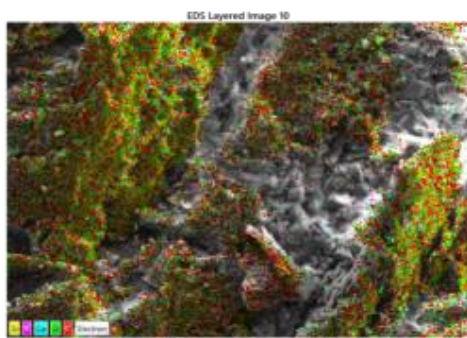
**Table (4): EDX output of  $W_2$  *L. depressum* root**

نقشهٔ مجموع طیف (Map Sum Spectrum)				
عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight% Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
(O) اکسیژن	سری کا (K series)	56.59	0.69	64.11
(C) کربن	سری کا (K series)	41.36	0.68	35.17
(Ca) کلسیم	سری کا (K series)	1.02	0.10	0.34
(K) پتاسیم	سری کا (K series)	0.63	0.08	0.22
(Cl) کلر	سری کا (K series)	0.40	0.07	0.16
(Total) مجموع		100.00		100.00

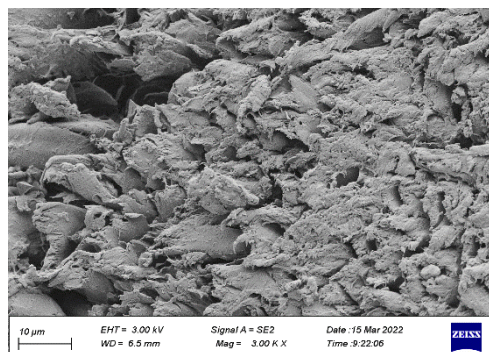
برش عرضی ساقهٔ نمونهٔ  $W_3$  با استفاده از میکروسکوپ FESEM با ولتاژ ۳۰۰ کیلووات، فاصلهٔ گان تا سطح نمونه ۶ میلی‌متر، بزرگ‌نمایی ۵۰۰ و مقیاس ۲۰ میکرومتر، آنالیز و با میکروسکوپ EDX عناصر در ریشهٔ  $W_3$  شامل کلسیم، کلر، پتاسیم، اکسیژن و کربن شناسایی شدند (شکل ۳۳ تا ۳۶ و جدول ۶).

برش عرضی ساقهٔ نمونهٔ  $W_3$  با استفاده از میکروسکوپ FESEM با ولتاژ ۳۰۰ کیلووات، فاصلهٔ گان تا سطح نمونه ۶/۵ میلی‌متر، بزرگ‌نمایی ۳۰۰ و مقیاس ۱۰ میکرومتر، آنالیز و با میکروسکوپ EDX عناصر در ساقهٔ  $W_3$  شامل کلسیم، پتاسیم، سیلیس، اکسیژن و کربن شناسایی شدند (شکل ۲۹ تا ۳۲ و جدول ۵). برش عرضی ریشهٔ  $W_3$  با استفاده از میکروسکوپ

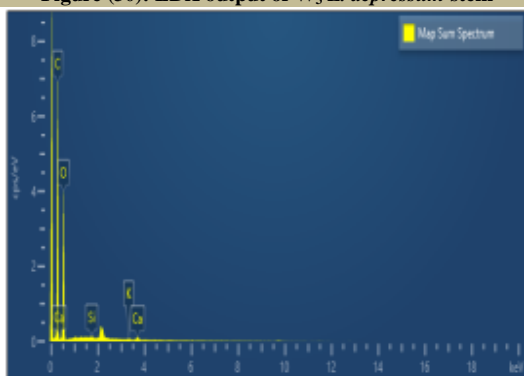
نتایج حاصل از تعیین شکل، اندازه و ترکیب مواد سنتز شده در  $W_3$  در ساقه و ریشه نشان داد که بیشترین درصد وزنی و اتمی عناصر در ساقه  $W_3$  به ترتیب شامل کربن، اکسیژن، کلسیم، پتاسیم و سیلیس و بیشترین درصد وزنی و اتمی عناصر در ریشه  $W_3$  به ترتیب شامل اکسیژن، کربن، کلسیم، پتاسیم و سیلیس بود. بنابراین ریشه نمونه  $W_3$  برعکس ساقه قادر به تجمع عنصر کلر بود و همچنین ساقه نمونه  $W_3$  برعکس ریشه قادر به تجمع عنصر سیلیس بود.



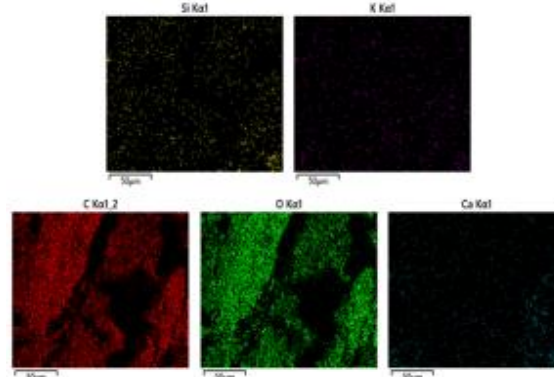
شکل (۳۰): خروجی EDX در ساقه  $W_3$  دیوچار  
Figure (30): EDX output of  $W_3$  *L. depressum* stem



شکل (۲۹): خروجی FESEM در ساقه  $W_3$  دیوچار  
Figure (29): FESEM output of  $W_3$  *L. depressum* stem



شکل (۳۲): خروجی EDX در ساقه  $W_3$  دیوچار  
Figure (32): EDX output of  $W_3$  *L. depressum* stem



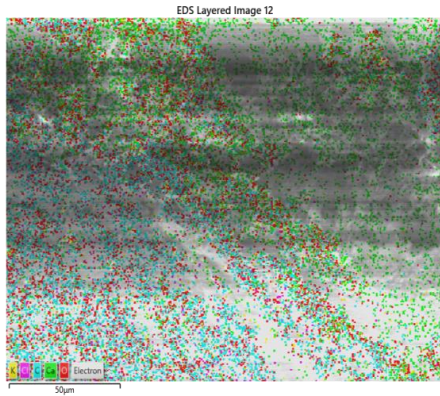
شکل (۳۱): خروجی EDX در ساقه  $W_3$  دیوچار  
Figure (31): EDX output of  $W_3$  *L. depressum* stem

جدول (۵): خروجی EDX در ساقه  $W_3$  دیوچار

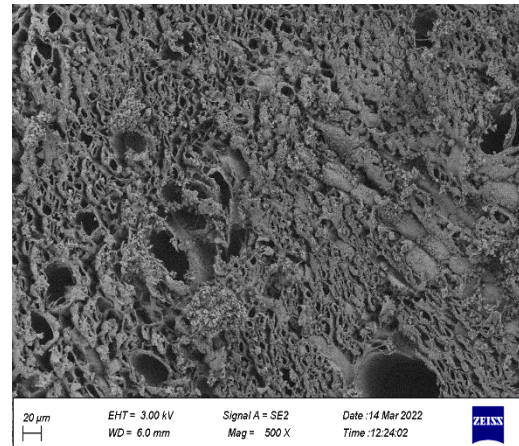
Table (5): EDX output of  $W_3$  *L. depressum* stem

نقشه مجموع طیف (Map Sum Spectrum)

