مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره شانزدهم ، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۷۰۷ تا ۷۳۰

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

تأثیر کمپوست پسماند شهری بر کاهش سمیت سرب و روی و جذب عناصر غذایی توسط دو گونه دارویی *Marrubium cuneatum* و *Verbascum speciosum* در خاک آلوده به فلزات سنگین

صادق حسین‌نیایی*، محمد جعفری، علی طویلی، سلمان زارع

گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

واژگان کلیدی: کمپوست پسماند شهری، سمیت سرب، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، عناصر تغذیه‌ای

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
sadeghhoseyni71@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: سمیت فلزات سنگین یکی از موضوعات با اهمیت محیط زیست در قرن حاضر است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کمپوست پسماند شهری بر جذب عناصر غذایی و فلزات سرب و روی در گیاهان *Marrubium cuneatum* و *Verbascum speciosum* صورت گرفت.

روش بررسی: در یک آزمایش گلخانه‌ای، کمپوست در چهار سطح (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) به صورت کامل با خاک طبیعی آلوده به سرب و روی ترکیب شد. بعد از شش ماه، گیاهان برداشت و بیومس شاخساره و ریشه تعیین شد. همچنین غلظت عناصر درشت مغذی و ریز مغذی و فلزات سرب و روی در ریشه و اندام هوایی گیاهان و سرب و روی تبادلی خاک با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی همبستگی پارامترهای اندازه‌گیری شده گیاه و خاک، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام شد.

یافته‌ها: کمپوست به طور معنی‌داری وزن خشک شاخساره *M. cuneatum* و *V. speciosum* را به ترتیب تا ۱۳ و ۱۹ درصد بهبود بخشید. کمپوست ۵ درصد به طور قابل ملاحظه‌ای سرب شاخساره را ۶۴ و ۳۴/۴ درصد به ترتیب در *M. cuneatum* و *V. speciosum* نسبت به شاهد کاهش داد. کمپوست در افزایش پتاسیم، فسفر، مس و نیکل نسبت به منیزیم، منگنز و کلسیم مؤثرتر بود. غلظت پتاسیم، مس و فسفر شاخساره گونه‌های *M. cuneatum* و *V. speciosum* با اعمال کمپوست به ترتیب ۲۲ و ۳۲، ۳۰ و ۱۴ و ۱۹ و ۲۱ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. آنالیز PCA نشان داد که از بین عناصر مورد بررسی پتاسیم، فسفر و مس بیشترین تأثیر را از اعمال کمپوست پذیرفته و حداکثر نقش را در بهبود رشد گیاه و کاهش سمیت سرب داشتند.

نتیجه‌گیری: کمپوست پسماند شهری رشد گیاهان *M. cuneatum* و *V. speciosum* را بهبود بخشید و با تثبیت سرب در خاک و در نتیجه کاهش جذب آن، سمیت گیاهی را تقلیل داد.

Please cite this article as: Hosseinniaee S, Jafary M, Tavili A, Zare S. The effect of municipal solid waste compost on the reduction of lead and zinc toxicity and uptake of nutrients by two medicinal species Marrubium cuneatum and Verbascum speciosum in a soil contaminated with heavy metals. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;16(4):707-30.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

مقدمه

آلودگی محیط زیست به معنی تخریب شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی اجزای محیطی است (۱). فلزات سنگین عناصری هستند که در همه جای محیط یافت می‌شوند، اما اگر غلظت آنها از آستانه‌های خاص فراتر رود، آلاینده محسوب می‌شوند. این فلزات به عنوان بخشی از چرخه طبیعی بیوژئوشیمیایی و در اثر عوامل انسانی مانند فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، تخلیه پسماند و از اگزوز خودروها به محیط زیست رها می‌شوند و غلظت آن‌ها در خاک افزایش می‌یابد (۲، ۳). آلودگی خاک به فلزات سنگین ممکن است کیفیت زمین‌های کشاورزی و همچنین عملکرد و کیفیت محصول را کاهش دهد (۴، ۵). برخلاف آلاینده‌های آلی، فلزات سنگین می‌توانند در محیط زیست برای مدت طولانی باقی بمانند، زیرا غیر قابل تجزیه هستند و به دلیل نیمه عمر بیش از ۲۰ سال، ممکن است زنجیره‌های غذایی را تغییر داده و تهدیدی جدی برای سیستم‌های حیاتی باشند (۶-۸). غلظت بالای فلزات سنگین بر تعادل تغذیه‌ای گیاهان نیز تأثیر می‌گذارد (۹). Tezotto و همکاران (۱۰) گزارش دادند که غلظت برگی عناصر ضروری به میزان زیادی تحت تأثیر افزایش دوز فلزات سنگین قرار می‌گیرد و مقادیر بیش از حد باعث سمیت گیاهی می‌شود. سمیت گیاهی با غلظت عناصر ضروری و غیر ضروری خاک مرتبط است، سطوح بیش از حد این فلزات می‌تواند اثرات سمی بر رشد و متابولیسم گیاه ایجاد کند (۱۱). علاوه بر این، مشاهده شده است که سمیت گیاه به دلیل غلظت بالای فلزات، ممکن است با جابجایی عناصر ضروری، اثرات فلز بر ساختار گیاه و اتصال با گروه پروتئین سولفیدریل همراه باشد (۱۲). سرب به عنوان یک عنصر غیر ضروری، بالقوه سمی است و به عنوان سم پروتوپلاسمی شناخته شده است که عمدتاً به عنوان ماده افزودنی رنگدانه‌ها، آفت کش‌ها، کودها و بنزین استفاده می شود (۱۳). غلظت آن در خاک معمولا ۵۰ mg/kg است و در سطوح بالاتر برای رشد و نمو گیاهان کشنده است (۱۴، ۱۵). این عنصر در تعادل آب و مواد مغذی معدنی اختلال ایجاد کرده و فعالیت‌های آنزیمی و عمل فتوسنتز را متوقف می‌کند، همچنین تقسیم سلولی را به تاخیر می‌اندازد و در نهایت باعث مرگ سلولی در گیاهان می‌شود (۱۶). روی یک جزء طبیعی خاک است و یک عنصر حیاتی برای رشد گیاه است، زیرا عملکردهای ضروری را در مسیرهای متابولیکی متعدد انجام می‌دهد. با این حال، سطوح بالقوه مضر روی در خاک می‌تواند منجر به تغییرات مختلفی در گیاهان مانند کاهش رشد، کاهش سرعت فتوسنتزی و تنفس، تغذیه معدنی نامتعادل و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن شود (۱۷).

به دلیل اثرات سم شناسی و خسارات اقتصادی ناشی از آلودگی فلزات سنگین، اقدامات اصلاحی متعددی پیشنهاد شده است. پیش از این استفاده از مواد شیمیایی مانند $FeCl_3$، $Fe_2(SO_4)$، تکنولوژی‌های بی‌حرکت‌سازی، استخراج و جداسازی فیزیکی و فن‌آوری‌های ایزوله‌سازی صورت گرفته است (۱۸، ۱۹). اما این استراتژی‌های اصلاحی به دلیل هزینه بالا، مشکلات عملیاتی و نیاز به حجم زیاد مواد شیمیایی، کمتر مؤثر هستند (۲۰). راهبردهای مؤثرتر و جایگزین برای اصلاح خاک‌های آلوده استفاده از بهبودگرهای (Amendments) مختلف آلی برای تثبیت و بی‌حرکت‌سازی فلزات بالقوه سمی است. استفاده از مواد آلی به دلیل تجزیه‌پذیری زیستی بیشتر، بهبود خواص خاک و مقرون به صرفه بودن بیشتر از بهبودگرهای معدنی مزیت دارد (۲۱). در این راستا مواد بهبودگر مانند کمپوست و بیوچار در دهه‌های گذشته توجهات را جلب کرده‌اند و موضوع بسیاری از مطالعات پاکسازی خاک‌های آلوده هستند. این مواد بهبودگر، عناصر غذایی را برای استفاده گیاهان افزایش و زیست فراهمی (Bioavailability) فلزات سنگین را کاهش می‌دهند (۲۲) و متعاقبا رشد گیاه را بهبود می‌بخشند (۲۳). در واقع خاک‌های آلوده با چالش‌های گوناگونی از جمله فقر عناصر غذایی و آلودگی شدید توسط فلزات کاتیونی مواجه هستند که با به کار بردن مواد بهبودگر مانند کمپوست و

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

بیوچار فقر غذایی این خاک‌ها رفع شده، دسترس‌پذیری فلزات سنگین برای گیاه کاهش یافته و بر مشکل رشد و استقرار گیاهان در این خاک‌ها غلبه می‌شود (۲۴).

