تاثیر کمپوست زباله شهری و بیوچار بر توانایی گیاه‌پالایی گونه *Bromus tomentellus* Boiss. در شرایط گلخانه‌ای

محمد جعفری[۱]، مهدی معمری*[۲]، اسفندیار جهانتاب[۳] و نصرت‌الله ضرغام[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۲/۱۸

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور مطالعه اثر دو ماده بهساز طبیعی شامل کمپوست زباله شهری و بیوچار بر توانایی گیاه‌پالایی فلزات کادمیم، سرب، روی، کروم و نیکل توسط گیاه *Bromus tomentellus* انجام شد. برای انجام این تحقیق خاک مورد استفاده در کشت گلدانی، از اراضی اطراف شهرک صنعتی البرز در استان قزوین جمع‌آوری شد. طرح به‌صورت آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار انجام شد. تیمارهای مورد استفاده شامل کمپوست زباله شهری و بیوچار در دو سطح ۱ و ۲ درصد به همره تیمار شاهد بودند. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس در نرم‌افزار SPSS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel و مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون توکی استفاده شد. نتایج نشان داد اثر سطوح مختلف تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت کادمیم، سرب، روی و نیکل اندام‌های هوایی و ریشه *B. tomentellus* معنی‌دار شد. کاربرد مواد کمپوست زباله شهری و بیوچار باعث افزایش جذب فلزات سنگین کادمیم، سرب، روی و نیکل در خاک‌های آلوده اطراف شهرک صنعتی البرز قزوین توسط گیاه *B. tomentellus* می‌شوند. به‌طورکلی با توجه به نتایج این پژوهش، بهترین تیمار برای بهبود توان گیاه‌پالایی *B. tomentellus* در جذب و استخراج فلزات کادمیم، سرب و روی، بیوچار ۱ درصد می‌باشد. درحالی‌که بهترین تیمار در افزایش توان گیاه‌پالایی این گیاه برای فلز نیکل، کمپوست ۱ درصد و بیوچار ۲ درصد می‌باشند. همچنین بر اساس نتایج حاصل از کاربرد تیمارهای کمپوست و بیوچار و مقادیر شاخص‌های فاکتور انتقال، فاکتور تجمع بیولوژیکی و ضریب تجمع بیولوژیک، گونه *B. tomentellus* می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مناسب برای پالایش خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم در منطقه مورد مطالعه معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: گیاه‌پالایی، کمپوست زباله شهری، بیوچار، *Bromus tomentellus*

[۱]- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۲]- استادیار دانشگاه محقق اردبیلی

*: نویسنده مسئول: moameri@uma.ac.ir

[۳]- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران

[۴]- دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]

مقدمه

امروزه آلودگی زیست‌بوم یکی از مشکلات اساسی گریبان‌گیر بشر به‌شمار می رود. کاربرد بی‌رویه مواد شیمیایی در فرایند تولید، غلظت مواد را از بیشینه غلظت مجاز در خاک، هوا، آب و غذا فراتر می‌برد. لذا کشاورزی متمرکز و فعالیت‌های صنعتی در بسیاری از مناطق، کیفیت آب و خاک را به گونه فزاینده‌ای تخریب می‌کنند. این امر نه تنها برای بشر مهلک است بلکه با کاهش توان زیستی، عدم توازن در تعادلات شیمیایی و نفوذ عمقی آلاینده‌ها به منابع آبی زیرزمینی موجب تخریب کلی زیست‌بوم می‌گردد. این پیامد به همراه تخریب فیزیکی، منجر به کاهش بیشتر اراضی قابل کشت شده که نهایتاً موجب اعمال فشاری بیشتر بر اراضی باقیمانده و تشدید رویدادهای نامطلوب اخیر می‌گردد. این چرخه نامطلوب بشر را بر آن داشته تا در حفظ و بقای خود توجه بیشتری به این دو منبع گران‌بها، یعنی خاک و آب داشته باشد (۱۸). فلزات سنگین از راه‌های مختلف وارد زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شوند، فاضلاب‌ها، مواد دفعی حاصل از فعالیت کارخانه‌ها، زباله‌ها و گرد و غبار راه‌های معمول ورود فلزات سنگین به زنجیره‌های غذایی هستند. آلودگی به فلزات سنگین نه تنها با فعالیت انسان حاصل می‌گردد بلکه به‌طور طبیعی در مقادیر مختلف در محیط به‌ویژه خاک وجود دارند (۲۲).

عناصرسنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست به‌شمار می‌آیند که در چند دهه اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند. تجمع عناصر در خاک به‌ویژه در اراضی کشاورزی، امری تدریجی بوده و غلظت عناصر سنگین می‌تواند به سطحی برسد که امنیت غذایی بشر را تهدید نماید. سالانه هزاران تن از این عناصر که ناشی از فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است، وارد خاک می‌شود (۱). فلزات سنگین در اثر فعالیتهایی نظیر؛ سوزاندن سوختهای فسیلی، معدنکاوی، صنایع ذوب فلزات، زباله‌های شهری، کاربرد کودهای شیمیایی، آفت‌کشها، لجن فاضلاب و غیره وارد خاک می‌شود (۱۴). در بسیاری از مناطق صنعتی پساب کارخانجات به داخل رودخانه‌ها و یا اراضی اطراف (مانند اراضی کشاورزی یا مراتع طبیعی) رها می‌شود. این مسئله باعث ورود آلاینده‌ها به محیط زیست می‌شود که این روند آلودگی خاک، آبهای سطحی و منابع آب زیرزمینی را در پی دارد. روش‌های مختلفی برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده در مناطق صنعتی یا معادن وجود دارد. عمده روش‌های پاک‌سازی خاک‌های مناطق آلوده، اغلب هزینه‌بر بوده و امکان استفاده از آن‌ها در سطوح وسیع وجود ندارد و گاهی اوقات تأثیرات ناخواسته و نامطلوب بر خاک می‌گذارند. همچنین بودجه لازم برای پالایش خاک با روش های مرسوم فیزیکی و شیمیایی بالا می‌باشد. در این میان فن‌آوری استفاده از گیاهان برای استخراج آلاینده‌های عنصری یا به‌عبارتی همان گیاه‌پالایی، کاهش یا محدود کردن انتقال آلاینده‌ها به خاک و آب مورد توجه زیادی قرار گرفته است. گیاه‌پالایی روشی موثر، ارزان قیمت، سازگار با محیط‌زیست و قابل اجرا در سطوح وسیع است. هزینه گیاه‌پالایی در مقایسه با روش‌های فیزیکو-شیمیایی حدود ۱۰ تا ۱۰۰ برابر کمتر است (۹).