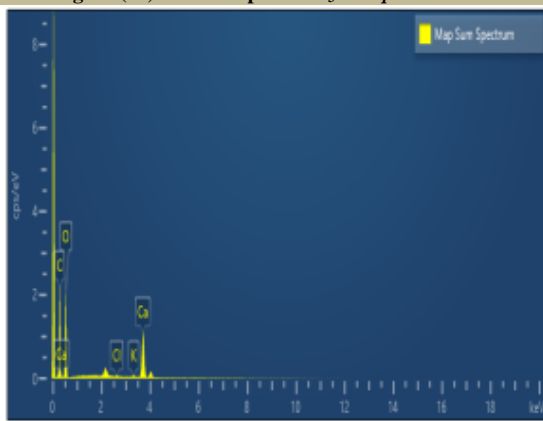
عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight% Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
کربن (C)	سری کا (K series)	58.24	0.39	65.17
اکسیژن (O)	سری کا (K series)	41.22	0.38	34.63
کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	0.36	0.04	0.12
پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.10	0.03	0.04
سیلیس (Si)	سری کا (K series)	0.08	0.02	0.04
مجموع (Total)		100.00		100.00



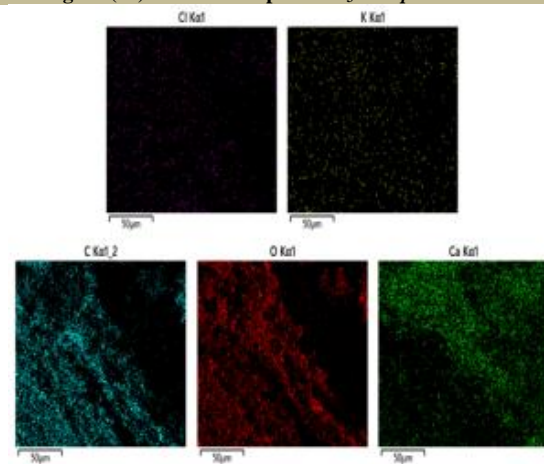
شکل (۳۴): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_3$  دیوچار  
**Figure (34): EDX output of  $W_3$  *L. depressum* root**



شکل (۳۳): خروجی FESEM در ریشهٔ  $W_3$  دیوچار  
**Figure (33): FESEM output of  $W_3$  *L. depressum* root**



شکل (۳۶): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_3$  دیوچار  
**Figure (36): EDX output of  $W_3$  *L. depressum* root**



شکل (۳۵): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_3$  دیوچار  
**Figure (35): EDX output of  $W_3$  *L. depressum* root**

جدول (۶): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_3$  دیوچار

**Table (6): EDX output of  $W_3$  *L. depressum* root**

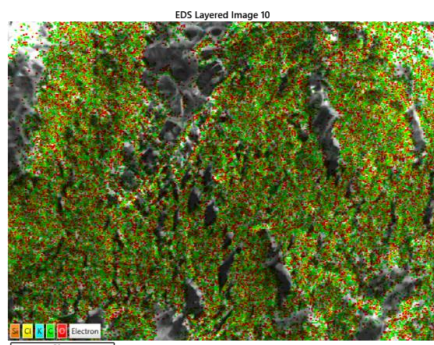
نقشهٔ مجموع طیف (Map Sum Spectrum)				
عنصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight% Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
(O)	سری کا (K series)	45.70	0.57	42.40
(C)	سری کا (K series)	43.31	0.58	53.17
(Ca)	سری کا (K series)	10.53	0.19	3.90
(K)	سری کا (K series)	0.26	0.06	0.10
(Cl)	سری کا (K series)	0.20	0.05	0.08
(Total) مجموع		100.00		100.00

تا ۴۰ و جدول (۷). برش عرضی ریشهٔ  $W_4$  با استفاده از میکروسکوپ FESEM با ولتاژ ۳۰۰ کیلووات، فاصلهٔ گان تا سطح نمونه ۶/۳ میلی‌متر، بزرگ‌نمایی ۳۰۰ و مقیاس ۱۰ میکرومتر، آنالیز و با میکروسکوپ EDX عناصر موجود در ریشهٔ  $W_4$  شامل کلسیم، کلر، پتاسیم، سیلیس، آهن، آلومینیوم،

برش عرضی ساقهٔ  $W_4$  با استفاده از میکروسکوپ FESEM با ولتاژ ۳۰۰ کیلووات، فاصلهٔ گان تا سطح نمونه ۷/۶ میلی‌متر، بزرگ‌نمایی ۵۰۰ و مقیاس ۲۰ میکرومتر، آنالیز و با میکروسکوپ EDX عناصر موجود در ساقهٔ  $W_4$  شامل کلسیم، پتاسیم، کلر، سیلیس، اکسیژن و کربن شناسایی شدند (شکل ۳۷

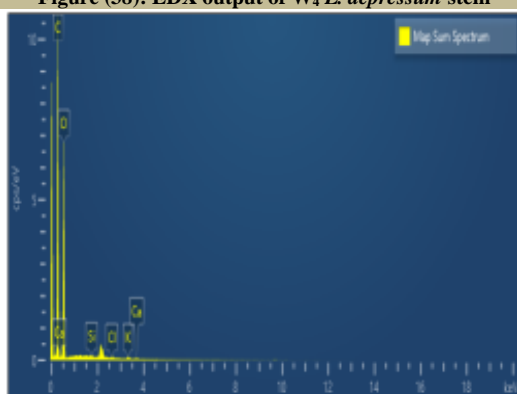
عناصر در ریشه W<sub>4</sub> به ترتیب شامل کربن، اکسیژن، کلسیم، پتاسیم، آهن، کلر، سیلیس، فسفر و آلومینیوم مشخص شد. بنابراین ریشه W<sub>4</sub> برعکس ساقه قادر به تجمع عناصر آهن، فسفر و آلومینیوم بود.

فسفر، اکسیژن و کربن شناسایی شدند (شکل ۴۱ تا ۴۴ و جدول ۸). نتایج حاصل از تعیین شکل، اندازه و ترکیب مواد سنتز شده در W<sub>4</sub> در ساقه و ریشه نشان داد که بیشترین درصد وزنی و اتمی عناصر در ساقه W<sub>4</sub> به ترتیب شامل کربن، اکسیژن، پتاسیم، کلر، کلسیم و سیلیس و بیشترین درصد وزنی و اتمی



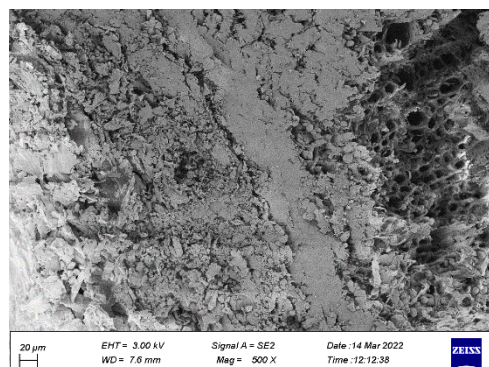
شکل (۳۸): خروجی EDX در ساقه W<sub>4</sub> دیوچار

Figure (38): EDX output of W<sub>4</sub> L. depressum stem



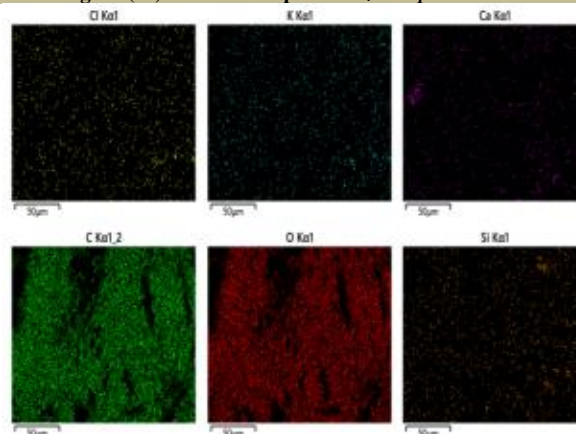
شکل (۴۰): خروجی EDX در ساقه W<sub>4</sub> دیوچار