به طور کلی مطالعات زیادی نشان داده است که مواد بهبودگر آلی می‌توانند از طریق مکانیسم‌های مختلف مانند تثبیت فلز در خاک و بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک، غلظت فلزات را در گیاهان کاهش داده و متعاقبا سمیت گیاهی را تسکین دهند (۲۵). در این راستا، بیوچار با چهار سطح صفر، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار با خاک سطحی (cm ۱۵ - ۰) مخلوط گردید، نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار به طور معنی‌داری باعث کاهش کادمیوم و سرب تبادلی خاک در طی سه سال شده است و در نتیجه میزان سرب و کادمیوم کل جذب شده توسط برنج به ترتیب ۶۹ و ۶۷ درصد کاهش پیدا کرد (۲۶). Xu و همکاران (۲۷) تأثیر بیوچار بامبو، کاه برنج و گندم را بر زیست فراهمی فلزات سنگین و جذب آن‌ها توسط گیاهان انباشتگر ذرت و ری گراس (ryegrass) در خاک آلوده به سرب و کادمیوم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کادمیوم قابل دسترس خاک به طور معنی‌داری در تیمار برنج کمتر بود، در حالی که مقدار سرب تبادلی در تیمار مربوط به گندم کاهش یافته بود. همچنین غلظت کادمیوم در شاخساره ذرت در تیمار بیوچار، کاه برنج و کاه گندم به ترتیب ۵۰/۹، ۶۹/۵ و ۶۶/۹ درصد کاهش یافته بود و تجمع سرب در هر دو گونه فقط تحت تأثیر تیمار کاه برنج کاهش پیدا کرد. در مطالعه‌ای خاک غیر آلوده با غلظت‌های مختلف ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و mg/kg ۱۵۰ کادمیوم آغشته گردید و تیمار کمپوست در چهار سطح صفر، ۲، ۶ و ۱۰ درصد در یک آزمایش گلخانه‌ای به مدت شش ماه بر روی گونه گیاهی *Pelargonium hortorum* اجرا شد. نتایج بیانگر آن بود که افزایش درصد کمپوست باعث کاهش زیست فراهمی کادمیوم شد و کمترین مقدار کادمیوم تبادلی مربوط به کمپوست ۱۰ درصد بود. همچنین کمپوست باعث کاهش جذب کادمیوم توسط گیاه گردید و با ممانعت از انتقال آن به شاخه، فاکتور انتقال گیاه نیز کاهش پیدا کرد (۲۸). محققانی اثر بیوچار بلوط و ممرز، کمپوست تجاری (حاصل از پیت ماس، چوب نرم، کمپوست سبز و جلبک) و سولفات آهن را بر تحرک فلزات سنگین خاک، ویژگی‌های خاک و جذب آن در گونه *Alnus* sp. (توسکا) و *Betula* sp. (توس) در یک خاک معدنی آلوده به فلزات سنگین بررسی و به این نتیجه رسیدند که تیمارهای اصلاح کننده، اسیدیته و شوری خاک را افزایش و زیست فراهمی فلزات و شبه فلزات را کاهش دادند و متعاقب آن رشد این درختان بهبود پیدا کرد (۲۹).

Verbascum speciosum یک گیاه دارویی با خواص ضد باکتریایی و ضد قارچی از خانواده Scrophulariaceae است و به طور سنتی بریدگی ها، سوختگی‌ها و ناراحتی‌های پوستی را درمان می‌کند. این گونه گیاهی قابلیت رشد در خاک‌های غنی از فلزات سنگین و توانایی انباشت آن‌ها در بافت‌های خود را دارد. در مطالعات زیادی این گیاه به عنوان یک گونه انباشتگر فلزات سنگین است که توانایی گیاه‌پالایی بالایی دارد و به عنوان جاذب و شاخص فلزات سنگین معرفی شده است (۳۰-۳۲). *Marrubium cuneatum* گیاهی از خانواده نعناییان (Lamiacea)، علفی پایا و دارای ساقه های متعدد و فراوان است که برای طیف وسیعی از اهداف دارویی استفاده می‌شود. این گونه به عنوان یک گیاه انباشتگر فلزات سنگینی مانند روی، سرب، کادمیوم و کروم شناخته شده است (۳۳). با توجه به ویژگی‌های دارویی این گیاهان که مستقیما با سلامت انسان مرتبط است، لازم است که تا حد امکان اثرات نامطلوب فلزات سنگین بر این گیاهان را کاهش داده و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی محدود شود. کمپوست از جمله مواد بهبودگر خاک است که پتانسیل تثبیت فلزات سنگین در خاک و کاهش سمیت آن‌ها برای گیاه را دارد و به طور گسترده به عنوان یک بهبود دهنده برای افزایش کیفیت خاک استفاده شده است.

اطلاعاتی در رابطه با تأثیر کمپوست پسماند شهری بر کاهش سمیت فلزات سنگین در گیاهان

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

M. cuneatum و *V. speciosum* در دسترس نیست، بنابراین مطالعه حاضر برای اولین بار است که با هدف بررسی کاربرد این ماده بهبودگر در کاهش سمیت سرب و روی، بهبود رشد و افزایش جذب عناصر درشت مغذی (Macronutrient) و ریز مغذی (Micronutrient) توسط گیاهان *M. cuneatum* و *V. speciosum* در یک خاک آلوده به فلزات سنگین انجام شده است.

مواد و روش‌ها

_ خاک مورد آزمایش و اعمال تیمار

خاک لازم برای کشت در گلدان از خاک های آلوده به فلزات سنگین معدن سرب و روی انگوران زنجان جمع‌آوری شد. به طوری که از چندین نقطه از معدن، خاک سطحی (۲۰ cm – ۰) برداشت و به طور کامل با یکدیگر مخلوط شدند. بعد از خشک شدن در هوای آزاد، در گلخانه خاک از الک ۲ mm عبور داده شد تا بقایای ریشه‌های گیاهان و سنگ و سنگریزه از آن جدا شود. کمپوست پسماند شهری در سطوح صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی به صورت کامل با خاک مخلوط شد و به گلدان‌های سه کیلوگرمی اضافه شد. به منظور به تعادل رسیدن عناصر غذایی موجود در خاک به مدت یک ماه گلدان‌ها تا حد ظرفیت زراعی انکوباسیون شدند (۳۴). برخی از خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک و کمپوست مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. اسیدیته خاک کمی قلیایی (pH = ۷/۱۲) با هدایت الکتریکی ۰/۳۱ ds/m بود. خاک مورد استفاده به ترتیب با ماده آلی و نیتروژن کل ۲/۳۳ و ۰/۱۹ درصد و با مقدار پتاسیم و فسفر محلول ۴۹۴ و ۴۱/۶ mg/kg از نظر کشت گیاه حاصلخیز بود. غلظت فلزات کل روی و سرب در خاک مورد استفاده به ترتیب برابر ۵۶۸/۴۲ و ۴۷۲ mg/kg بود که بسیار فراتر از مقدار زمینه آن‌ها (۹۵ و ۲۰ mg/kg به ترتیب برای روی و سرب) (۳۵) و حداکثر مقادیر مجاز (۳۰۰ و ۱۰۰ mg/kg به ترتیب برای روی و سرب) است (۳۶)؛ بنابراین خاک مورد آزمایش به شدت آلوده بود.

_ کشت گلخانه‌ای و برداشت نمونه‌ها

بذر گونه‌های *V. speciosum* و *M. cuneatum* از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد. بذرها قبل از شروع آزمایش به مدت ۳ min با استفاده از محلول ۵ درصد هیپوکلریت سدیم ضدعفونی شده و سپس چندین مرتبه با آب مقطر شستشو شدند. تعداد ۲۰ عدد بذر از هر گیاه در سه تکرار در پتری‌دیش با بستر کشت کاغذ واتمن قرار داده شد و به منظور شکست خواب آن‌ها تیمار اسید جیبرلیک ۲۵۰ ppm اعمال شد. بعد از اطمینان از شکست خواب بذرها با تیمار مورد بررسی، بذرها ابتدا در سینی کشت، کشت شدند و سپس ۱۰ عدد بذر که جوانه‌زده بودند انتخاب شدند و در هر گلدان کشت شدند. در نهایت بعد از دو هفته از تاریخ کشت، یک عدد از گیاهچه هر کدام از گونه‌ها در هر گلدان باقی ماند. عملیات آبیاری و داشت گلدان‌ها به طور منظم تا زمان برداشت در گلخانه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (دمای روز: ۲۵±۵ °C و دمای شب: ۱۵±۵ °C) انجام شد. بعد از گذشت شش ماه از تاریخ کشت، نمونه‌های گیاه جمع‌آوری شد. بخش زیرزمینی و هوایی گیاهان از یگدیگر جدا شده و ریشه‌ها به منظور حذف ذرات خاک شستشو داده شدند؛ سپس بعد از اندازه‌گیری وزن تر، در آزمایشگاه ریشه و شاخه به مدت ۴۸ h در آون در دمای ۷۰ °C تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید و وزن خشک آن‌ها تعیین شد. سپس برای تعیین عناصر غذایی درشت مغذی (فسفر، کلسیم، پتاسیم، منیزیم) و ریز مغذی (منگنز، نیکل و مس) و فلزات سرب و روی، اندام هوایی و زیر زمینی آسیاب شدند. همچنین از هر گلدان یک نمونه خاک برای بررسی تأثیر کمپوست بر فلزات تبادلی سرب و روی برداشت و بعد از عبور از الک ۲ mm در هوای آزاد خشک گردید.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