از مطالعات صورت گرفته در زمینه گیاه‌پالایی گیاهان مرتعی می‌توان به مطالعات معمری و همکاران (۲۰۱۷) تحت عنوان ارزیابی پتانسیل گیاهان مرتعی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سرب و روی (اراضی مرتعی اطراف شرکت سرب و روی زنجان)؛ ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۴) تحت عنوان ارزیابی تجمع فلزات سنگین در گیاهان رشد یافته در خاک های آلوده (مطالعه موردی: قزوین، ایران) و تحقیق صبا و همکاران (۲۰۱۵) تحت عنوان توانایی گیاهان بومی اطراف مراکز صنعتی استان زنجان برای انباشت فلزات سنگنین اشاره نمود. امروزه تحقیقات مختلف دنبال شناسایی و معرفی گیاهان بیش‌اندوز و مناسب برای جذب و استخراج آلاینده‌ها از آب، هوا و خاک هستند. گیاهان بیش‌اندوز (ابرجاذب)، گیاهانی هستند که بتوانند فلزات را ۱۰۰ برابر بیشتر از گیاهان غیربیش‌اندوز در اندام‌های هوایی خود ذخیره کنند. به‌عبارت دیگر، بیش‌اندوزها گیاهانی هستند که بیش از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیوه؛ ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم؛ ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کبالت، کروم، مس و سرب؛ ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل و روی را در اندام‌های هوایی خود ذخیره کنند (۲۵). توانایی بیش‌اندوزی فلزات در گیاهان، پدیده نسبتاً نادری است که در بعضی از گیاهان اتفاق می‌افتد. این پدیده تا به‌حال در ۴۰۰ گونه از گیاهان آوندی شناسایی شده است (۲۱).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]

مراتع علاوه بر تأمین علوفه مورد نیاز دام، کالاها و خدمات دیگری ازجمله آب سالم، هوای پاک، ترسیب کربن برای کاهش گرمایش جهانی، کاهش فرسایش، تأمین زیستگاه‌هایی برای گونه‌های در معرض خطر و انقراض، حیات وحش، استفاده‌های تفریحی، تولید غذا و فیبر و محیطی منحصر به فرد برای فعالیت‌های فرهنگی و اجتماعی را فراهم می‌کنند. همچنین نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که حدود ۳۰ درصد ارزش مراتع مربوط به چرای دام است و ۷۰ درصد آن مربوط به کالاها و خدمات زیست‌محیطی می‌باشد. در همین راستا، یکی از اهدافی که امروزه در تحقیقات گیاه‌پالایی دنبال می‌شود، استفاده از گیاهان بومی هر منطقه برای پالایش خاک، آب و هوای همان منطقه است. چرا که گیاهان بومی با شرایط اقلیمی و خاکی منطقه سازگار بوده و استقرار و تحمل شرایط مختلف آن منطقه برای گیاه مشکلی ایجاد نخواهد کرد. بنابراین از آنجا که یکی از زمینه‌های تحقیقاتی در مراتع توجه به کارکردهای زیست‌محیطی مراتع و گیاهان مرتعی است و چون *B. tomentellus* از گونه‌های مهم مرتعی می‌باشد که بیومس مناسبی در اندام‌های هوایی و زیرزمینی (یکی از مشخصات مهم گیاهان در گیاه‌پالایی) نیز دارد، در این مطالعه برای کشت و آزمایش توان گیاه‌پالایی آن، مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مطالب فوق و اهمیت توجه به آلودگی اراضی ناشی از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و حمل و نقل به فلزات سنگین و سمی، تحقیق حاضر با هدف استفاده از روش پالایش سبز یا گیاه‌پالایی و مطالعه تأثیر کمپوست زباله شهری و بیوچار بر خصوصیات مرفولوژیکی و توانایی گیاه‌پالایی فلزات کادمیم، سرب، روی، کروم و نیکل توسط *B. tomentellus* انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

خاک استفاده شده در این تحقیق از اراضی اطراف شهرک صنعتی البرز تهیه شد. برخی از خصوصیات این خاک در جدول ۱ ارائه شده است. شهر صنعتی البرز در کنار شهر الوند واقع شده است. شهر الوند دومین شهر بزرگ استان قزوین است که در ۱۴ کیلومتری جنوب شرقی شهر قزوین واقع شده است. شهرک صنعتی البرز بین موقعیت ۵۰ درجه و ۰۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۰۵ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد. شهرک صنعتی البرز از سال ۱۳۴۶ فعالیت خود را شروع کرده است. از مجموع ۹۰۰ هکتار اراضی شهرصنعتی البرز ۵۵۰ هکتار در قسمت شرقی به مناطق صنعتی و ۱۱۲ هکتار به مناطق تجاری اختصاص داده شده است. پساب این شهرک عظیم صنعتی وارد یک تصفیه‌خانه شده و بعد از تصفیه وارد اراضی اطراف می‌شود. با اینکه فاضلاب‌های شهرک تصفیه می‌شوند، ولی آلودگی‌هایی را وارد عرصه می‌کنند، که اندازه‌گیری غلظت برخی از آلاینده‌ها در خاک اطراف شهرک این موضوع را اثبات می‌کند (جدول ۲).

جدول ۱- برخی از خصوصیات خاک مورد استفاده در کشت گلدانی

pH	EC (ds/m)	نسبت جذب سدیم	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100g)	بافت خاک
۷/۲	۰/۵۶	۲/۸	۲۵	رسی سیلتی

مشخصات ***Bromus tomentellus*** **Boiss.**

از آنجایی که *B. tomentellus* یکی از گیاهان مهم مرتعی است و زی‌توده نسبتا مناسبی نیز دارد و به‌دلیل اینکه زی‌توده بالا یکی از مشخصات اصلی گیاهان مناسب برای گیاه‌پالایی است، همچنین این گیاه در مناطق اطراف شهرک صنعتی البرز پراکنش دارد، بنابراین برای استفاده در اهداف گیاه‌پالایی، مورد مطالعه قرار گرفت. به‌عبارت دیگر، در این تحقیق به سایر استفاده‌های گیاه مرتعی *B. tomentellus* مانند کاهش آلاینده‌های محیطی پرداخته خواهد شده است. *B. tomentellus* گیاهی است دائمی با عمر طولانی دارای برگ‌های باریک و آویزان و ریشه‌های نسبتا عمیق با ساقه ماشوره‌ای راست، گاهی در پایین خوابیده، پشته‌ای، صاف، بی‌کرک می‌باشد که در قسمت پایین غلاف‌ها دارای تارهای کوتاه، پهنک برگ باریک خطی دارد. *B. tomentellus* یک گندمی دائمی با توزیع گسترده در بسیاری از نواحی خشک و نسبتاً کم آب ایران و کشورهای همسایه دیده می‌شود. اکوتیپ‌های *B. tomentellus* هم به شرایط محیطی سرد و خشک و هم سرد و مرطوب به‌خوبی سازگار شده‌اند در اراضی مورد

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]

کشت، اکوتیپ‌های بومی ایران، هم به‌صورت مجزا و هم مخلوط با گراس‌ها و لگوم‌ها رشد می‌نماید. در اراضی ایران در مناطق نیمه‌استپی معتدل (مراتع تپه ماهور و کوهستانی شیراز، شرق و شمال شرق گنبد و شمال گرگان) و مناطق نیمه‌استپی سرد (مراتع کوهستانی قزوین، زنجان، تبریز، ارومیه، همدان، اراک و مشهد) با ۴۵۰ – ۲۵۰ میلی‌متر بارندگی وجود دارند (۳).