Figure (40): EDX output of W<sub>4</sub> L. depressum stem



شکل (۳۷): خروجی FESEM در ساقه W<sub>4</sub> دیوچار

Figure (37): FESEM output of W<sub>4</sub> L. depressum stem



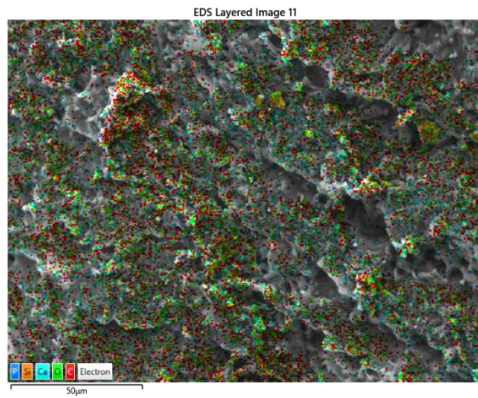
شکل (۳۹): خروجی EDX در ساقه W<sub>4</sub> دیوچار

Figure (39): RDX output of W<sub>4</sub> L. depressum stem

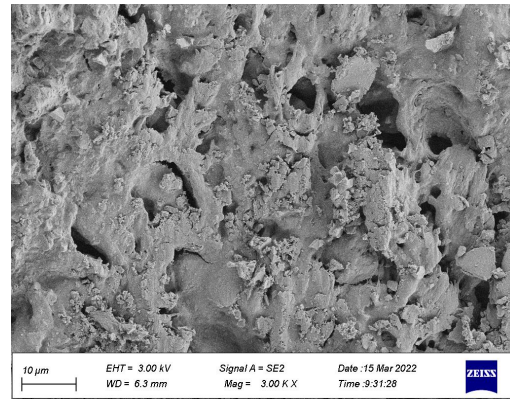
جدول (۷): خروجی EDX در ساقه W<sub>4</sub> دیوچار

Table (7): EDX output of W<sub>4</sub> L. depressum stem

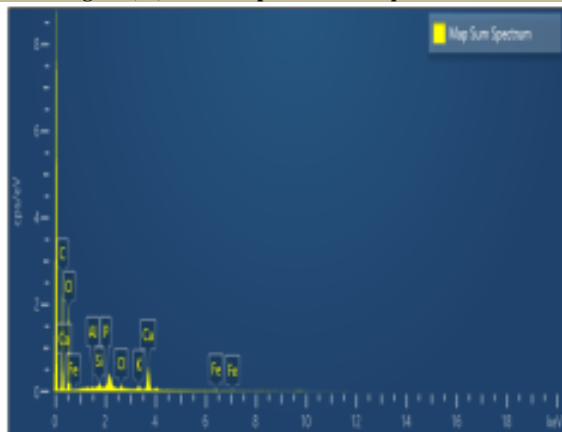
نقشه مجموع طیف (Map Sum Spectrum)				
عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight%Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
کربن (C)	سری کا (K series)	57.12	0.30	64.07
اکسیژن (O)	سری کا (K series)	42.50	0.30	35.79
پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.13	0.02	0.05
کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.10	0.02	0.04
کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	0.09	0.02	0.03
سیلیس (Si)	سری کا (K series)	0.05	0.02	0.03
مجموع (Total)		100.00		100.00



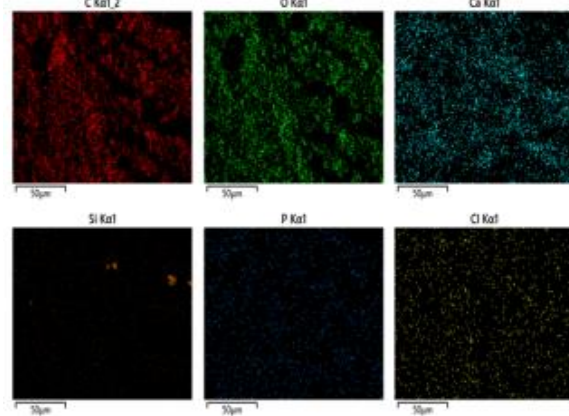
شکل (۴۲): خروجی EDX در ریشه W<sub>4</sub> دیوخار  
Figure (42): EDX output of W<sub>4</sub> L. depressum root



شکل (۴۱): خروجی FESEM در ریشه W<sub>4</sub> دیوخار  
Figure (41): FESEM output of W<sub>4</sub> L. depressum root



شکل (۴۴): خروجی EDX در ریشه W<sub>4</sub> دیوخار  
Figure (44): EDX output of W<sub>4</sub> L. depressum root



شکل (۴۳): خروجی EDX در ریشه W<sub>4</sub> دیوخار  
Figure (43): EDX output of W<sub>4</sub> L. depressum root

جدول (۸): خروجی EDX در ریشه W<sub>4</sub> دیوخار

Table (8): EDX output of W<sub>4</sub> L. depressum root

نقشه مجموع طیف (Map Sum Spectrum)

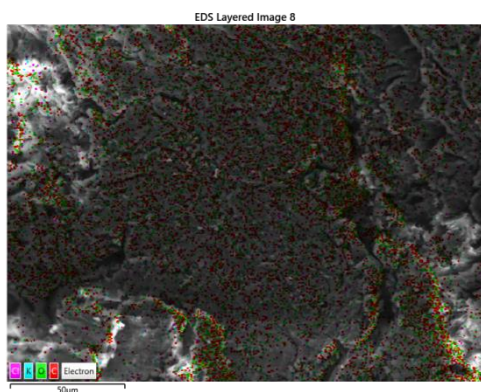
عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight%Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
کربن (C)	سری کا (K series)	52.09	0.60	61.36
اکسیژن (O)	سری کا (K series)	40.74	0.58	36.03
کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	4.66	0.13	1.64
پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.69	0.07	0.25
آهن (Fe)	سری کا (K series)	0.54	0.13	0.14
کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.53	0.06	0.21
سیلیس (Si)	سری کا (K series)	0.37	0.05	0.18
فسفر (P)	سری کا (K series)	0.22	0.07	0.10
آلومینیوم (Al)	سری کا (K series)	0.17	0.04	0.09
(Total) مجموع		100.00		100.00

میکروسکوپ EDX عناصر موجود در ساقه W<sub>5</sub> شامل کربن، پتاسیم، اکسیژن و کربن شناسایی شدند (شکل ۴۵ تا ۴۸ و جدول ۹). برش عرضی ریشه W<sub>5</sub> با استفاده از میکروسکوپ

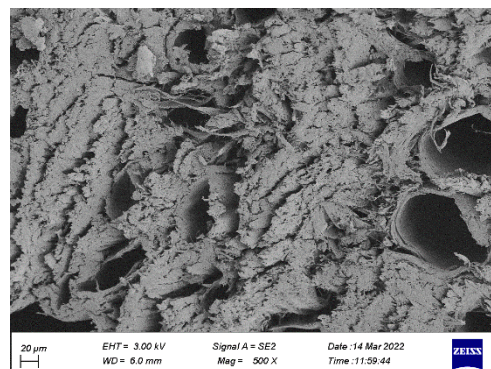
برش عرضی ساقه W<sub>5</sub> با استفاده از میکروسکوپ FESEM با ولتاژ ۳۰۰ کیلووات، فاصله گان تا سطح نمونه ۶ میلی‌متر، بزرگ‌نمایی ۵۰۰ و مقیاس ۲۰ میکرومتر، آنالیز و با

اکسیژن، پتاسیم و کلر و بیشترین درصد وزنی و اتمی عناصر در ریشه  $W_5$  به ترتیب شامل کربن، اکسیژن، کلسیم، پتاسیم، سیلیس و کلر تعیین شد. بنابراین ریشه  $W_5$  برعکس ساقه قادر به تجمع کلر بود. شایان ذکر است که در جداول (۱۱) و (۱۲) مقایسه مقدار عناصر شناسایی شده در ساقه و ریشه ۵ نمونه دیوخار ارائه شده است. غلظت فلزات هدف در خاک‌های نمونه برداری شده نیز در جدول (۱۳) ارائه شد.