جدول ۱- برخی از خصوصیات خاک و کمپوست پسماند شهری مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای

متغیر		خاک	کمپوست پسماند شهری
اسیدیته (pH)		۷/۱۲	۸/۱۲
هدایت الکتریکی (ds/m)		۰/۳۱	٦/٤٣
نیتروژن کل (درصد)		۰/۱۹٥	۱/٤٥
فسفر (P)	کل (درصد)	۰/۰٦	۰/۳۱
	محلول (mg/kg)	٤۱/٦	–
پتاسیم (K)	کل (درصد)	۰/٤٤	۰/٦٥
	قابل جذب (mg/kg)	٤۹٤	–
ماده آلی (درصد)		۲/۳۳	۱٦/۹٥
سرب کل (mg/kg)		٤۷۲	۸۹/۱
روی کل (mg/kg)		٥٦۸/٤۲	٤۲۳/٤۲

_ *اندازه‌گیری عناصر گیاه و خاک و خصوصیات خاک مورد آزمایش*

به منظور اندازه‌گیری اسیدیته و شوری از نسبت سوسپانسیون ۲/۵: ۱ خاک به آب استفاده شد. ماده آلی خاک به روش والکی بلک و با استفاده از بی کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک (۳۷)، فسفر محلول با استفاده از اسپکتوفتومتر به روش السون و پتاسیم و سدیم قابل جذب نیز با استفاده از استات آمونیوم و فلیم فتومتری اندازه‌گیری شدند (۳۸). برای تعیین مقدار فلزات کل خاک یک محلول متشکل از HNO_3 و HCL (به نسبت ۳ به ۱) به g ۱ خاک اضافه شد و بعد از قرار گرفتن به مدت h ۲ در دمای جوش، نمونه‌ها به حجم mL ۵۰ رسانده شدند (۳۹). جهت استخراج عناصر غذایی درشت مغذی (فسفر، کلسیم، پتاسیم، منیزیم) و ریز مغذی (منگنز، مس، نیکل) و فلزات سنگین سرب و روی در گونه‌های گیاهی به مقدار g ۰/۲۰ از پودر خشک شده هر نمونه به مدت h ۶ در کوره در دمای ۵۰۰ °C قرار داده شد، سپس نمونه‌ها به بشر منتقل گردید و mL ۲۰ اسیدکلریدریک یک نرمال به آن اضافه و برای مدت min ۲۰ در دمای ۱۵۰ °C قرار گرفت و بعد از فیلتر با آب مقطر به حجم mL ۱۰۰ رسانده شد. به منظور تعیین فلزات تبادلی خاک mL ۲۰ محلول دی‌اتیلن تری‌آمین‌پنتااستیک اسید DTPA (۰/۰۰۵ M) به g ۲ خاک خشک اضافه شد، سپس به مدت h ۲ شیکر صورت گرفت و عصاره حاصل صاف شد (۴۰). استانداردهای فلزات سنگین با استفاده از رقیق‌سازی ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ppm ۳۰۰۰ محلول استاندارد گواهی شده ساخت کشور سوییس (سیگما آلدریج) تهیه و دستگاه ICP – OES کالیبره شد و درنهایت قرائت فلزات سنگین در نمونه‌ها صورت گرفت.

- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این مطالعه کشت گلخانه‌ای در قالب طرح کاملا تصادفی (CRD) با سه تکرار انجام شد. بعد از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov)، به منظور بررسی اختلاف معنی‌داری تیمارها ($p < ۰/۵۰$) تجزیه واریانس یکطرفه بر روی داده‌ها صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

از گروه‌بندی توکی انجام شد. همچنین برای درک روابط بین عناصر غذایی، فلزات سنگین گیاه و خاک، و بیومس گیاه آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام شد. تمام تجزیه و تحلیل‌ها داده‌ها با استفاده از نرم افزار R 4.3 صورت گرفت.

یافته‌ها

_ پاسخ رشدی گیاه

نتایج نشان داد که کمپوست پسماند شهری به طور معنی‌داری وزن تر و خشک اندام هوایی و زیر زمینی گونه‌های مورد مطالعه را تقویت کرده است (جدول ۲). افزایش بیومس گیاهان رابطه مستقیمی را با سطح کمپوست استفاده شده نشان داد و در تمامی موارد، کمپوست ۵ درصد، مؤثرترین دوز برای تقویت رشد گیاه شناخته شد و کمترین وزن نیز مربوط به گیاهان رشد یافته در خاک بدون کمپوست بود. این ماده بهبودگر به ترتیب سبب افزایش ۳۱/۴ و ۲۲/۵ درصد وزن تر ریشه و شاخساره *M. cuneatum* و ۳۹ و ۲۱/۷ درصد وزن تر ریشه و شاخساره *V. speciosum* در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۲). تأثیر کمپوست در افزایش عملکرد ماده خشک گیاه نسبت به وزن تر کمتر بود، به طوری که وقتی کمپوست به خاک اضافه شد، بیومس خشک ریشه *M. cuneatum* و *V. speciosum* به ترتیب تا ۲۲ و ۲۴ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش پیدا کردند؛ این افزایش برای بیومس هوایی به ترتیب برابر ۱۳/۲۸ و ۱۹ درصد بود (جدول ۲).

جدول ۲- بیومس تر و خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌های مورد بررسی تحت تأثیر کمپوست پسماند شهری (انحراف معیار ± میانگین، n = ۳)

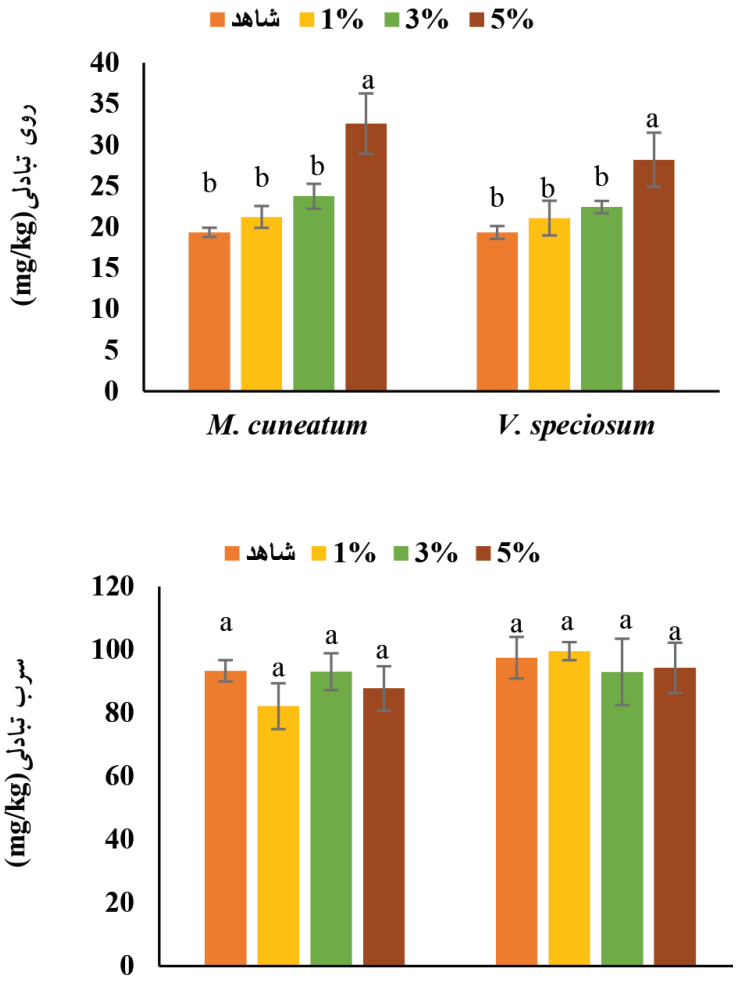
گونه‌ها	وزن تر (g)				وزن خشک (g)			
	M. cuneatum		*V. speciosum*		*M. cuneatum*		*V. speciosum*	
کمپوست	ریشه	شاخه	ریشه	شاخه	ریشه	شاخه	ریشه	شاخه
شاهد	۱/۷۵^{c}±۰/۱۰	۱۵/۸^{b}±۰/۹۲	۳/۸۲^{b}±۰/۳۲	۹/۹٤^{b}±۰/٤٤	۰/٤۱^{c}±۰/۰۳	۲/۵٦^{b}±۰/۰٦	۰/۲۵^{d}±۰/۰۰۲	۱/۷۸^{c}±۰/۰۷
۱٪	۱/۹۱^{bc}±۰/۰۸	۱۷/۵۳^{ab}±۱/۵۸	٤/۱۲^{b}±۰/٤۳	۱۱/۰۵^{ab}±۰/۵٤	۰/٤٤^{bc}±۰/۰۲	۲/٦۷^{ab}±۰/۱۵	۰/۲۷^{c}±۰/۰۰٤	۱/۹٤^{b}±۰/۰۷
۳٪	۲/۰۵^{b}±۰/۰۷	۱۸/۹۲^{ab}±۰/۹۷	٤/٦۲^{ab}±۰/٤۳	۱۱/۹۷^{a}±۰/۷۷	۰/٤٦^{b}±۰/۰۱	۲/۸٤^{ab}±۰/۱۳	۰/۲۹^{b}±۰/۰۰۳	۲/۰۱^{a}±۰/۰۵
۵٪	۲/۳۰^{a}±۰/۱۱	۱۹/۳٦^{a}±۱/۵۲	۵/۳۱^{a}±۰/۸٤	۱۲/۱۰^{a}±۰/٤۸	۰/۵۰^{a}±۰/۰۱	۲/۹۰^{a}±۰/۱۰	۰/۳۱^{a}±۰/۰۰۵	۲/۱۲^{a}±۰/۰۳