روش تحقیق

بعد از تعیین مقدار آلایندگی خاک به فلزات سنگین، خاک مورد نیاز در کشت گلدانی از نقاط مختلف (۱۵ نقطه) اراضی اطراف تصفیه‌خانه به‌صورت تصادفی جمع‌آوری شد. این خاک به گلخانه گروه زراعت پردیش کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شد. بعد از هواخشک شدن، خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و نمونه‌های مختلف با یکدیگر مخلوط شدند و یک خاک ترکیبی از چند نقطه اطراف تصفیه خانه برای کشت گلدانی آماده گردید. مقدار عناصر سنگین سرب، روی، کادمیوم، کروم و نیکل خاک مورد استفاده در کشت گلدانی، در جدول ۲ ارائه شده و با محدوده نرمال و بحرانی در خاک‌ها مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که از بین فلزات موردمطالعه در منطقه، مقدار سرب و کادمیوم از حداکثر مقدار مجاز آن در خاک تجاوز کرده است. غلظت سایر فلزات روی، نیکل و کروم از حداکثر مقدار مجاز کمتر بوده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، غلظت همه فلزات موردمطالعه، از محدوده نرمال آن‌ها در خاک بیشتر است. بذر گونه *Bromus tomentellus* از موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد. کمپوست زباله شهری و بیوچار از گروه خاکشناسی پردیش کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه گردید. برخی از مشخصات این مواد در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین در خاک منطقه مورد استفاده در کشت گلدانی و مقایسه با محدوده بحرانی و نرمال در خاک

فلز	غلظت (mg/kg)	حداکثر مقدار مجاز در خاک (mg/kg)*	محدوده نرمال فلزات در خاک (mg/kg)**
سرب	۶۸۰	۱۰۰	۱-۰/۲۰
روی	۲۵۰/۰۵	۳۰۰	۳-۵۰
کادمیوم	۸/۱۸۹	۳	۱-۰/۱
نیکل	۵۰/۱۵	۶۰	۲-۵
کروم	۴۰/۵۳	۱۰۰	۲-۵۰

* کاباتا و پندیاس (۲۰۱۱) ** کلوک (۱۹۸۰)

جدول ۳- برخی از خصوصیات کمپوست زباله شهری و بیوچار مورد استفاده در کشت گلدانی

ماده	pH	EC (ds/m)	کربن (٪)	نیتروژن (٪)	وزن مخصوص (g/cm^3)	رطوبت (٪)	سرب (mg/kg)	روی (mg/kg)	کادمیم (mg/kg)
بیوچار	۹	۸/۲۵	۱۰/۸	۰/۷۵	رسی سیلتی	-	-	-	-
کمپوست زباله شهری	۶/۹	۳/۶	۱۶/۷	۱/۴	-	۹	۲۰/۱	۱۷۴	۲/۶

به تعداد مورد نیاز گلدان‌های چهار (۴) کیلوگرمی آماده شدند. برای کاهش خروج فلزات سنگین از سوراخ‌های زهکشی ته گلدان‌ها، با چسب کاغذی این سوراخ‌ها بسته شدند. سپس خاک تیمار شده با کمپوستزباله شهری و بیوچار به گلدان‌ها اضافه شد. کشت گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۵ تکرار انجام شد. عوامل آزمایش شامل بستر کشت؛ کمپوست زباله شهری و بیوچار در ۳ سطح (۰، ۱ و ۲ درصد حجمی) و برموس بود.

بعد از آماده‌سازی گلدان‌ها تعداد ۱۰ عدد بذر از برموس در داخل هر گلدان کشت شد. آبیاری گلدان‌ها با استفاده از آب مقطر (برای جلوگیری از افزوده شدن ناخالصی‌های آب شهر به خاک گلدان‌ها) و به‌صورت یک روز در میان به مدت ۶ ماه انجام شد (۲).

برداشت نمونه‌های گیاه و خاک و تعیین مقدار کل فلزات سنگین مورد نظر در نمونه‌های گیاه و خاک

بعد از اینکه رشد گیاه به اندازه موردنظر رسید (شروع سنبله‌دهی)، اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه جمع‌آوری شدند. نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شده از گلخانه به آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]

منتقل شدند. در آزمایشگاه نمونه‌های گیاهی به دو بخش هوایی و زیرزمینی تفکیک شدند. نمونه‌های ریشه گیاهان برای حذف ذرات خاک با آب مقطر شستشو شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس داخل آون قرار داده شدند. بعد از خشک شدن، نمونه‌ها آسیاب شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند (۷).

برای استخراج فلزات سنگین کادمیم، سرب، روی، کروم و نیکل مورد نظر در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه، از هضم به‌وسیله اسیدسولفوریک غلیظ و آب اکسیژنه استفاده شد (۱۹).

نمونه‌های خاک به آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل و پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، به‌طور یکنواخت مخلوط شدند (۱۵). مقدار کل فلزات در نمونه‌های خاک، بعد از هضم با اسیدنیتریک ۴ مولار در دستگاه دابن‌مایر با دمای ۶۰ درجه سلسیوس و مدت ۱۴ ساعت استخراج شد. برای استخراج مقدار تبادلی فلزات سنگین از محلول DTPA[1] (تتریپلکس ۵) استفاده شد. در نهایت غلظت فلزات کادمیم، سرب، روی، کروم و نیکل با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل GBC Avanta ساخت کشور استرالیا اندازه‌گیری شد (۱۰).

تعیین شاخص‌های TF، BCF و BAC برای ارزیابی توانمندی گیاه برای گیاه‌پالایی

برای ارزیابی توانمندی گیاهان و معرفی آنها برای پالایش آلودگی، بایستی بعد از مشخص کردن مقدار فلزات سنگین قابل استخراج در نمونه‌های گیاهی و خاک، شاخص‌های TF[2] (فاکتور انتقال؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت فلز در ریشه)، BCF[3] (فاکتور تجمع بیولوژیکی؛ نسبت غلظت فلز در ریشه گیاه به غلظت فلز در خاک)، BAC[4] (ضریب تجمع بیولوژیکی؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت فلز در خاک)، را اندازه‌گیری کرد و بر اساس این شاخص‌ها، توانایی گیاه برای پالایش خاک‌های آلوده ارزیابی گردد. چرا که پتانسیل گیاه‌پالایی یک گونه با استفاده از فاکتور انتقال (TF)، فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF) و ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC) محاسبه می‌شود. اگر TF بزرگتر از یک باشند، گیاه موردنظر برای گیاه‌استخراجی[5] آلاینده‌ها مناسب است. همچنین گیاهانی که مقدار شاخص‌های TF و BAC در آنها بزرگتر از یک باشد، برای فرآیند گیاه‌استخراجی مناسب هستند. گیاهانی که در آنها مقدار TF کمتر از یک و مقدار BCF بیشتر از یک باشد، برای فرآیند گیاه‌تثبیتی[6] مناسب هستند (۲۷).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

طرح به‌صورت آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار انجام شد. تیمارهای بستر کاشت شامل کمپوست زباله شهری و بیوچار (در دو سطح ۱ و ۲ درصد) به همراه شاهد بودند. در نهایت برای تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات اندازه‌گیری‌شده از آزمون تجزیه واریانس و نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون توکی استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

الف) اثر کاربرد تیمارها بر غلظت فلزات کادمیم، سرب، روی، کروم و نیکل

نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت کادمیم اندام‌های هوایی، ریشه، غلظت کادمیم کل خاک و تبادلی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر کاربرد تیمارها بر غلظت کادمیم گیاه و خاک نشان داد که کاربرد تیمارهای مختلف سبب افزایش معنی‌داری در جذب کادمیم در اندام‌های هوایی و ریشه *B. tomentellus* شدند. به‌طوری که تیمار بیوچار ۱ درصد سبب افزایش ۵ برابری کادمیم در ریشه *B. tomentellus* و افزایش ۶ برابری کادمیم در اندام‌های هوایی *B. tomentellus* نسبت به شاهد شد. تیمار بیوچار ۲ درصد باعث کاهش بیشترین مقدار کادمیم باقیمانده در خاک شد. به‌علاوه بیشترین مقدار کادمیم

[1]-Diethylenetriaminepentaacetic acid
[2]- Translocation Factor
[3]- Bio Concentration Factor
[4]- Biological Accumulation Coefficient

[5] - Phytoextraction
[6] - Phytoestablization

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]

تبادلی در تیمار کمپوست ۲ درصد مشاهده شد (شکل ۱ و ۲).

اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت سرب اندام‌های هوایی، ریشه، سرب کل خاک و تبادلی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بین کاربرد کمپوست زباله شهری در سطح ۱ و ۲ درصد و بیوچار در سطح ۲ درصد با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و تأثیر معنی‌داری بر جذب سرب در ریشه گیاه *B. tomentellus* نداشت. ولی تیمار بیوچار ۱ درصد سبب افزایش جذب سرب توسط ریشه گیاه و با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. بین تیمارهای مختلف مورد استفاده در جذب سرب توسط اندام‌های هوایی *B. tomentellus* با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. به‌طوری که بیشترین مقدار جذب سرب در تیمار بیوچار ۱ درصد و کمترین مقدار آن در تیمار بیوچار ۲ و کمپوست ۲ درصد اتفاق افتاد. اثر تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش بر روی غلظت سرب کل در خاک معنی‌دار شد و در تیمار بیوچار ۲ درصد مقدار سرب باقیمانده در خاک کمتر از سایر تیمارها بود. به‌علاوه بیشترین مقدار سرب تبادلی خاک در تیمار بیوچار ۱ درصد مشاهده شد (شکل ۳ و ۴).

اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت روی اندام‌های هوایی، ریشه، غلظت روی کل خاک و تبادلی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). کاربرد تیمارهای مختلف سبب افزایش معنی‌داری در جذب روی در اندام‌های هوایی و ریشه *B. tomentellus* شدند. به‌طوری که تیمار بیوچار ۱ درصد بیشترین تأثیر را بر افزایش روی در اندام‌های هوایی و ریشه *B. tomentellus* داشتند. کمترین مقدار روی باقیمانده در تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار روی تبادلی خاک در تیمار کمپوست ۱ درصد مشاهده شد (شکل ۵ و ۶).

اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت کروم اندام‌های هوایی، ریشه و غلظت کروم کل خاک در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد، اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر کروم تبادلی خاک معنی‌دار نشد (جدول ۴). ولی بین تیمارهای مورد استفاده و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۷ و ۸).

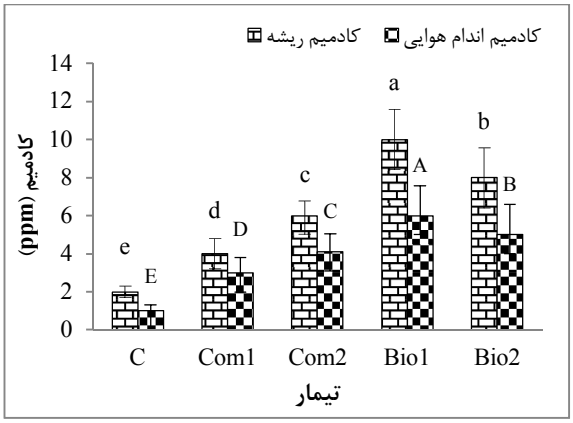
اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت نیکل اندام‌های هوایی، ریشه، نیکل کل خاک و تبادلی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. بیشترین تأثیر تیمارها بر جذب نیکل توسط ریشه در تیمار کمپوست ۱ درصد و بیوچار ۲ درصد اتفاق افتاد. کمترین مقدار آن نیز در تیمار شاهد اتفاق افتاد. همچنین بیشترین تأثیر تیمارها بر جذب نیکل توسط اندام‌های هوایی در کمپوست ۲ درصد اتفاق افتاد. کمترین مقدار آن نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۹ و ۱۰). اثر تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش بر روی غلظت نیکل کل در خاک معنی‌دار شد. درحالی‌که تأثیر تیمارهای مختلف بر قابلیت دسترسی نیکل در خاک معنی‌دار نشد (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت کادمیم خاک، اندام‌های هوایی و زیرزمینی

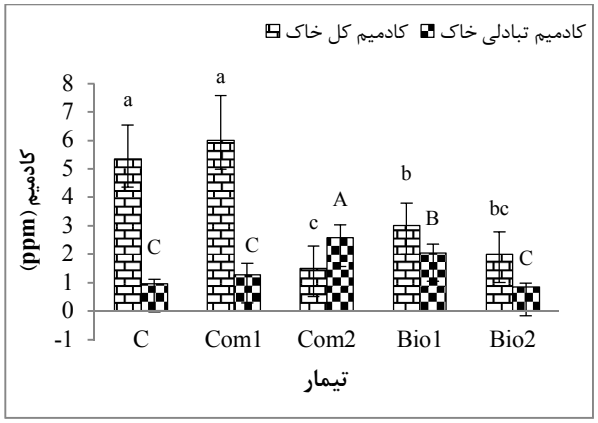
فلز	منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
			ریشه	اندام هوایی	کل خاک	تبادلی خاک
کادمیم	تیمار	۴	۵۰/۰۰**	۱۰۵/۸۱**	۲۰/۱۸۵**	۲/۷۵۵**
	خطا	۲۰	۱/۲۷	۱/۳۳	۱/۱۶۶	۰/۱۰۷
سرب	تیمار	۴	۳۹۶۴/۰۰^{ns}	۸۰۵۶۰/۰۰**	۲۸۰۰۸۰/۰۸**	۱۲۵۶۲/۹۳**
	خطا	۲۰	۲۵۰/۰۰	۲۱۲/۵	۲۵۶/۱۵	۲۲۶/۵
روی	تیمار	۴	۹۳۹۱/۷۶**	۳۸۱۱۲/۱۶**	۱۶۶۳۹/۹**	۸۹۴/۷۸**
	خطا	۲۰	۲۴۰/۶۶	۷۲/۳۸	۳۷/۲	۱۳/۹۴
کروم	تیمار	۴	۸۶/۸۵*	۴/۳۴**	۴۴۳/۳۸**	۰/۰۰^{ns}
	خطا	۲۰	۲۵/۵۹	۱/۳۶	۲۸/۲۶	۰/۰۰
نیکل	تیمار	۴	۶۴/۰۰**	۶/۳۴*	۱۵۸/۵**	۰/۴۹۴^{ns}
	خطا	۲۰	۸/۰۰	۱/۶۶	۵/۸۹	۰/۴

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

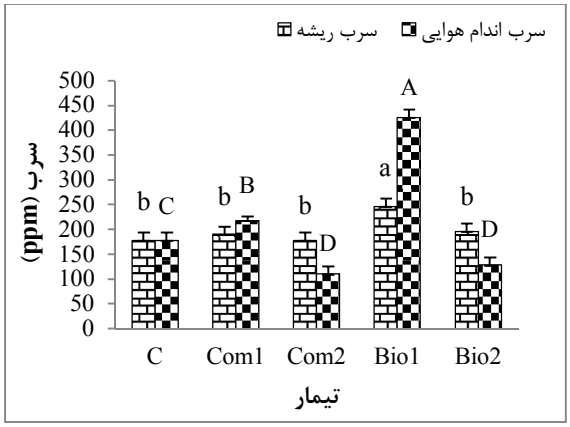
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]