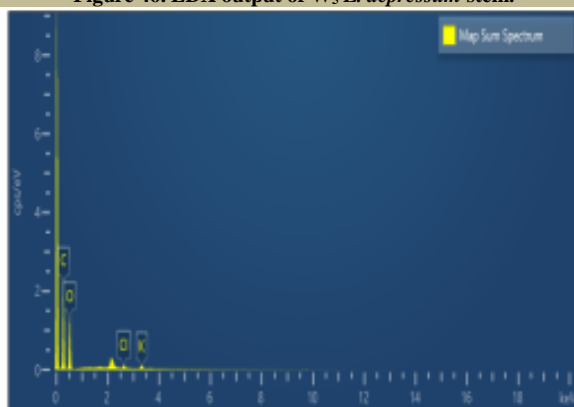
FESEM با ولتاژ ۳۰۰ کیلووات، فاصله گان تا سطح نمونه ۵/۹ میلی متر، بزرگ‌نمایی ۵۰۰ و مقیاس ۲۰ میکرومتر، آنالیز و با میکروسکوپ EDX عناصر در ریشه  $W_5$  شامل کلسیم، کلر، پتاسیم، سیلیس، اکسیژن و کربن شناسایی شدند (شکل ۴۹ تا ۵۲ و جدول ۱۰). نتایج حاصل از تعیین شکل، اندازه و ترکیب مواد سنتز شده در  $W_5$  در ساقه و ریشه نشان داد که بیشترین درصد وزنی و اتمی عناصر در ساقه  $W_5$  به ترتیب شامل کربن،



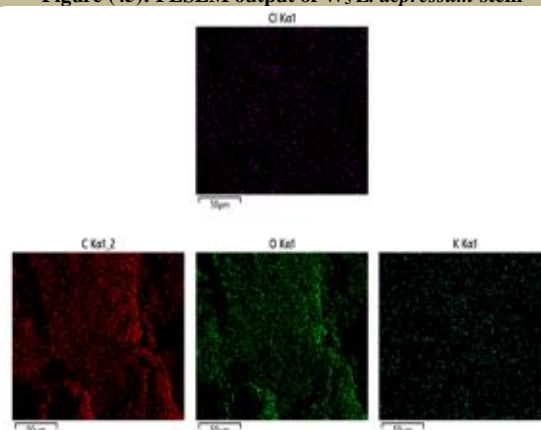
شکل ۴۶- خروجی EDX در ساقه  $W_5$  دیوخار.  
Figure 46. EDX output of  $W_5$  *L. depressum* stem.



شکل (۴۵): خروجی FESEM در ساقه  $W_5$  دیوخار  
Figure (45): FESEM output of  $W_5$  *L. depressum* stem



شکل (۴۸): خروجی EDX در ساقه  $W_5$  دیوخار  
Figure (48): EDX output of  $W_5$  *L. depressum* stem



شکل (۴۷): خروجی EDX در ساقه  $W_5$  دیوخار  
Figure (47): EDX output of  $W_5$  *L. depressum* stem

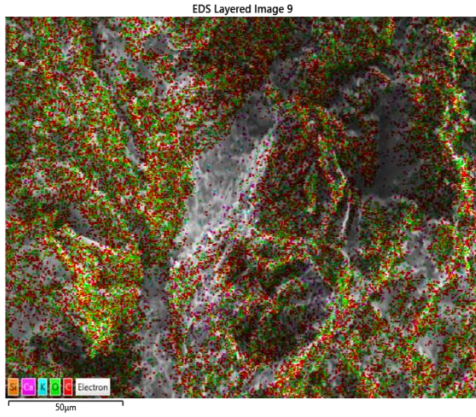
جدول (۹): خروجی EDX در ساقه  $W_5$  دیوخار

Table (9): EDX output of  $W_5$  *L. depressum* stem

(Map Sum Spectrum) نقشه مجموع طیف

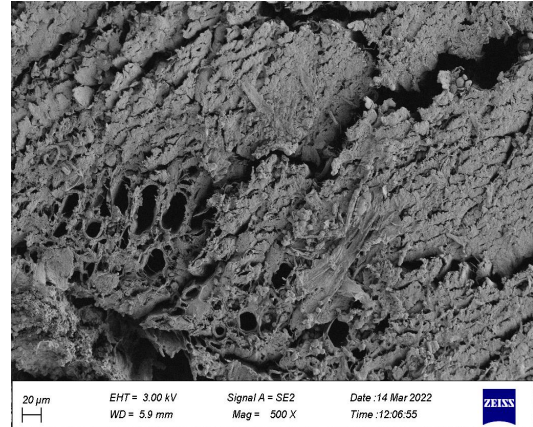
عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight% Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
کربن (C)	سری کا (K series)	58.09	0.67	65.42
اکسیژن (O)	سری کا (K series)	40.16	0.67	33.95
پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.99	0.09	0.34
کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.76	0.07	0.29
مجموع (Total)		100.00		100.00





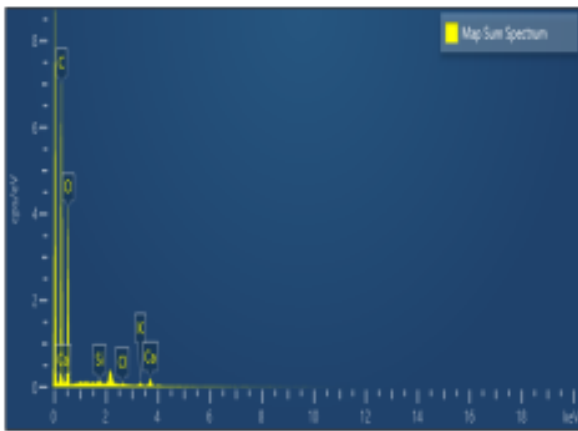
شکل (۵۰): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_5$  دیوچار

Figure (50): EDX output of  $W_5$  *L. depressum* root



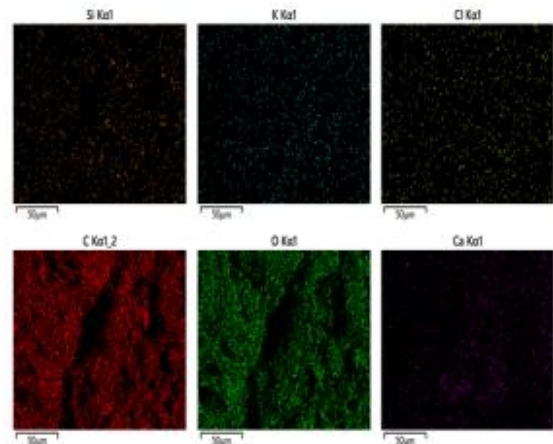
شکل (۴۹): خروجی FESEM در ریشهٔ  $W_5$  دیوچار

Figure (49): FESEM output of  $W_5$  *L. depressum* root



شکل (۵۲): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_5$  دیوچار

Figure (52): EDX output of  $W_5$  *L. depressum* root



شکل (۵۱): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_5$  دیوچار

Figure (51): EDX output of  $W_5$  *L. depressum* root

جدول (۱۰): خروجی EDX در ریشهٔ  $W_5$  دیوچار

Table (10): EDX output of  $W_5$  *L. depressum* root

نقشهٔ مجموع طیف (Map Sum Spectrum)				
عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight% Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
کربن (C)	سری کا (K series)	57.51	0.38	64.70
اکسیژن (O)	سری کا (K series)	41.31	0.38	34.88
کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	0.73	0.04	0.25
پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.25	0.03	0.09
سیلیس (Si)	سری کا (K series)	0.10	0.02	0.05
کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.09	0.02	0.03
مجموع (Total)		100.00		100.00

جدول (۱۱): مقایسه خروجی EDX در اندام‌های هوایی نمونه‌های دیوچار  $W_1$  تا  $W_5$   
 Table (11): Comparison of EDX output of  $W_1$  to  $W_5$  *L. depressum* samples aerial