توضیح: حروف متفاوت (a,b,c) در یک ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است ($p < ۰/۰۵$).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

ـ سرب و روی تبادلی خاک و جذب آن‌ها

اختلاف معنی‌داری در سرب تبادلی خاک تحت کشت گونه‌های مختلف در اثر افزودن کمپوست پسماند شهری مشاهده نشد (نمودار ۱). با این حال سرب قابل دسترس خاک بستر هر دو گونه، در تمامی سطوح کمپوست مقادیر کمتری را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. به طور کلی کمپوست توانست زیست فراهمی سرب را در خاک تحت کشت *M. cuneatum* و *V. speciosum* به ترتیب تا ۱۲ و ۵ درصد در مقایسه با شاهد کاهش دهد (نمودار ۱). برخلاف سرب، غلظت روی قابل دسترس خاک با اعمال سرب معنی‌دار شد و به آرامی افزایش یافت و در تمامی حالات کمترین مقدار مربوط به شاهد بود. بالاترین دسترس‌پذیری روی در سطح ۵ درصد کمپوست به دست آمد که به ترتیب افزایش ۶۸ و ۴۶ درصد را در مقایسه با شاهد در خاک کشت شده با *M. cuneatum* و *V. speciosum* ایجاد کرد (نمودار ۱).

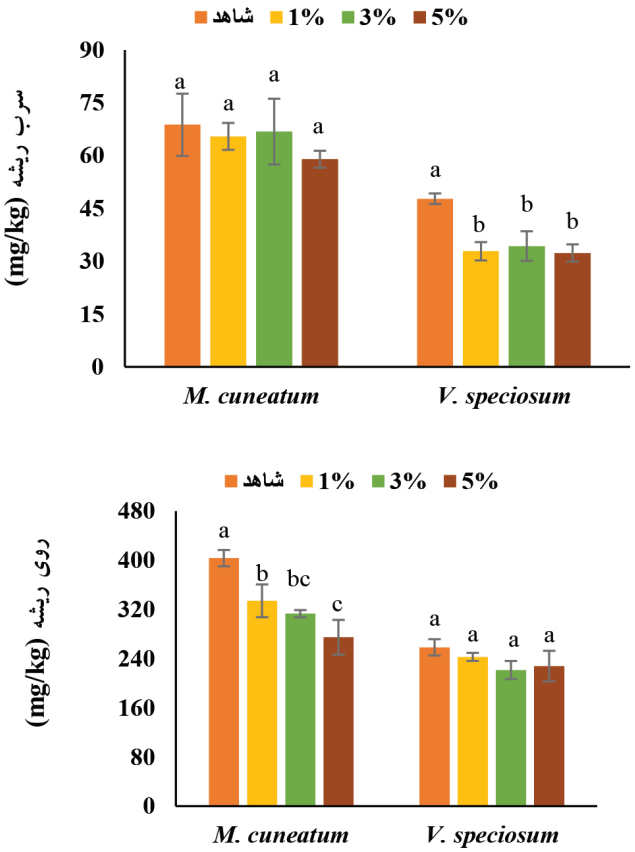


نمودار ۱- تأثیر کمپوست پسماند شهری بر روی و سرب قابل دسترس خاک (حروف متفاوت برای هر ویژگی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است ($p < ۰/۰۵$))

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

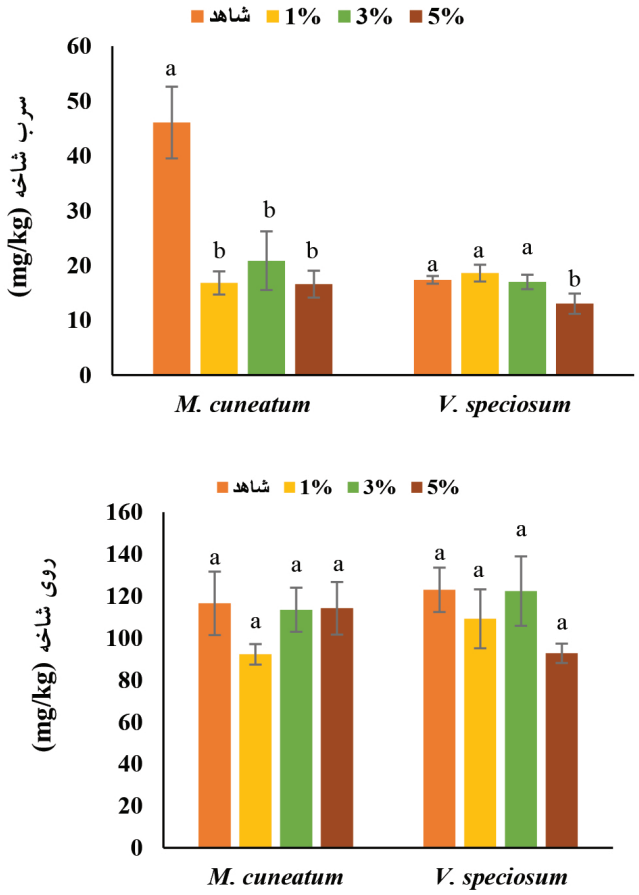
_ *غلظت سرب و روی اندام‌های هوایی و زیرزمینی*

کمپوست به طور معنی‌داری غلظت سرب را در اندام زیر زمینی *V. speciosum* کاهش داد، در حالی که تأثیر آن بر سرب ریشه *M. cuneatum* معنی‌دار نبود (نمودار ۲). به طور کلی مقدار سرب ریشه در هر دو گونه مورد بررسی با اعمال کمپوست کاهش یافت و در سطح ۵ درصد با کاهش ۱۴/۲ و ۳۲/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد به ترتیب برای *M. cuneatum* و *V. speciosum* به کمترین میزان رسید (نمودار ۲). تأثیر کمپوست بر مقدار سرب جذب شده توسط اندام هوایی هر دو گونه معنی‌دار بود و بالاترین مقدار برای گیاهان مورد مطالعه در تیمار بدون کمپوست مشاهده شد. کمترین مقدار غلظت این عنصر در شاخساره نیز در سطح ۵ درصد یافت شد که به طور قابل ملاحظه‌ای میزان آن را ۶۴ و ۳۴/۴ درصد به ترتیب در *M. cuneatum* و *V. speciosum* نسبت به شاهد کاهش داد (نمودار ۲). کمپوست به طور معنی‌داری غلظت فلز روی در ریشه *M. cuneatum* را کاهش داد و این کاهش رابطه مستقیمی را با سطح کمپوست مصرفی نشان داد، به طوری که در سطح ۵ درصد میزان روی ریشه با کاهش ۳۲ درصد نسبت به تیمار شاهد به کمترین مقدار رسید (نمودار ۲). در رابطه با *V. speciosum* هر چند اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد ولی اثر کمپوست بر غلظت روی در ریشه این گیاه نیز کاهشی بود. افزودن کمپوست به خاک، تغییر معنی‌داری را بر غلظت فلز روی در شاخساره گیاهان مورد بررسی ایجاد نکرد. میزان این عنصر در بخش هوایی هر دو گونه دارای نوسان بود و کمترین مقدار در تیمار ۱ و ۵ درصد کمپوست به ترتیب با ۲۰ و ۲۴ درصد کاهش در مقایسه با شاهد برای *M. cuneatum* و *V. speciosum* مشاهده شد؛ همچنین بیشترین مقدار نیز برای هر دو گونه در تیمار شاهد یافت شد (نمودار ۲).