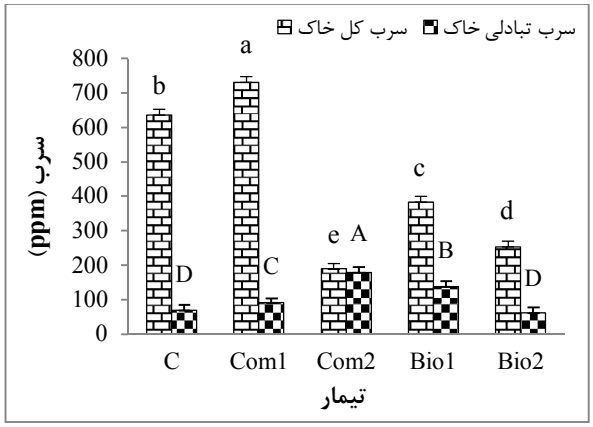
شکل ۱- اثر تیمارها بر غلظت کادمیم اندام‌های هوایی و ریشه برموس



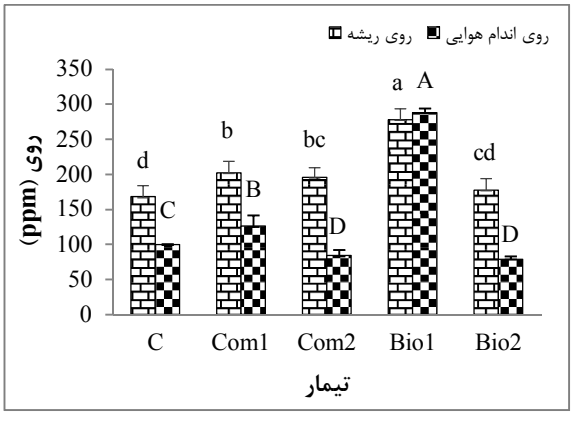
شکل ۲- تأثیر تیمارها بر غلظت کادمیم کل و تبادلی خاک برموس



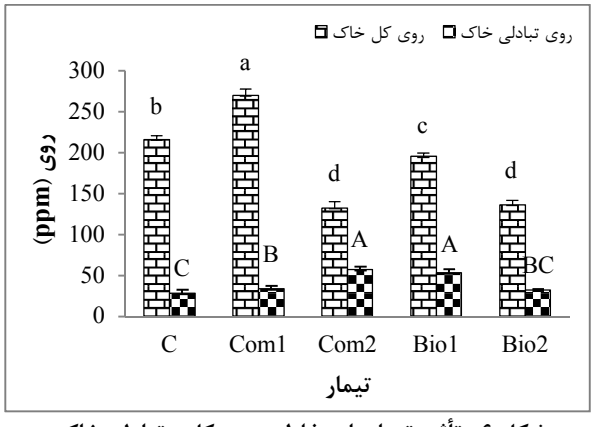
شکل ۳- اثر تیمارها بر غلظت سرب اندام‌های هوایی و ریشه



شکل ۴-تأثیر تیمارها بر غلظت سرب کل و تبادلی خاک



شکل ۵- اثر تیمارها بر غلظت روی اندام‌های هوایی و ریشه

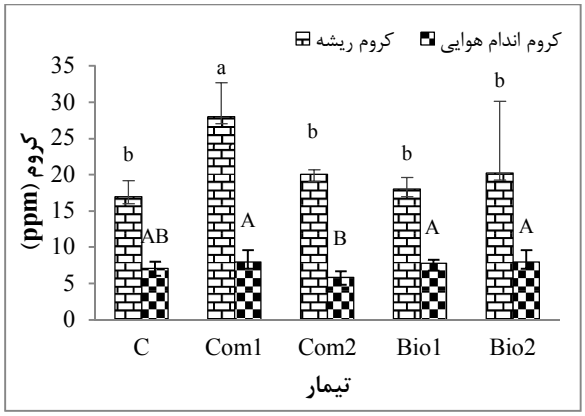


شکل ۶- تأثیر تیمارها بر غلظت روی کل و تبادلی خاک

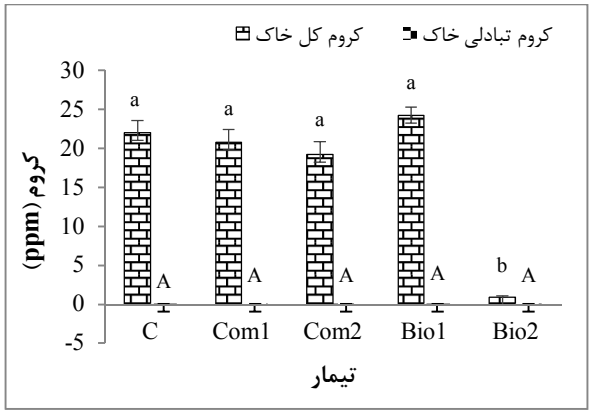
C: تیمار شاهد؛ com1: سطح اول کمپوست (کمپوست یک درصد)؛ com2: سطح دوم کمپوست (کمپوست دو درصد)؛ Bio1: سطح اول بیوچار (بیوچار یک درصد)؛ Bio2: سطح دوم بیوچار (بیوچار دو درصد) (حروف غیر مشترک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد توسط آزمون توکی هستند، هر ستون میانگین ۵ عدد است)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

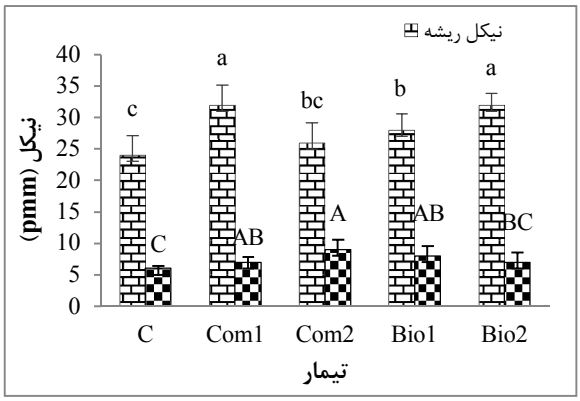
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]



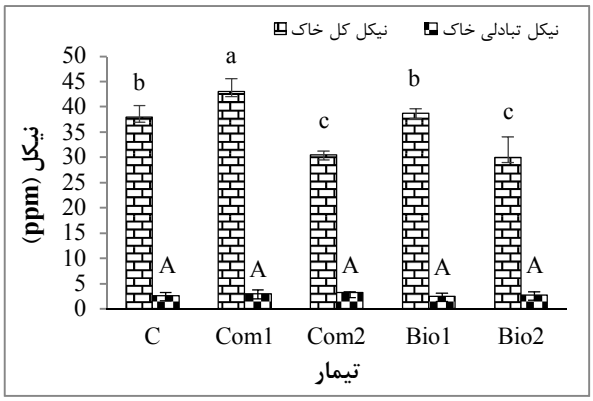
شکل ۷- اثر تیمارها بر غلظت کروم اندام‌های هوایی و ریشه



شکل ۸- تأثیر تیمارها بر غلظت کروم کل و تبادلی خاک



شکل ۹- اثر تیمارها بر غلظت نیکل اندام‌های هوایی و ریشه



شکل ۱۰- تأثیر تیمارها بر غلظت نیکل کل و تبادلی خاک

C: تیمار شاهد؛ com1: سطح اول کمپوست (کمپوست یک درصد)؛ com2: سطح دوم کمپوست (کمپوست دو درصد)؛ Bio1: سطح اول بیوچار (بیوچار یک درصد)؛ Bio2: سطح دوم بیوچار (بیوچار دو درصد) (حروف غیر مشترک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد توسط آزمون توکی هستند، هر ستون میانگین ۵ عدد است)

ب) اثر کاربرد تیمارها بر شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاه‌پالایی گونه *B. tomentellus*

نتایج بررسی اثر تیمارهای مورد مطالعه بر تجمع و انتقال کادمیم نشان داد که در همه تیمارها مقدار TF برای کادمیم بزرگتر از یک شده و از آنجایی که مقدار BAC نیز در همه تیمارها بیشتر از یک است، گیاه *B. tomentellus* دارای توانایی مناسبی در گیاه‌استخراجی کادمیم می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان یک گونه بیش‌اندوزگر عمل کند (جدول ۵).