نقشه مجموع طیف (Map Sum Spectrum)					
نمونه (Sample)	عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight%Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
$W_1$	کربن (C)	سری کا (K series)	59.05	0.39	66.00
	اکسیژن (O)	سری کا (K series)	40.22	0.39	33.74
	پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.38	0.04	0.13
	کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	0.18	0.04	0.06
	کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.17	0.03	0.07
$W_2$	کربن (C)	سری کا (K series)	57.31	0.41	64.24
	اکسیژن (O)	سری کا (K series)	42.38	0.41	35.66
	کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	0.17	0.03	0.06
	پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.14	0.03	0.05
$W_3$	کربن (C)	سری کا (K series)	58.24	0.39	65.17
	اکسیژن (O)	سری کا (K series)	41.22	0.38	34.63
	کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	0.36	0.04	0.12
	پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.10	0.03	0.04
	سیلیس (Si)	سری کا (K series)	0.08	0.02	0.04
$W_4$	کربن (C)	سری کا (K series)	57.12	0.30	64.07
	اکسیژن (O)	سری کا (K series)	42.50	0.30	35.79
	پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.13	0.02	0.05
	کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.10	0.02	0.04
	کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	0.09	0.02	0.03
	سیلیس (Si)	سری کا (K series)	0.05	0.02	0.03
$W_5$	کربن (C)	سری کا (K series)	58.09	0.67	65.42
	اکسیژن (O)	سری کا (K series)	40.16	0.67	33.95
	پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.99	0.09	0.34
	کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.76	0.07	0.29

جدول (۱۲): مقایسه خروجی عناصر در ریشه ۵ نمونه دیوچار در  $W_1$  تا  $W_5$   
 Table (12): Comparison of EDX output of  $W_1$  to  $W_5$  *L. depressum* samples root

نقشه مجموع طیف (Map Sum Spectrum)					
نمونه (Sample)	عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight%Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
$W_1$	کربن (C)	سری کا (K series)	57.85	0.49	65.64
	اکسیژن (O)	سری کا (K series)	38.94	0.48	33.17
	کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	1.44	0.07	0.49
	کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.64	0.05	0.25
	پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.42	0.05	0.15
	فسفر (P)	سری کا (K series)	0.30	0.06	0.13
	گوگرد (S)	سری کا (K series)	0.29	0.06	0.12
	سیلیس (Si)	سری کا (K series)	0.12	0.03	0.06

نقشه مجموع طیف (Map Sum Spectrum)					
نمونه (Sample)	عناصر (Element)	نوع خط (Line Type)	درصد وزنی (Weight%)	درصد وزنی سیگما (Weight%Sigma)	درصد اتمی (Atomic%)
W <sub>2</sub>	اکسیژن (O)	سری کا (K series)	56.59	0.69	64.11
	کربن (C)	سری کا (K series)	41.36	0.68	35.17
	کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	1.02	0.10	0.34
	پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.63	0.08	0.22
	کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.40	0.07	0.16
W <sub>3</sub>	اکسیژن (O)	سری کا (K series)	45.70	0.57	42.40
	کربن (C)	سری کا (K series)	43.31	0.58	53.17
	کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	10.53	0.19	3.90
	پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.26	0.06	0.10
	کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.20	0.05	0.08
W <sub>4</sub>	کربن (C)	سری کا (K series)	52.09	0.60	61.36
	اکسیژن (O)	سری کا (K series)	40.74	0.58	36.03
	کلسیم (Ca)	سری کا (K series)	4.66	0.13	1.64
	پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.69	0.07	0.25
	آهن (Fe)	سری کا (K series)	0.54	0.13	0.14
	کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.53	0.06	0.21
	سیلیس (Si)	سری کا (K series)	0.37	0.05	0.18
	فسفر (P)	سری کا (K series)	0.22	0.07	0.10
	آلومینیوم (Al)	سری کا (K series)	0.17	0.04	0.09
W <sub>5</sub>	کربن (C)	سری کا (K series)	58.09	0.67	65.42
	اکسیژن (O)	سری کا (K series)	40.16	0.67	33.95
	پتاسیم (K)	سری کا (K series)	0.99	0.09	0.34
	کلر (Cl)	سری کا (K series)	0.76	0.07	0.29

جدول (۱۳): غلظت فلزات هدف در خاک‌های نمونه برداری شده (میلی گرم بر کیلوگرم)

Table (13): Concentration metals in sampled soils (mg/kg)					
نمونه (Sample)	نیکل (Ni)	کبالت (Co)	آرسنیک (As)	کروم (Cr)	وانادیوم (V)
W1	697.4	268.3	12.1	34.1	63.2
W2	689.1	263.8	11.9	33.4	62.1
W3	681.2	262.7	11.9	33.3	62.9
W4	629.9	241.4	11.1	31.2	59.6
W5	961.3	346.5	14.9	44.1	69.9

وانادیم، کروم و آرسنیک (میزان فلزات ذکر شده به ترتیب در فاصله W<sub>1</sub>: ۶۸۹/۹، ۲۵۱/۴۶، ۵۶/۱۰، ۳۱/۴۳ و ۱۱/۴۷، W<sub>2</sub>: ۵۹۴/۹۵، ۵۶۸/۲۵، ۲۱۰/۹۱، ۵۲/۵۰، ۲۶/۳۶ و ۱۰/۴۶، W<sub>3</sub>: ۵۹۴/۹۵، ۲۱۹/۸۱، ۵۳/۶۵، ۲۷/۴۷ و ۱۰/۶۸، W<sub>4</sub>: ۵۷۷/۷، ۲۱۴/۰۶، ۴۲/۱۷، ۵۲/۵۲ و ۲۶/۷۵، W<sub>5</sub>: ۹۴۷/۶، ۳۳۷/۳۶، ۶۲/۴۰، ۱۳/۶۲ و ۱۰/۵۴) بود. بنابراین مشخص است که نمونه‌های برداشت شده از گونه مذکور در فواصل مختلف از کارخانه ید استان گلستان توانایی بیشتری در غلظت فلز نیکل

غلظت فلزات در گیاهان مختلف به عواملی همچون نوع گونه، اندام گیاه، خصوصیات گیاه و ویژگی‌های متقابل فلزات و سمیت آن‌ها بستگی دارد. بنابراین گونه‌های گیاهی و اندام‌های مختلف آن‌ها واکنش‌های متفاوتی در برابر فلزات سنگین از خود نشان می‌دهند (ناراشکومار<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). همان‌طور که نتایج پژوهش حاضر نشان داد، بیشترین و کمترین غلظت فلزات در نمونه‌های دیوچار به ترتیب شامل نیکل، کبالت،