نمودار ۲- تأثیر کمپوست پسماند شهری بر غلظت سرب و روی ریشه و شاخساره (حروف متفاوت برای هر ویژگی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (p < ۰/۰۵))

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]



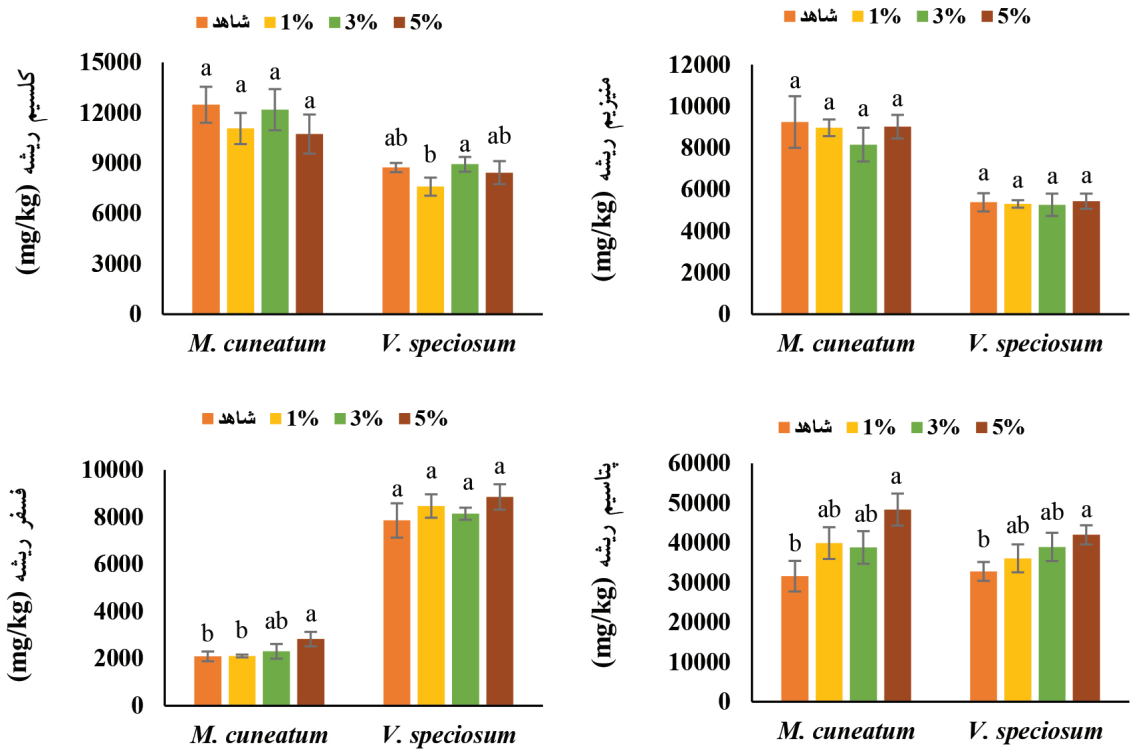
ادامه نمودار ۲- تأثیر کمپوست پسماند شهری بر غلظت سرب و روی ریشه و شاخساره (حروف متفاوت برای هر ویژگی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (p < ۰/۰۵))

_ *عناصر تغذیه‌ای ریشه*

غلظت عناصر غذایی جذب شده توسط ریشه گونه‌های مورد مطالعه در نمودار ۳ نشان داده شده است. تأثیر کمپوست بر مقدار کلسیم ریشه *M. cuneatum* تفاوت معنی‌داری را نشان نداد و حتی تا حدی کاهشی بود، در حالی که در رابطه با گونه *V. speciosum* اثر آن معنی‌دار شد. بالاترین و پایین‌ترین غلظت کلسیم ریشه برای گونه *V. speciosum* به ترتیب مربوط به سطح کمپوست ۳ و ۵ درصد با ۸۹۳۳ و ۷۶۰۰ mg/kg است (نمودار ۳). در رابطه با منیزیم جذب شده در بخش زیرزمینی، نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت و کمپوست در اکثر موارد به صورت جزئی غلظت منیزیم را در ریشه گیاهان مورد مطالعه کاهش داده است (نمودار ۳). هر چند تأثیر کمپوست بر فسفر ریشه گونه *M. cuneatum* مؤثرتر از *V. speciosum* بود، اما به طور کلی عکس‌العمل هر دو گیاه به جذب فسفر در اثر اعمال کمپوست افزایشی بود. بالاترین سطح فسفر جذب شده در ریشه برای هر دو گونه در تیمار کمپوست ۵ درصد مشاهده شده که باعث افزایش غلظت ۳۵ و ۱۳ درصد فسفر نسبت به تیمار بدون کمپوست به ترتیب در گونه‌های *M. cuneatum* و *V. speciosum* شد (نمودار ۳). برخلاف پارامترهای منیزیم، کلسیم و فسفر، میزان پتاسیم جذب شده در ریشه گیاهان مورد مطالعه وقتی که کمپوست به خاک بستر آنها اضافه گردید

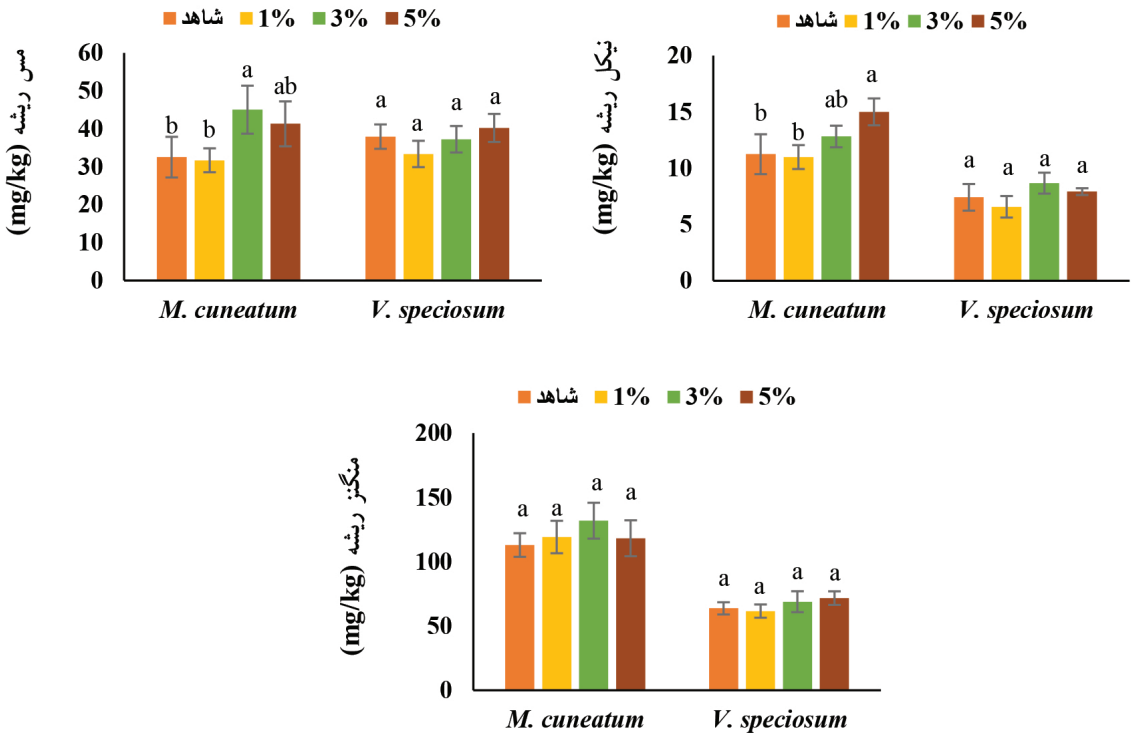
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد و تقریبا با غلظت کمپوست مصرفی رابطه مستقیمی را نشان داد. کمپوست ۵ درصد با افزایش ۵۳ و ۲۸ درصد غلظت پتاسیم ریشه در مقایسه با شاهد به ترتیب در *M. cuneatum* و *V. speciosum* مؤثرترین تیمار مورد بررسی بود (نمودار ۳). اثر کمپوست بر میزان مس در ریشه‌ها نوسانی بود و در ابتدا غلظت آن را کاهش داد و سپس افزایشی شد. وقتی که کمپوست به خاک اضافه شد غلظت مس به طور معنی‌داری در ریشه *M. cuneatum* افزایش پیدا کرد، در حالی که در رابطه با گونه *V. speciosum* با وجود تأثیر مثبت کمپوست بر مقدار مس ریشه، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (نمودار ۳). بالاترین غلظت مس در ریشه *M. cuneatum* در تیمار کمپوست ۳ درصد یافت شد که ۳۸/۴ درصد بیشتر از تیمار شاهد است (نمودار ۳). کمپوست به طور معنی‌داری غلظت فلز نیکل را در ریشه هر دو گونه مورد مطالعه ارتقا داد و در تمامی حالات مقدار آن بیشتر از شاهد بود. با اضافه کردن کمپوست، مقدار نیکل ریشه ابتدا در گونه *M. cuneatum* افزایش و سپس کاهش پیدا کرد و بالاترین غلظت در دوز ۱ درصد یافت شد که افزایش ۵۲/۲ درصدی را نسبت به شاهد موجب شد (نمودار ۳). در رابطه با *V. speciosum* تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کمپوست مشاهده نشد و به طور کلی اعمال این ماده بهبودگر، مقدار نیکل را در ریشه این گونه تا ۳۶/۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد بهبود بخشید (نمودار ۳). اعمال کمپوست هر چند بر مقدار منگنز ریشه در گونه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری را ایجاد نکرد، اما به طور کلی تأثیر آن افزایشی بود که به ترتیب سبب افزایش ۱۷ و ۱۲/۷ درصد برای گونه‌های *M. cuneatum* و *V. speciosum* نسبت به تیمار بدون کمپوست شد (نمودار ۳).