در مورد فلز سرب نیز نتایج نشان داد در همه تیمارها (به‌جز تیمار کمپوست ۲ درصد و بیوچار ۲ درصد) مقدار TF بزرگتر از یک است (جدول ۵). بنابراین گیاه *B. tomentellus* می‌تواند طی عمل گیاه‌استخراجی باعث جذب و استخراج سرب از خاک شود.

در تیمار بیوچار ۱ درصد مقدار TF برای فلز روی بزرگتر از یک شده و بر اساس مقادیر BAC و BCF نیز که بیشتر از یک است، بنابراین *B. tomentellus* می‌تواند طی عمل گیاه‌استخراجی باعث جذب و استخراج روی شود. ولی در تیمارهای بیوچار ۲ درصد و کمپوست ۲ درصد چون مقدار TF کمتر از یک است و مقدار BCF بزرگتر از یک است، این گیاه از طریق فرآیند گیاه‌تثبیتی باعث تثبیت روی می‌شود (جدول ۵).

از آنجاییکه در همه تیمارهای مورد استفاده در این مطالعه، مقدار شاخص TF برای کروم کمتر از یک است، بنابراین این گیاه نمی‌تواند با فرآیند گیاه‌استخراجی باعث پالایش کروم خاک شود. ولی تحت تیمارهای کمپوست ۱ و ۲ درصد و بیوچار ۲ درصد احتمالاً گیاه بتواند از طریق فرآیند گیاه‌تثبیتی باعث تثبیت کروم در خاک شود (جدول ۵).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]

نتایج نشان داد در همه تیمارهای مورد استفاده در این مطالعه، مقدار شاخص TF برای فلز نیکل کمتر از یک است (جدول ۵)، بنابراین این گیاه نمی‌تواند با فرآیندهای گیاه‌استخراجی و یا گیاه‌تثبیتی، باعث پالایش نیکل خاک شود.

جدول ۵- شاخص‌های تجمع و انتقال برای ارزیابی توانایی گیاه‌پالایی توسط *B. tomentellus*

فلز	تیمار	فاکتور انتقال (TF)	فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF)	ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC)
کادمیم	شاهد	**۲/۰۲**	۰/۳۷	۰/۷۴۸
	کمپوست ۱ درصد	**۱/۵۱**	۰/۶۶۷	۱/۰۰
	کمپوست ۲ درصد	**۱/۳۵**	۴/۰	۵/۴
	بیوچار ۱ درصد	**۱/۶۱**	۳/۳۳	۵/۳۳
	بیوچار ۲ درصد	**۱/۲۵**	۴/۰	۵/۰۰
سرب	شاهد	**۱/۰۰**	۰/۲۸	۰/۲۸
	کمپوست ۱ درصد	**۱/۱۴**	۰/۲۶	۰/۲۹
	کمپوست ۲ درصد	۰/۶۲	۰/۹۴	۰/۵۸
	بیوچار ۱ درصد	**۱/۷۳**	۰/۶۴	۱/۱۱
	بیوچار ۲ درصد	۰/۶۵	۰/۷۷	۰/۵۰۵
روی	شاهد	۰/۶	۰/۷۷۷	۰/۴۶۲
	کمپوست ۱ درصد	۰/۶۲۱	۰/۷۵	۰/۴۶۵
	کمپوست ۲ درصد	۰/۴۲۸	۱/۴۷	۰/۶۳۲
	بیوچار ۱ درصد	**۱/۰۴**	۱/۴۲	۱/۴۷
	بیوچار ۲ درصد	۰/۴۵	۱/۳	۰/۵۸
کروم	شاهد	۰/۴۰۵	۰/۸۱۴	۰/۳۳
	کمپوست ۱ درصد	۰/۲۸۵	۱/۰۱	۰/۲۸۸
	کمپوست ۲ درصد	۰/۲۸۸	۱/۰۵	۰/۳۰۳
	بیوچار ۱ درصد	۰/۴۳۵	۰/۷۴	۰/۳۲۲
	بیوچار ۲ درصد	۰/۸۷	۲۳/۷۷	۹/۱۵
نیکل	شاهد	۰/۲۵۴	۰/۶۳	۰/۱۶
	کمپوست ۱ درصد	۰/۲۴۷	۰/۷۴۳	۰/۱۸۲
	کمپوست ۲ درصد	۰/۳۴۶	۰/۸۵۵	۰/۲۹۶
	بیوچار ۱ درصد	۰/۲۸۸	۰/۷۲۳	۰/۲۰۶
	بیوچار ۲ درصد	۰/۲۲	۱/۰۸	۰/۲۳۶

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از عوامل بهبوددهنده شرایط خاک به‌منظور رشد گیاهان افزودن انواع مواد آلی به محیط کشت است. مواد آلی قادر به افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (۶) هستند که البته بسته به نوع مواد آلی، میزان ظرفیت تبادل کاتیونی تغییر می‌کند و همچنین افزایشی که در میزان هوادهی در خاک و همچنین بهبود ساختار فیزیکی خاک (مارتینز و والکر، ۲۰۱۲) ایجاد می‌نماید، شرایط را برای افزایش تولید زی‌توده گیاهی و نیل به گیاه‌پالایی بیشتر ارتقا دهند. مواد آلی باعث تثبیت توده‌های خاک و زیست‌فراهمی نمودن کاتیون‌های فلزی در خاک می‌شوند (۵ و ۱۷).

نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار بیوچار ۱ درصد سبب افزایش ۵ برابری کادمیم در ریشه برموس و افزایش ۶ برابری کادمیم در اندام‌های هوایی برموس نسبت به شاهد شد. دلیل این امر آن است که این ماده باعث افزایش انتقال کادمیم از خاک به اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاه شده است. همچنین به‌دلیل اینکه تیمار بیوچار ۱ درصد باعث افزایش زیست‌فراهمی کادمیم در خاک شده است، بنابراین مقدار جذب آن توسط گیاه نیز افزایش یافته است. تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش (به‌جز تیمار کمپوست ۱ درصد که اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت) باعث کاهش غلظت کادمیم کل در خاک شده‌اند. این امر نشان می‌دهد که مقدار استخراج فلز از خاک در این تیمارها بیشتر بوده است. همچنین تیمارهای موردمطالعه (به‌جز بیوچار ۲ درصد) باعث افزایش فراهمی کادمیم تبادلی خاک شدند. در این ارتباط وانگ و همکاران (۲۰۱۱) بیان می‌کنند

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]

که بیوچار میل به جذب قوی فلزات سنگین دارد. علاوه بر این، بیوچار پیرولیتی توانایی و ظرفیت بالایی برای جذب مس، سرب و کادمیم از محلول‌های آبی و خاک دارد. نتایج نشان داد که با افزایش درصد بیوچار در محیط کشت گیاه، مقدار تبادلی کادمیم در خاک کاهش یافت.

تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش به‌جز تیمار بیوچار ۱ درصد، در جذب سرب تاثیر معنی‌داری نداشتند. تیمار بیوچار ۱ درصد سبب افزایش جذب سرب توسط ریشه گیاه شد و با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین تیمار کمپوست ۱ درصد و بیوچار ۱ درصد سبب افزایش جذب سرب توسط اندام‌های هوایی *B. tomentellus* شدند. این امر نشان می‌دهد که افزایش درصد کمپوست زباله شهری و بیوچار در محیط کشت گیاه، باعث کاهش جذب، تجمع و انتقال فلز سرب در گیاه شده است. در این زمینه فلت و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به‌منظور اصلاح و پالایش پسماندهای معدن با بیوچار به‌دست آمده از باغستان آلو بیان کردند که کاربرد بیوچار باعث افزایش pH و CEC خاک شده و زیست‌فراهمی کادمیم، سرب و روی در خاک را کاهش داد. اثر تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش بر غلظت سرب کل در خاک معنی‌دار شد و در تیمار بیوچار ۲ درصد مقدار سرب باقیمانده در خاک کمتر از سایر تیمارها بود. همه تیمارهای مورد استفاده (به‌جز تیمار بیوچار ۲ درصد) باعث افزایش قابلیت دسترسی سرب در خاک شده‌اند. که این امر نیز نشان می‌دهد افزایش درصد ماده آلی در خاک محیط کشت گیاه، سبب کاهش فراهمی فلز در محلول خاک می‌شود. در این ارتباط چرم و علیزاده (۱۳۸۸) بیان کردند که کاربرد کلات‌کننده‌های کمپوست و EDTA در خاک تحت شرایط گلخانه‌ای، سبب افزایش حلالیت و فراهمی سرب و کادمیم خاک در پایان آزمایش شد که شاید مهم‌ترین دلیل آن را بتوان به تشکیل کمپلکس پایدار کلات‌کننده‌ها با این فلزات و جلوگیری از رسوب آنها در خاک ارتباط داد. فلزات سنگین با مواد آلی موجود در خاک کمپلکس تشکیل داده و EDTA این فلزات سنگین کمپلکس شده را به‌صورت محلول در می‌آورند.

کاربرد تیمارهای مختلف سبب افزایش معنی‌داری در جذب روی در اندام‌های هوایی و ریشه *B. tomentellus* شدند. به‌طوری که تیمار بیوچار ۱ درصد بیشترین تأثیر را بر افزایش روی در اندام‌های هوایی و ریشه *B. tomentellus* داشتند. این امر نشان می‌دهد تیمار بیوچار باعث افزایش زیست‌فراهمی روی در محلول خاک شده و در نتیجه انتقال آن به گیاهان افزایش یافته است. در حالی که با افزایش درصد مواد بهساز کمپوست و بیوچار به بستر کاشت گیاه، زیست‌فراهمی و در نتیجه جذب، تجمع و انتقال روی در گیاه کاهش یافته است. در این ارتباط فتوت و حلاج‌نیا (۱۳۹۲) بیان کردند که کاربرد مواد آلی موجود در کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب در شرایط گلخانه‌ای، به‌طور عمده موجب افزایش فلزات کادمیم، سرب و نیکل در فرم مواد آلی و شکل قابل‌استخراج آن‌ها با DTPA گردید. درنتیجه این امر باعث افزایش ورود این فلزات با اندام‌های گیاهان خواهد شد. تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش (به‌جز تیمار کمپوست ۱ درصد) باعث کاهش غلظت روی کل در خاک شدند. همچنین همهٔ تیمارهای موردمطالعه باعث افزایش فراهمی روی تبادلی خاک شدند. که با نتایج چرم و علیزاده (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

بیشترین تأثیر تیمارها بر جذب نیکل توسط ریشه در تیمار کمپوست ۱ درصد و بیوچار ۲ درصد اتفاق افتاد. همچنین بیشترین تأثیر تیمارها بر جذب نیکل توسط اندام‌های هوایی در کمپوست ۲ درصد اتفاق افتاد. این امر نشان می‌دهد که این تیمارها در جذب و انتقال نیکل به ریشه و اندام‌های هوایی *B. tomentellus* تاثیر مثبتی داشته و احتمالاً این مواد کلات‌کننده سبب تشکیل کمپلکس پایدار کلات‌کننده‌ها –فلز شده و حلالیت نیکل در خاک افزایش یافته که در نتیجه باعث جلوگیری از رسوب آنها در خاک شد و باعث ورود به اندم‌های زیرزمینی و هوایی گیاه شده است. اثر تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش بر روی غلظت نیکل کل در خاک معنی‌دار شد. که این امر نشان می‌دهد تیمارهای مورد استفاده باعث افزایش جذب نیکل از خاک و در نتیجه حذف آن و تجمع در گیاه شده‌اند. درحالی‌که تأثیر تیمارهای مختلف بر قابلیت دسترسی نیکل در خاک معنی‌دار نشد. این با نتایج بیسلی و مارمیرولی (۲۰۱۱) مطابقت دارد که گزارش کردند در شرایط آزمایشگاهی بیوچار پتانسل قوی برای غیرفعال‌سازی فلزات سنگین در خاک‌های آلوده دارد. بیوچار پتانسل مناسبی در بهبود خصوصیات خاک، تولید محصول و ترسیب کربن در

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]

خاک را دارد. بیوچار می‌تواند تحرک فلزاتی مانند آرسنیک محلول، کادمیم و روی انتخاب شده را در خاک آلوده کاهش دهد.

بر اساس نتایج حاصل از شاخص‌های TF و BAC می‌توان نتیجه گرفت که گیاه *B. tomentellus* کاندیدای مناسبی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به کادمیم در منطقه می‌باشد. که این احتمالاً این امر از طریق فرآیند گیاه‌استخراجی انجام می‌شود. در مورد فلز سرب فقط در تیمارهای کمپوست و بیوچار ۱ درصد، مقدار TF بزرگتر از یک شده و گیاه قادر به استخراج سرب از خاک از طریق فرآیند گیاه‌استخراجی خواهد بود. مقدار TF برای فلز روی تنها در تیمار بیوچار ۱ درصد بزرگتر از یک بود و بر اساس مقادیر BAC و BCF نیز که بیشتر از یک است، بنابراین احتمالاً *B. tomentellus* می‌تواند طی عمل گیاه‌استخراجی باعث جذب و استخراج روی از خاک شود. در مورد فلزات کروم و نیکل احتمالاً این گیاه گزینه مناسبی برای گیاه‌پالایی این فلزات نبوده و یا تنها باعث تثبیت آنها در خاک خواهد شد.