۰/۹۶، ۰/۹۶، ۰/۹۸، ۰/۹۶ و ۰/۹۶، در فاصله W<sub>4</sub>: ۰/۸۵، ۰/۸۷، ۰/۹۳، ۰/۸۷ و ۰/۹۲ و در فاصله W<sub>5</sub>: ۰/۴۷، ۰/۵۰، ۰/۶۶، ۰/۵۰ و ۰/۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم) کوچک تر از یک هستند. همچنین نتایج حاصل از فاکتور تجمع فلزات مورد بررسی در نمونه های دیوچار نیز نشان داد که فاکتور تجمع در تمام فواصل W<sub>1</sub>، W<sub>2</sub>، W<sub>3</sub>، W<sub>4</sub>، W<sub>5</sub> (به ترتیب فلزات نیکل، کبالت، آرسنیک، کروم و وانادیوم در فواصل W<sub>1</sub>: ۰/۴۱، ۰/۳۹، ۰/۴۳، ۰/۳۹ و ۰/۴۲: W<sub>2</sub>: ۰/۴۲، ۰/۴۱، ۰/۴۴، ۰/۴۰ و ۰/۴۰: W<sub>3</sub>: ۰/۴۳، ۰/۳۹، ۰/۴۱: W<sub>4</sub>: ۰/۴۰، ۰/۴۰، ۰/۴۹، ۰/۴۷، ۰/۴۹ و ۰/۴۶: W<sub>5</sub>: ۰/۳۹، ۰/۶۷، ۰/۶۵، ۰/۵۵، ۰/۶۴ و ۰/۴۹ میلی گرم بر کیلوگرم) برای تمام فلزات مورد بررسی کوچک تر از یک بودند. طبق تحقیقات صورت گرفته، اگر فاکتور انتقال (TF) بزرگ تر از یک باشد، آن گونه گیاهی به عنوان گزینه ای مناسب برای پتانسیل استخراج در فرایند گیاه پالایی شناخته می شود. این بدین معناست که گیاه قادر است فلزات را از خاک جذب کرده و به اندام های هوایی منتقل کند. در مقابل، چنانچه فاکتور انتقال کوچک تر از یک باشد، این گونه گیاهی به عنوان گزینه ای مناسب برای تثبیت فلزات در خاک در نظر گرفته می شود. به طور کلی، استفاده از فاکتور انتقال به عنوان یک معیار کلیدی برای ارزیابی توانایی های گیاهان در مواجهه با آلودگی های فلزی و مدیریت آلودگی ها بسیار مهم است (لینگ پانگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). نتایج پژوهش حاضر با برخی محققان همخوانی دارد به طوری که عزیزا و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که گونه حرا دارای فاکتور انتقال بزرگ تر از یک برای کروم است که نشان دهنده توانایی این گونه در استخراج گیاهی فلز کروم است. فرانکو<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که در گونه بومی مناطق خشک چلیکا<sup>۶</sup> توانایی تجمع آرسنیک، کروم و کبالت در ریشه و اندام های هوایی خود را دارد. شریفی و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند گونه های کلاه میرحسن<sup>۷</sup>، گون<sup>۸</sup>، علف ریش دار<sup>۹</sup> و ریش بز<sup>۱۰</sup> به علت داشتن فاکتور انتقال بالاتر از یک جهت

در مقایسه با سایر فلزات مورد بررسی را داشتند. علت این مسئله آن است که در میان فلزات سنگین، نیکل دارای تحرک بالایی در محیط است که جذب آن به وسیله گیاهان از طریق عوامل خاک و ویژگی های گیاه صورت می گیرد. از طرفی دیگر، نیکل موجود در خاک با مواد آلی همراه است، در صورتی که در خاک های معدنی از طریق هیدروکسیدهای آهن و منگنز جذب می شود. بنابراین این عوامل به همراه pH خاک بر روی حلالیت فلز نیکل در خاک و مقدار دسترس بودن این فلز در گیاهان تأثیر گذارند (جکوبسکی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین طبق تحقیقات انجام شده مقدار سمیت نیکل در گونه های حساس، با حساسیت متوسط و مقاوم به ترتیب ۱، ۵۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (چن<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). در پژوهش حاضر در فواصل W<sub>1</sub> تا W<sub>5</sub> غلظت نیکل بین ۵۷۷/۷ تا ۹۴۷/۶ میلی گرم بر کیلوگرم تعیین شد. بنابراین مشخص شد که گونه بومی دیوچار توانایی مقاومت در برابر این فلز را داشته و به عنوان گونه ای با مقاومت نسبتاً خوب به این فلز به شمار می آید. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که غلظت فلزات آرسنیک، نیکل، کروم، کبالت و وانادیم در سه فاصله W<sub>4</sub> و W<sub>5</sub> و W<sub>2</sub> گونه دیوچار در ریشه بالاتر از اندام های هوایی بود، اما در دو نمونه دیگر در ساقه بیشتر از ریشه آن هاست که علت این امر آن است که جذب عناصر به وسیله ریشه گونه ها انجام شده است و منجر به جذب سطحی آن ها در ریشه می شوند. از طرفی دیگر، برخی از عناصر در ریشه های گیاهان، با ترکیبات موجود در ریشه ادغام شده که این مسئله از انتقال عناصر به سایر اندام ها ممانعت می کند (پیلون-اسمیت<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵). نتایج حاصل از فاکتور انتقال فلزات مورد بررسی در نمونه های دیوچار نیز نشان داد که فاکتور انتقال فلزات مذکور در فواصل W<sub>1</sub> و W<sub>3</sub> (به ترتیب فلزات نیکل، کبالت، آرسنیک، کروم و وانادیوم در فاصله W<sub>1</sub>: ۱/۴۲، ۱/۳۸، ۱/۱۹، ۱/۳۸ و ۱/۱۰ و در فاصله W<sub>3</sub>: ۱/۱۳، ۱/۱۲، ۱/۰۶، ۱/۱۲ و ۱/۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم) بزرگ تر از یک و در فواصل W<sub>5</sub> و W<sub>4</sub> و W<sub>2</sub> (به ترتیب فلزات نیکل، کبالت، آرسنیک، کروم و وانادیوم در فاصله W<sub>2</sub>:

4. Ling Pang

5. Franco

6. *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav. Pers)7. *Acantholimon brachystachyum* (Boiss. ex Bunge)8. *Astragalus gossypinus* (Fisch. Podlech)9. *Stipa barbata* (Desf.)10. *Ephedra major* (Host)

1. Jakubowski

2. Chen

3. Pilon-smits

### نتیجه‌گیری کلی

انتخاب گونهٔ مناسب به‌منظور موفقیت بلندمدت پروژه‌های گیاه‌پالایی برای احیای زیست‌بوم‌های تخریب‌شده، مسئلهٔ مهم و حیاتی است که گونه‌های انتخابی باید مقاومت بالایی به تنش آلودگی محیط داشته باشند. بنابراین گونه‌هایی که پتانسیل سازگاری با شرایط آلوده را داشته باشند، مناسب گیاه‌پالایی هستند. طبق نتایج این تحقیق نمونه‌های برداشت‌شده از گونهٔ دیوچار در فواصل مختلف از کارخانهٔ ید استان گلستان توانایی بیشتری در تجمع نیکل در مقایسه با سایر فلزات مورد بررسی را داشتند. همچنین غلظت فلزات مذکور در اندام‌های هوایی و ریشهٔ این گونه در فاصلهٔ اول و آخر اختلاف زیادی با یکدیگر داشتند؛ اما در فواصل دیگر این مقادیر به یکدیگر نزدیک بودند. نتایج همچنین نشان داد که عنصر غالب در نمونه‌های برداشت‌شده دیوچار در ۵ فاصله شامل کربن و اکسیژن بودند و عناصر پتاسیم، کلر و کلسیم نیز در غالب نمونه‌های ساقه و ریشهٔ گونه‌های دیوچار مشاهده شدند و برخی عناصر نیز به‌صورت درصد جزئی در ساقه و ریشه رؤیت شدند؛ به‌طوری‌که در نمونهٔ اول، فسفر، گوگرد و سیلیس، در نمونهٔ دوم و سوم، کلر، در نمونهٔ چهارم، آهن، فسفر و آلومینیوم و در نمونهٔ پنجم، سیلیس و کلسیم در ریشه‌ها شناسایی شدند که این عناصر در ساقهٔ آن‌ها ملاحظه نشد. لذا با توجه به نتایج دیوچار به‌علت غلظت بالای نیکل برای پاک‌سازی این مناطق قابلیت استفاده را دارد و به‌عنوان گونهٔ مناسب به‌منظور پالایش خاک‌های آلوده به فلزات در این منطقه و مناطق مشابه پیشنهاد می‌گردد.