نمودار ۳- تأثیر کمپوست پسماند شهری بر مقدار عناصر تغذیه‌ای ریشه (حروف متفاوت برای هر ویژگی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است ($p < ۰/۰۵$))

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]



ادامه نمودار ۳- تأثیر کمپوست پسماند شهری بر مقدار عناصر تغذیه‌ای ریشه (حروف متفاوت برای هر ویژگی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است ($p < ۰/۰۵$))

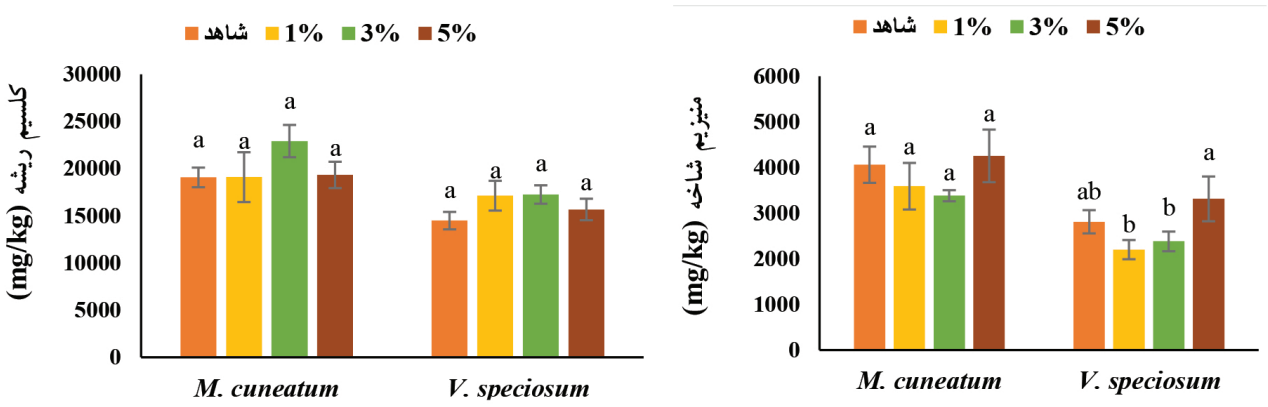
_ *عناصر تغذیه‌ای شاخساره*

نمودار ۴ تأثیر کمپوست پسماند شهری را بر مقدار عناصر درشت مغذی و ریز مغذی اندام هوایی گونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. میزان کلسیم شاخه هر دو گیاه مورد مطالعه تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد، اما با این حال مقدار کلسیم به آرامی تحت تأثیر کمپوست رو به فزونی گذاشت و بیشترین مقدار در تیمار ۲ درصد با ۲۲۹۲۸ و ۱۷۲۶۰ mg/kg به ترتیب برای *M. cuneatum* و *V. speciosum* یافت شد (نمودار ۴). اعمال کمپوست تأثیر معنی‌داری را بر غلظت منیزیم اندام هوایی گونه *M. cuneatum* موجب نشد، در حالی که در رابطه با *V. speciosum* اختلاف بین تیمارها معنی‌دار بود. سطوح ۱ و ۳ درصد باعث کاهش منیزیم شاخساره در هر دو گونه شد اما با رسیدن دوز کمپوست به ۵ درصد مقدار منیزیم بالا رفت و با افزایش ۵ و ۱۸ درصد در مقایسه با شاهد به ترتیب برای *M. cuneatum* و *V. speciosum*، بالاترین مقدار در این سطح به دست آمد (نمودار ۴). هر چند کمپوست به طور قابل توجهی مقدار فسفر شاخه را در گونه‌های مورد بررسی بهبود بخشید اما تأثیر آن برخلاف *V. speciosum* برای *M. cuneatum* معنی‌دار نبود. تمامی سطوح کمپوست میزان فسفر بیشتری را نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. حداکثر غلظت این عنصر، با افزایش ۱۹ و ۲۱ درصدی غلظت این عنصر، برای *M. cuneatum* و *V. speciosum* در سطح کمپوست ۵ درصد مشاهده شد (نمودار ۴). کمپوست به طور معنی‌داری میزان پتاسیم را در اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه تقویت کرد و در تمامی حالات غلظت پتاسیم بیشتر

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

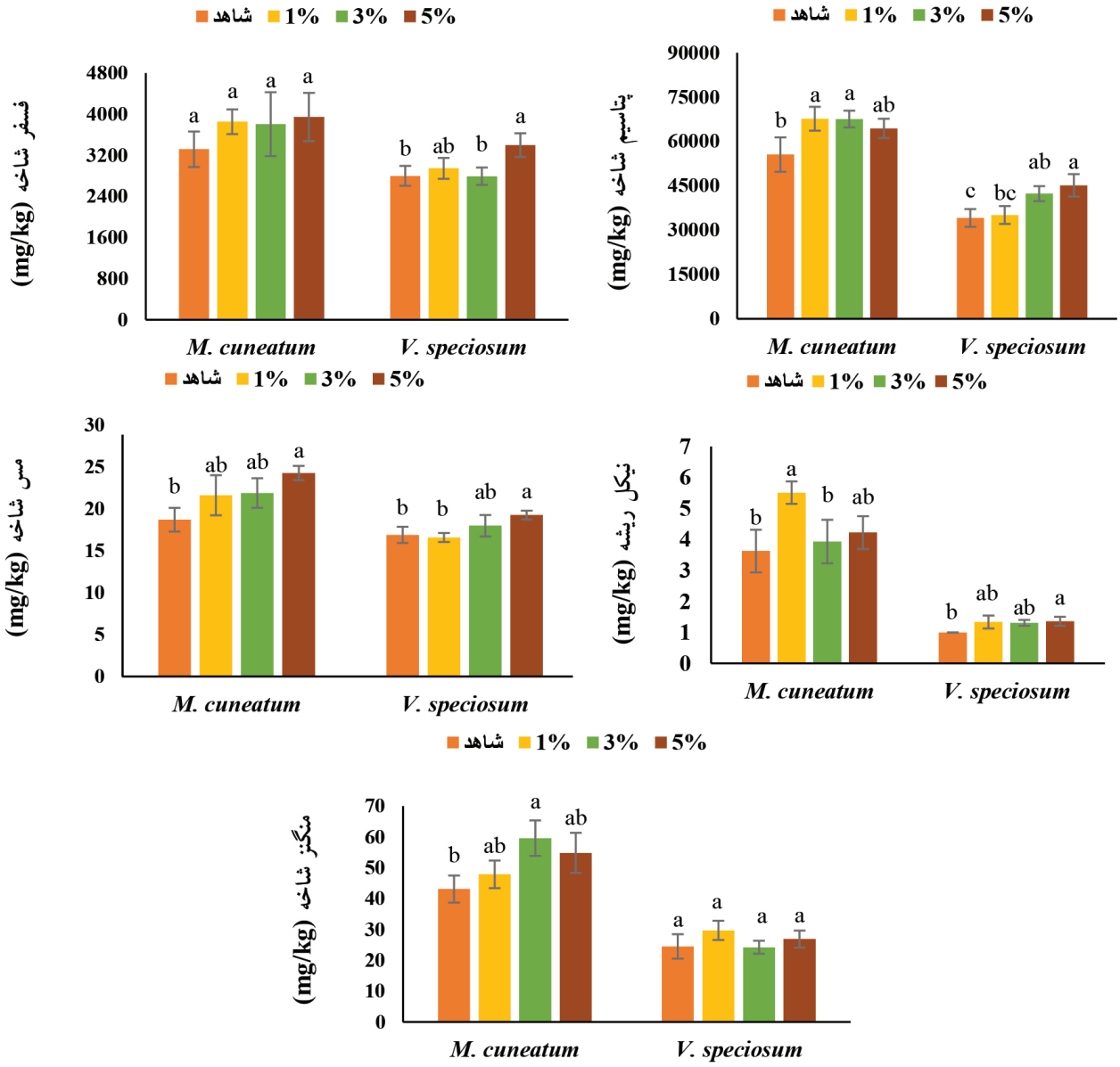
از زمانی بود که ماده بهبودگر کمپوست اعمال نشد. بیشترین مقدار پتاسیم در شاخه *V. speciosum* در تیمار ۵ درصد یافت شد که حدود ۳۲ درصد بالاتر از شاهد بود و در رابطه با گونه *M. cuneatum* بالاترین میزان این عنصر مربوط به تیمار ۱ درصد با ۲۲ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بود (نمودار ۴).