در مجموع با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، بهترین تیمار برای بهبود توان گیاه‌پالایی *B. tomentellus* در جذب و استخراج فلزات کادمیم، سرب و روی، بیوچار ۱ درصد می‌باشد. درحالی‌که بهترین تیمار در افزایش توان گیاه‌پالایی این گیاه برای فلز نیکل، کمپوست ۱ درصد و بیوچار ۲ درصد می‌باشند. به‌طورکلی بر اساس نتایج حاصل از کاربرد تیمارهای کمپوست و بیوچار و مقادیر شاخص‌های TF، BCF و BAC، گونه *B. tomentellus* می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مناسب برای پالایش خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم در منطقه مورد مطالعه معرفی گردد. این نشان‌دهنده توانایی بالای این گیاه در انتقال آلاینده‌های سرب و کادمیم از ریشه به اندام‌های هوایی است. البته برای معرفی گیاه به‌منظور پالایش خاک‌های آلوده لازم است در شرایط عرصه‌ای و طبیعی نیز تحقیقی به‌صورت طرح آزمایشی انجام گیرد. این گیاه از گونه‌های مرتعی مهم، پرتولید و بومی منطقه است که می‌توان به‌عنوان یک گونه علوفه‌ای در اراضی اطراف شهرک صنعتی البرز یا در مرزهای اراضی کشاورزی که تحت کشت سایر محصولات کشاورزی هستند، کشت‌شده و با توجه به اینکه در اراضی اطراف شهرک از آب تصفیه‌خانه شهرک استفاده می‌گردد، گونه مدنظر می‌تواند تولید قابل‌توجهی داشته باشد و در چند چین برداشت شود. این امر باعث استخراج قابل‌توجه فلزات سنگین سرب و کادمیم (که جزو خطرناک‌ترین آلاینده‌ها محسوب می‌شوند)، از خاک‌های آلوده منطقه خواهد شد. بیومس برداشت شده را می‌توان بعد از برداشت از منطقه خارج نمود و در مناطق خاص آتش زد و یا برای اهداف غیرعلوفه‌ای مانند زیرسازی جاده‌ها، بلوک‌سازی و مصالح ساختمانی استفاده نمود.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی می‌باشد که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۲۷ تصویب و با حمایت معاونت آموزش و پژوهش سازمان حفاظت محیط‌زیست اجرا گردید و در زمستان ۱۳۹۴ گزارش نهایی آن به تایید رسید. که در اینجا مراتب قدردانی خود را از ریاست محترم سازمان محیط‌زیست و معاونت محترم آموزش و پژوهش سازمان حفاظت محیط‌زیست اعلام می‌داریم.

References

1. Ahmadi, B., 2012. The role of heavy metals in human health. Available at: Resources heavy metals.
2. Ait Ali. N., M.P. Bernal & M. Ater, 2004. Tolerance and bioaccumulation of Cd by *Phragmites australis* grown in the presence of elevated concentration of cadmium, copper, and zinc. Aquat. Bot, 80:163-176.
3. Azarnivand, H. & M.A. Zarechahuki., 2009. Range improvement. Tehran University Press. 353 p. (In Persian)
4. Beesley, L. & M. Marmiroli., 2011. The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. Environmental Pollution, 159: 474-480.
5. Boguta, P. & Z. Sokolowska., 2012. Influence of phosphate ions on buffer capacity of soil humic acids. International Agrophysics, 26(1): 7-14.
6. Bohn, H.L., B.L. McNeal & G.A. Oconnor, 1985. Soil Chemistry. 2nd edition. Wiley, New York.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]

7. Bonanno, G. & R.L. Giudice., 2010. Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. Ecological Indicators, 10: 639-645.
8. Charm, M. & A. Alizadeh., 2009. Effects of sugarcane residue compost and EDTA (ethylene di-tetra-acetic acid) for remediation of soils contaminated canola in cadmium, lead and nickel. Journal of Soil and Water (agricultural sciences and technology), 23 (2): 29-20. (In Persian)
9. Cunningham, SD., WR. Berti & JW. Huang, 1995. Phytoremediation of contaminated soils. Trends Biotechnol, 13: 393–397.
10. Du Laing, G., F.M.G. Tack & M.G. Verloo, 2003. Performance of selected destruction methods for the determination of heavy metals in reed plants Phragmites australis. Jour. Analyt. Chim. Acta, 49: 191–198.
11. Ebrahimi, M., M. Jafari., Gh.R. Savaghebi., H. Azarnivand., A. Tavili & F. Madrid, 2014. Investigation of Heavy Metals Accumulation in Plants Growingin Contaminated Soils (Case Study: Qazvin Province, Iran). Journal of Rangeland Science, 4(2): 91-99. (In Persian)
12. Fellet, G., L. Marchiol Delle., G. Vedove & A. Peressotti, 2011. Application of biochar on mine tailings: effects and perspectives for land reclamation. Chemosphere, 83:1262-1297.
13. Fotovat, A & A. Halajnia., 2013. Effect of municipal solid waste compost and sewage sludge on distribution of various types elements Cadmium, Lead and Nikel in the two types of Calcareous soils. Journal of soil management and sustainable production, 3(2): 115-131.
14. Gaur, A. & A. Adholeya., 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Curr Sci, 86: 528-534.
15. Jafari Haghighi, M., 2003. Methods of Sampling and analysis of soil physical and chemical analysis with emphasis on theory and practical importance. Press Neda Zoha. 236 p.
16. Kabata, A. & H. Pendias., 2011. Trace Metals in Soils and Plants, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 2nd edition.
17. Khaled, H. & H. Fawy., 2011. Effect of Different Levels of Humic Acids on the Nutrient Content, Plant Growth, and Soil Properties under Conditions of Salinity. Soil & Water Res,1: 21–29.
18. Khan, S., L. Aijun., S. Zhang., Q. Hu & Y. Zhu, 2007. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation. Journal of Hazardous Materials.
19. Khattak, M.I. & R. Jabeen., 2012. Detection of heavy metals in leaves of Meliaazedar ach and Eucalyptus Citriodoraaz biomonitoring tools in the region of Quetta valley. Pakistan Journal of Botany, 44 (2): 675-681.
20. Kloke A., 1980. "Richtwerte' 80". "Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte eniger Elemente in Kulturboden", Milt. VDULUFA, 2:9-11.
21. Moameri, M., M. Jafari., A. Tavili., B. Motasharezadeh & MA. Zare Chahouki, 2017. Rangeland Plants Potential for Phytoremediation of Contaminated Soils with Lead, Zinc, Cadmium and Nickel (Case Study: Rangelands around National Lead & Zinc Factory, Zanjan, Iran). Journal of Rangeland Science, 7(2):160-171
22. Panahi, N., 2013. The uses of rangelands plants remove heavy metals from the soil. http://zistboom.com. (In Persian)
23. Reeves, R.D. & R.R. Brooks., 1999. Hyperaccumulation of Lead and Zinc by Two Metallophytes from Mining Areas of Central Europe. Environ. Pollut. Ser. A, 31:277-285.
24. Saba, G., A.H. Parizanganeh., A. Zamani & J. Saba, 2015. Phytoremediation of Heavy Metals Contaminated Environments: Screening for Native Accumulator Plants in Zanjan-Iran. International Journal of Environmental Researched, 9(1): 309-316.
25. Santos, J.A., M.I.S. Gonzaga & L.Q. Ma, 2010. Optimum P levels for arsenic removal from contaminated groundwater by Pteris vittata L. of different ages. J. Hazard. Mater, 180: 662-667.
26. Wang, X.S., H.H. Miao., W. He & H.L. Shen, 2011. Competitive adsorption of Pb (II), Cu (II), and Cd (II) ions on wheat-residue derived black carbon, J. Chem. Eng. Data, 56: 444-449.
27. Yoon, J., X. Cao., Q. Zhou & L.Q. Ma, 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment, 368: 456–464.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.6.5]