### سپاسگزاری

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی است که با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به شماره طرح ۳۷-۴۵۶-۰۰ انجام شده است. لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از زحمات حامیان این طرح، بی‌نهایت سپاسگزاری کنند.

استخراج گیاهی آرسنیک مناسب‌اند. ساسمز<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند گونهٔ نی<sup>۲</sup> توانایی تجمع کروم را در ریشه‌های خود دارد. نتایج حاصل از ترکیب عناصر شیمیایی موجود در نمونه‌های گونهٔ دیوچار نیز نشان داد که عنصر غالب در هر ۵ نمونه کربن و اکسیژن بودند و برخی عناصر همچون پتاسیم، کلر و کلسیم در اکثر نمونه‌های ساقه و ریشه مشاهده شدند و برخی عناصر نیز به‌صورت درصد جزئی در ساقه و ریشه رؤیت شدند؛ به‌طوری‌که این عناصر غالباً در ریشه‌ها بودند. در نمونهٔ اول، فسفر، گوگرد و سیلیس، در نمونهٔ دوم و سوم، کلر، در نمونهٔ چهارم، آهن، فسفر و آلومینیوم و در نمونهٔ پنجم، سیلیس و کلسیم در ریشه‌ها شناسایی شدند که این عناصر در ساقهٔ آن‌ها ملاحظه نشد؛ لذا این مسئله نشان‌دهندهٔ توانایی ریشه‌های دیوچار در تجمع این عناصر از خاک است. بنابراین نتایج حاصل از آنالیز ۵ نمونه دیوچار نشان داد با وجود اینکه شرایط اکولوژیکی یکسان است، توانایی جذب فلزات متفاوت بود. بنابراین پتانسیل گیاهان در جذب فلزات در اندام‌ها یکسان نیست؛ به‌طوری‌که برخی از فلزات را در اندام‌های هوایی و برخی دیگر در ریشه‌های خود ذخیره کردند. همچنین غلظت فلزات در بافت‌های مختلف گیاه متفاوت بود و فلزات سنگین در قسمت‌های مختلف اندام‌های هوایی یا ریشه تجمع یافتند؛ به‌طوری‌که فواصل W<sub>2</sub> و W<sub>4</sub> و W<sub>5</sub> دیوچار فلزات را در ریشه‌های خود ذخیره کردند. مکانیسم بازدارندگی آن‌ها ریشهٔ گونه است که از ورود فلزات به اندام‌های هوایی ممانعت می‌کند. در فواصل W<sub>1</sub> و W<sub>3</sub> که غلظت فلزات در اندام‌های هوایی بیشتر از ریشه است و فلزات در واکوئول و دیواره تجمع می‌یابند. بنابراین جمع کردن این گونه و سنجش غلظت فلزات در اندام‌های هوایی و ریشهٔ آن‌ها به یافتن اطلاعاتی درخصوص رفتارهای گیاه در این محیط‌ها کمک می‌کند. همچنین با توجه به واکنش گونه به آلودگی و سطوح مختلف آلودگی در منطقه می‌توان با بررسی جامعهٔ گیاهی در گیاه‌پالایی استفاده کرد.

1. Sasmaz

2. *Typha latifolia* (L.)

## منابع

- Abreu, M.M., Matias, M.J., Clara, M., Magalhaes, F., Basto, M.J., 2008. Impacts on water, soil and plants from the abandoned Miguel Vacas Copper mine, Portugal. *Journal of Geochemical Exploration* 96 (2-3), 161 – 170. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2007.04.012>
- Azizah, D., Lestari, F., Susiana, S., Kurniawan, D., Melany, W.R., Apriadi, T., Murtini, S., 2022. *Index of environmental pollution and adaptation of Avicennia marina around the ex-bauxite mining area in Bintan Island*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Chen, C., Huang, D., iu, J., 2009. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean-soil, air, water* 37 (4-5), 304-313. <https://doi.org/10.1002/clen.200800199>.
- Cristaldi, A., Conti, G. O., Jho, E. H., Zuccarello, P., Grasso, A., Copat, C., Ferrante, M., 2022. Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A Brief, *Review. Environmental Technology and Innovation*, 8, 309-326. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.08.002>.
- Ewubare, P.O., Onosteike Aliyu, S., Michael, I., Osebhajimede Ejakhaegbe, J., Obomejoro, J., Osarodion Okoro, S., Olukayode, O.J., 2024. An Academic Review on Heavy Metals in the Environment: Effects on Soil, Plants Human Health, and Possible Solutions, *American Journal of Environmental Economics (AJEE)*, 3(1), 70-81. <https://doi.org/10.54536/ajee.v3i1.3261>.
- Franco, A.H.E., Crispin, C., Sandra, F., Luis, P., Rodriguez, A., Oscar, E., 2018. Phytoremediating Activity of *Baccharis Latifolia* in Soils Contaminated with Heavy Metals. *International Journal of International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research* 9 (4), 38-43.
- Jakubowski, M., Stanisławska Glubiak, E., Galka, B., 2013. Usefulness of the rock dust for the remediation of soils contaminated with nickel. *Environmental Protection and Natural Resources* 24 (55), 1–4. <https://doi.org/10.2478/OSZN-2013-0001>.
- Jahantab, E., Jafar, M., Motasharezadeh, B., Tavil, A., Zargham, N., 2016. Evaluation of the phytoremediation of rangeland plants in soils contaminated with petroleum, with an emphasis on heavy metal Ni, *Environmental Sciences* 14(3), 107-120 [In Persian].
- Khermandar, K.H., Hossinalizadeh, M., Mahdavi, A., Mohammadian Behbahani, A., Yeganeh, H., 2023 a. Ecological restoration of polluted soils in arid region (Case study: bauxite crusher of Jajarm alumina). *Desert Management* 10 (4), 55-80. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.1972534.1401>.
- Ling Pang, Y., Quek, Y., Lim, S., Hoong Shuit, S., 2023. Review on Phytoremediation Potential of Floating Aquatic Plants for Heavy Metals: A Promising Approach, *Sustainability*, 15(2), 1-23. <https://doi.org/10.3390/su15021290>.
- Khermandar, K.H., Hossinalizadeh, M., Mahdavi, A., Mohammadian Behbahani, A., Yeganeh, H., 2023b. Investigating the Phytoremediation of *Seidlitzia rosmarinus* and *Haloxylon aphyllum* Desert Plants: A Case Study of Bauxite Crusher of Jajarm Alumina Mine. *Desert Ecosystem Engineering* 12 (38), 48-58. [In Persian]. <http://dx.doi.org/10.22052/deej.2023.252496.101>.
- Lotfy, S.M., Mostafa, A.Z., 2014. Phytoremediation of contaminated soil with Cobalt and Chromium. *Journal of Geochemical Exploration* 144, 367–373. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.07.003>.
- Murtaza, G., Murtaza, B., Khan Niazi, N., Muhammad Sabir, M., 2014. Soil Contaminants: Sources, Effects and Approaches for Remediation. Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes, Volume 2, Chapter 7. P.171-195.
- Mousavi, M., Raiesi, T., Sedaghat, A., Srivastava, A.K., 2024. Potentially Toxic Metals: Their Effects on the Soil-Human Health Continuum, *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 12(2), 86-101. <https://doi.org/10.34172/jaehr.1328>.
- Nareshkumar, A., Nagamallaiah, G.V., Pandurangaiah, M., Kiranmai, K., Amaranathareddy, V., Lokesh, U., Venkatesh, B., Sudhakar, C., 2015. Pb-Stress Induced Oxidative Stress Caused Alterations in antioxidant efficacy in two groundnuts (*Arachis hypogaea* L.) Cultivars. *Agricultural Sciences* 6, 1283-1297. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.610123>.
- Parraga Aguado, I., Gonzalez Alcaraz, M.N., Alvarez Rogel, J., & Conesa, H.M. (2014). Assessment of the employment of halophyte plant species for the phytomanagement of mine tailings in semiarid areas. *Ecological Engineering* 71, 598–604. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.061>.
- Peco, J.D., Higuera, P., Campos, J.A., Esbri, J.M., Moreno, M.M., Battaglia Brunet, F., Sandalio, L.M., 2021. Abandoned Mine Lands Reclamation by Plant Remediation Technologies. *Sustainability* 13 (6555), 1-27. <https://doi.org/10.3390/su13126555>.
- Pilon-smits, E., 2005. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology* 56, 15-39.
- Sasan, Z., Mohammadi, M.J., Yari, A.R., Neisi, A., 2017. Phytoremediation of Heavy Metals (Pb, Cd) by *Tamarix* along the Temby (karon) River, Iran. *Archives of Hygiene sciences* 6 (2), 182-188. <https://doi.org/10.29252/ARCHHYGSCI.6.2.182>.