غلظت مس اندام هوایی در گیاهان مورد بررسی تحت اعمال کمپوست پسماند شهری به طور معنی‌داری تغییر کرد و رابطه مستقیمی را با این ماده بهبودگر نشان داد، به طوری که با بالا رفتن سطح کمپوست مصرفی میزان مس جذب شده توسط اندام هوایی گیاه نیز افزایش پیدا کرد (نمودار ۴). کمترین غلظت مس شاخه برای هر دو گونه در تیمار خاک بدون کمپوست یافت شد و در تیمار کمپوست ۵ درصد به حداکثر مقدار رسید که به ترتیب در *M. cuneatum* و *V. speciosum* غلظت آن ۳۰ و ۱۴ درصد در مقایسه با شاهد بالاتر بود (نمودار ۴). مقایسه میانگین مقدار نیکل جذب شده در اندام هوایی حاکی از اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای اعمال شده بود. هر چند تأثیر کمپوست بر غلظت نیکل شاخساره نوسانی بود ولی به طور کلی در تمامی حالات مقدار آن بیشتر از تیمار شاهد بود (نمودار ۴). حداکثر میزان نیکل اندام هوایی گونه *M. cuneatum* در تیمار ۱ درصد یافت شد که در مقایسه با شاهد ۳۰/۵ درصد بالاتر بود؛ در رابطه با *V. speciosum* نیز کمپوست ۵ درصد توانست نیکل بافت هوایی را تا ۳۶ درصد ارتقا دهد (نمودار ۳). آنالیز واریانس آشکار کرد که افزودن کمپوست به خاک سبب اختلاف معنی‌داری در میزان منگز شاخساره گونه *M. cuneatum* شده است، در حالی که برای *V. speciosum* این اختلاف معنی‌دار نبود (نمودار ۴). غلظت منگنز جذب شده از روند مشخصی پیروی نکرد ولی به طور کلی تحت اعمال کمپوست، مقدار آن در اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه افزایش یافت. بالاترین غلظت این عنصر در شاخه *M. cuneatum* در سطح کمپوست ۳ درصد مشاهده شد که افزایش ۳۸ درصد را نسبت به تیمار شاهد موجب شده بود و در رابطه با *V. speciosum* بیشترین مقدار مربوط به سطح ۱ درصد با افزایش ۲۱ درصد نسبت به گیاهان رشد یافته در خاک بدون کمپوست بود (نمودار ۴).



نمودار ۴- تأثیر کمپوست پسماند شهری بر مقدار عناصر تغذیه‌ای شاخساره (حروف متفاوت برای هر ویژگی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است ($p < ۰/۰۵$))

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]



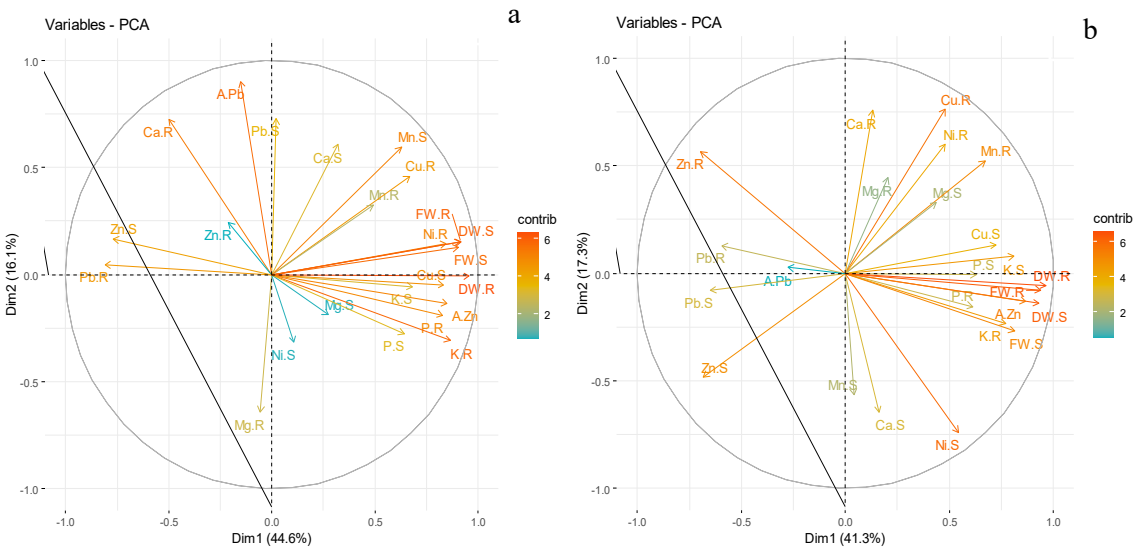
ادامه نمودار ۴- تأثیر کمپوست پسماند شهری بر مقدار عناصر تغذیه‌ای شاخساره (حروف متفاوت برای هر ویژگی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (p < ۰/۰۵))

_ آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

آنالیز PCA بروی غلظت عناصر در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان، سرب و روی تبادلی خاک و بیومس گونه‌های مورد بررسی نشان داد که مؤلفه اول و دوم به ترتیب با ۴۴/۶ و ۱۶/۱ درصد، در مجموع ۶۰/۷ درصد واریانس تغییرات را برای گونه *M. cuneatum* توجیه می‌کند (نمودار ۵). در رابطه با گونه *V. speciosum* دو مولفه اول با ۴۱/۳ و ۱۷/۳ درصد، ۵۸/۶ درصد واریانس داده‌ها را به خود اختصاص داده بودند (نمودار ۵). عناصر غذایی مانند مس، پتاسیم، نیکل، فسفر، و منگنز ریشه، روی تبادلی خاک، سرب ریشه، روی و بیومس گیاه *M. cuneatum* بیشترین نقش را در شکل گیری مؤلفه اول داشتند، در حالی که مؤلفه دوم بیشتر تحت تأثیر سرب

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

شاخساره، سرب تبادلی، کلسیم و منیزیم قرار داشت. قرارگیری عناصر تغذیه‌ای بجز کلسیم و منیزیم در ناحیه اول و چهارم نمودار و در جهت مخالف فلزات سنگین سرب و روی، نشان از همبستگی مثبت بالای این عناصر با یکدیگر و همبستگی منفی آن‌ها با سرب و روی است. همچنین PCA بیانگر همبستگی بالای پارامترهای وزن تر و خشک عناصر پتاسیم، فسفر و مس و همبستگی منفی آن‌ها با فلزات سرب و روی است. مشابه با *M. cuneatum*، برای گونه *V. speciosum* نیز، عمده عناصر غذایی با پراکنش در اطراف مؤلفه اول همبستگی مثبت و قوی با یکدیگر نشان دادند و به طور آشکار توزیع آنها عمدتا در جهت مثبت مؤلفه اول بود که همبستگی مثبت و منفی آن‌ها را به ترتیب با بیومس گیاه و فلزات سرب و روی تأیید می‌کند. به طور کلی نمودار PCA هر دو گونه مورد مطالعه، بیانگر همبستگی قوی و مثبت فسفر، پتاسیم و مس است. همچنین درشت مغذی‌هایی مانند کلسیم و منیزیم توزیع کاملا مشخصی بر روی نمودار را نشان نداده و تا حدوی با ریز مغذی‌هایی مانند منگنز و نیکل مرتبط بودند و به طور کلی فلزات سرب و روی، در جهت مخالف عناصر تغذیه‌ای و خصوصیات رشدی گیاهان قرار گرفتند.



نمودار ۵- نمودار PCA پارامترهای مربوط به *M. cuneatum* (a) و *V. speciosum* (b)

اختصارات: کلسیم شاخه (Ca.S)، منیزیم شاخه (Mg.S)، فسفر شاخه (P.S)، پتاسیم شاخه (K.S)، مس شاخه (Cu.S)، منگنز شاخه (Mn.S)، نیکل شاخه (Ni.S)، کلسیم ریشه (Ca.R)، منیزیم ریشه (Mg.R)، فسفر ریشه (P.R)، پتاسیم ریشه (K.R)، مس ریشه (Cu.R)، منگنز ریشه (Mn.R)، نیکل ریشه (Ni.R)، سرب شاخه (Pb.S)، روی شاخه (Zn.S)، سرب ریشه (Pb.R)، روی ریشه (Zn.R)، سرب تبادلی (Pb.A)، روی تبادلی (Zn.A)، وزن تر شاخساره (FW.S)، وزن تر ریشه (FW.R)، وزن خشک شاخساره (DW.S)، وزن خشک ریشه (DW.R)