20. Sasmaz, A., Obek, E., Hasar, H., 2008. The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent. *Ecological Engineering*, 33 (2008), 278-284. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.05.006>.
21. Sharifi, Z., Safari Sinegani, A.A., Shariati, S., 2012. Potential of Indigenous Plant Species for the Phytoremediation of Arsenic Contaminated Land in Kurdistan (Iran). *Soil and Sediment Contamination* 21 (5), 557-573. <https://doi.org/10.1080/15320383.2012.678951>.
22. Sharma, J.K., Kumar, N., Singh, N.P., Santal, A.R. 2023. Phytoremediation technologies and their mechanisms for removal of heavy metal from contaminated soil, *Frontiers in Environmental Science*, 14, 13p. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1076876>.
23. Wan , Y., Liu, J., Zhuang, Z., Wang, Q., Li, H., 2024. Heavy Metals in Agricultural Soils: Sources, Influencing Factors, and Remediation Strategies, *toxics* 12(1), 1-17. <https://doi.org/10.3390/toxics12010063>.
24. Wang, J., Zhang, C.B., Jin, Z.X., 2009. The distribution and phytoavailability of heavy metal fractions in rhizosphere soils of *Paulownia fortunei* (seem) Hems near a Pb/Zn smelter in Guangdong, PR China. *Geoderma* 148 (3-4), 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.10.015>.
25. White, P.J., Pongrac, P., 2017. Heavy-metal Toxicity in Plants. *Plant Stress Physiology* 2 (5), 301-332. <https://doi.org/10.1079/9781780647296.0300>.
26. Yan, A., Wang, Y., Tan, S., Mohd Yusof, M.L., Ghosh, S., Chen, Z., 2020. Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land, *Frontiers in Plant Science*, 11, 15p. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>.
27. Zacchini, M., Pietrini, F., Mugnozza, G.S., Iori, V., Pietrosanti, L., Massacci, A., 2009. Metal tolerance, accumulation and translocation in *poplar* and *willow* clones treated with cadmium in hydroponics. *Water, Air and Soil Pollution* 197 (1-4), 23-34. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9788-7>.

## Investigating Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals of *Lycium Depressum* L Plant: A Case Study of Iodine Factory of Golestan Province

Mohsen Hosseinalizadeh,<sup>1</sup> Hassan Yeganeh,<sup>\*2</sup> Khadijeh Khermandar,<sup>3</sup> Amir Saadatfar<sup>4</sup>

Received: 16/08/2024

Accepted: 22/12/2024

### Extended Abstract

**Introduction:** Operating factories are among the main sources of pollution especially in arid and semi-arid areas due to soil erosion and accumulation of plants, bringing about adverse consequences for the environment. Therefore, this study sought to investigate the phytoremediation potential of the *Lycium depressum* Stocks and determine the shape, size, and the composition of the synthesized particles in terms of the intensity of As, Ni, Cr, Co, and V metals accumulated on the plant's aerial organs due to the activity of iodine factory in Golestan province using FESEM and EDX microscope. It should be noted that the reason for choosing the aforementioned tree species is that the plant is native to and dominant in the region, thus providing high chances of establishment in the study area.

**Materials and methods:** Characterized by *Lycium* genus and Sloanaceae family origin, *Lycium depressum* L. is the only native perennial tree-like species in the region, being known as a salt and drought tolerant plant. Recently, the species has been planted in Iran by Golestan Province's Natural Resources and Watershed Management Department to promote vegetation. For research purposes of this study, the required samples of *L. depressum* species were randomly collected from the iodine factory at five distances of 12.52, 12.75, 15.14, and 13.97 kilometers, respectively ( $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5$ ) using cross-sections extracted from the stem and roots of the plant. Moreover, the shape, size, and composition of the synthesized particles were checked using FESEM and EDX microscopes. Then, the concentration of the intended metals accumulated on the aerial organs and roots of the collected samples was calculated through an atomic absorption device.

**Results:** According to the results of the study, the average concentration of Ni, Co, V, Cr, and AS in *L. depressum* samples was found to be 11.35, 675.78, 30.83, 246.72, and 55.34 mg/kg, respectively. Moreover, the highest and lowest concentration of the metals belonged to Ni and AS, respectively, followed by Co, V, and Cr. On the other hand, the highest concentration of the metals at  $W_5, W_4,$  and  $W_2$  distances were reported in aerial organs, while at the other two distances ( $W_1$  and  $W_3$ ), the concentration was found out to be higher at the plant's stems than in its roots.

The results of the metal Transfer Factor revealed that the average rate of Transfer Factor for Ni, Co, As, Cr and, V was greater than one in  $W_1$  and  $W_3$ , being reported to be 1.42, 1.38, 1.19, 1.38 mg/kg, and 1.10 in  $W_1$ , and 1.13, 1.12, 1.06, 1.12, and 1.15 mg/kg in  $W_3$ , respectively). However, the average rate of the factor was near one at  $W_2$  and less than one  $W_5, W_4$  for Ni, Co, As, Cr, and V, being reported to be 0.96, 0.96, 0.98, 0.96, and 0.96 mg/kg at  $W_2$ , respectively; 0.85, 0.87, 0.93, 0.87, and 0.92 mg/kg at  $W_4$ , respectively, and 0.47, 0.50, 0.66, 0.50, and 0.82 mg/kg at  $W_5$ , respectively). Moreover, the average rate of the Transfer Factor was less than one Ni, Co, As, Cr, and V at all distances ( $W_1$ : 0.41, 0.39, 0.43, 0.39, and 0.42 mg/kg, respectively;  $W_2$ : 0.42, 0.41, 0.44, 0.40, and 0.43 mg/kg, respectively;  $W_3$ : 0.41, 0.39, 0.43, 0.39, and 0.40 mg/kg, respectively;  $W_4$ : 0.49, 0.47, 0.49, 0.46, and 0.46 mg/kg, respectively;  $W_5$ : 0.67, 0.65, 0.55, 0.64, and 0.49 mg/kg, respectively). Furthermore, the results of the combination of chemical elements in *L. depressum* samples showed that C and O were the dominant elements in all five samples, and some elements such as K, Cl, and Ca were observed in many of the stems and roots of the collected samples. However, some elements were found to have lower percentages (P, S, Si, Fe and Al) in the roots of the samples.

**Conclusion:** Considering the increasing exploitation of the the industries worldwide, it is necessary to control the pollution made by them. Therefore, using different plants in industrial areas can help reduce the pollution made by industries, proving the grounds for effective biological management of the lands. Therefore, according to the results of this study, *L. depressum* plants are suitable for cleaning the soil of the industrial and other similar areas polluted by high concentration of Ni.

**Keywords:** Accumulation Factor, FESEM and EDX Microscopes, Ni, Transfer Factor.

1. Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgān, Iran

2. Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgān, Iran. Corresponding Author: yeganeh@gau.ac.ir

3. Ph.D. Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4. Associate Professor, Shahid Bahonar University of Kerman

DOI: 10.22052/deej.2024.255242.1068