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

بحث

فلزات سنگین ممکن است با تداخل در دسترسی گیاه به مواد مغذی، فتوسنتز و تنفس، عملکرد غشا، فعالیت آنزیمی و تعادل هورمونی گیاهان سبب استرس اکسیداتیو و سمیت در گیاه شوند که نتیجه آن کاهش بیومس و در موارد بحرانی مرگ گیاه است (۴۱، ۴۲). در این مطالعه کمپوست به طور قابل توجهی رشد اندام‌های هوایی و زیر زمینی گیاهان مورد مطالعه را بهبود بخشید که این امر به دلیل افزایش ماده آلی خاک و آزادسازی عناصر غذایی ضروری مانند پتاسیم، فسفر، نیتروژن و مس در خاک است که دسترسی گیاه به آنها افزایش می‌یابد (۴۳). در اثر کمپوست، میکروارگانیسم‌های مرتبط با ریشه نیز جذب مواد مغذی توسط گیاه را افزایش داده (۴۴، ۴۵) و با بهبود تغذیه گیاه، ظرفیت فتوسنتزی گیاه تقویت شده و در نتیجه بیومس بیشتری انباشته می‌شود (۴۶). همچنین با کاهش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان مورد مطالعه در نتیجه تیمار کمپوست، تنش کمتری به گیاه وارد می‌شود و فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیسمی به شکل بهتری صورت می‌گیرد. فراهمی زیستی یک شاخص کلیدی برای اندازه گیری تأثیر اکولوژیکی فلزات سنگین است و نقش مهمی در ارزیابی ژئوشیمیایی اکولوژیکی ایفا می‌کند (۴۷). به دلیل بالا بودن اسیدیته (pH) و خاصیت قلیایی مواد بهبودگر آلی مانند بیوچار و کمپوست، تثبیت فلزات سنگین در خاک سریعتر رخ داده و در نتیجه حلالیت آن‌ها محدود می‌شود (۴۸). در مطالعه حاضر کمپوست زیست فراهمی سرب را کاهش داد، در حالی که زیست فراهمی روی افزایش پیدا کرد. در حقیقت کمپوست تمایلات متفاوتی را برای جذب فلزات سنگین نشان می‌دهد. در این راستا Chang Chien و همکاران (۴۹) نشان دادند که میل ترکیبی هیومیک‌ها موجود در کمپوست با فلزات سنگین به ترتیب $Pb > Cu > Cd > Zn$ است. علاوه بر این به دلیل اصلی افزایش زیست فراهمی روی ناشی از غلظت بالای این عنصر، در کمپوست مورد استفاده است. یون های معدنی، مواد هیومیک و میکروب‌های موجود در کمپوست به طور قابل توجهی بر تثبیت فلزات سنگین تأثیر می گذارند و با کاهش زیست فراهمی آن‌ها خطرات اکولوژیکی و زیست محیطی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی را کاهش می‌دهند (۵۰). در واقع مکانیسم‌های درگیر در این امر (۱) جذب یون های فلزی به سطح توسط کمپلکس‌ها و تبادل یون (۲) افزایش pH و هدایت الکتریکی (EC) که غلظت تبادلی فلزات سنگین را کاهش می‌دهد و (۳) افزایش محتوای کربن آلی خاک و فعالیت میکروبی بالاتر است که فلزات بیشتری را قادر می‌سازد تا با میکروارگانیسم‌ها ترکیب شوند (۲۷، ۵۱، ۵۲). کمپوست معمولاً فرم شیمیایی فلزات سنگین را تغییر داده و شکل قابل استخراج و تبادلی فلز سنگین را برای گیاهان کاهش می‌دهد؛ در حالی که اشکال غیر قابل دسترس شامل بخش کربناته و باقیمانده را افزایش می‌دهد که می‌تواند تجمع فلزات سنگین را در گیاهان کاهش دهد (۵۳). کاهش معنی‌دار غلظت سرب و در برخی موارد مقدار روی در اندام های هوایی گیاهان مورد مطالعه تحت اعمال کمپوست، ممکن است به دلیل تثبیت این فلزات در خاک (۵۴) و یا افزایش غلظت درشت و ریز مغذی‌ها باشد که که رقابت در سطح ریشه برای جذب عناصر را افزایش داده‌اند (۲۵). کاهش زیست فراهمی فلزات سنگین در خاک و در نتیجه جذب و انتقال آن‌ها در اثر افزودن مواد آلی مانند کمپوست به خاک در مطالعات زیادی ثابت شده است (۵، ۵۵، ۵۶). محدوده طبیعی روی و سرب در گیاهان به ترتیب کمتر از ۱۵۰ و ۲۰ mg/kg است (۵۷)، که در این مطالعه کمپوست به خوبی مقدار این فلز سمی را در هر دو گونه تا حد نرمال غلظت آن کاهش داد. در رابطه با فلز روی، اگرچه در واقع به عنوان یک ریز مغذی برای گیاهان ضروری است، اما در این مطالعه به دلیل آلودگی بالای خاک به روی، به عنوان یک فلز سنگین بررسی شد که مقدار آن در گیاهان مورد مطالعه در حد مجاز بود و کمپوست تا حدی نیز غلظت آن را کاهش داد.

مقادیر زیاد فلزات سنگین مانند سرب، تعادل غذایی در گیاهان را مختل کرده و با کاهش جذب عناصر مغذی، فعالیت فتوسنتزی گیاه را کاهش داده و منجر به علامی مانند کلروز

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

می‌شوند. تأثیر منفی در فعالیت فتوسنتزی گیاهان در اثر سرب ممکن است به دلیل تغییر ساختار کلروپلاست، اختلال در تولید کلروفیل و کاروتنوئیدها، مهار چرخه کالوین و همچنین کمبود CO_2 به دلیل بسته شدن روزنه‌ها باشد (۵۸). علاوه بر این، سرب با ایجاد ممانعت از جذب عناصر ضروری مانند منیزیم یا آهن توسط گیاهان، سنتز کلروفیل را مهار می کند (۵۹). به طور کلی در این مطالعه کمپوست به طور قابل توجهی غلظت عناصر غذایی عناصر درشت و ریز مغذی را در بافت‌های گیاهان مورد بررسی بهبود داد. در حقیقت مواد بهبودگر آلی مانند بیوچار و کمپوست به عنوان یک کود آهسته عمل می‌کند و مواد مغذی مانند پتاسیم، نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم را به مرور در دسترس گیاه قرار می‌دهند (۴۳، ۶۰). Puga و همکاران (۶۱) گزارش دادند که کاربرد بیوچار باعث افزایش درشت‌مغذی‌ها در لوبیا جک (Jack bean) و لوبیا مخملی (*Mucuna aterrima*) تحت استرس فلزات سنگین شد. افزایش این عناصر در گیاه ممکن است به دلیل فعالیت‌های میکروبی بالا در خاک و یا آزاد شدن مواد مغذی از مواد آلی بهبودگر باشد (۶۲). بر اساس اثری که فلزات سنگین در گیاهان دارند به دو دسته ضروری و غیر ضروری تقسیم می‌شوند. همه این فلزات سنگین زمانی که به بیشتر از حد مجاز خود برسند برای موجودات زنده سمی می‌شوند. فلزاتی مانند مس، منگنز، نیکل و روی برای گیاهان ضروری هستند و دریافت بیش از حد آن‌ها سبب سمیت می‌شود (۶۳). فلزات سنگین ضروری عملکردهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی را در گیاهان بر عهده دارند و مشارکت در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا و نقش مستقیم در ساختار چندین آنزیم دو عملکرد اصلی این فلزات است (۶۴). با توجه به محدوده نرمال مس، منگنز، روی و نیکل در گیاه که به ترتیب برابر با ۳۰ - ۵، ۱۰۰۰ – ۲۰، ۱۵۰ - ۲۷ و mg/kg ۵ – ۰/۰۲ است (۵۷، ۶۵)، نتیجه‌گیری می‌شود که مقدار این عناصر ریز مغذی در گیاهان مورد مطالعه در حد مجاز است و افزایش غلظت آن‌ها با اعمال کمپوست، اثر مثبتی بر رشد گیاه خواهد داشت. آنالیز PCA نیز همبستگی منگنز، نیکل و به خصوص مس را با بیومس گیاهان مورد بررسی نشان داد، در حالی که همبستگی بیومس با روی به عنوان یک ریز مغذی منفی است که به دلیل غلظت تقریبا بالای آن در بافت‌های گیاهی است. Rehman و همکاران (۲۵) تأثیر کمپوست را در سطوح ۱ و ۲ درصد وزنی بر رشد و برخی از عناصر تغذیه‌ای گیاه ذرت (*Zea mays*) بررسی کردند و نتایج نشان داد که کمپوست به طور معنی‌داری پارامترهای رشدی گیاه و همچنین غلظت ریز مغذی‌های منگنز و مس را در ریشه و اندام هوایی افزایش داده است که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد. کمپوست ها مواد بسیار غنی از مواد مغذی هستند که برخلاف کودهای معدنی، حاوی مقادیر قابل توجهی کربن نیز هستند که برای رشد و استفاده از سایر مواد مغذی مورد نیاز میکروب ها است و از آنجایی که حاوی انواع زیادی از مواد مغذی از جمله ریز مغذی ها و آهک هستند، به آنها کود کامل نیز می گویند (۶۶). آنالیز مؤلفه‌های اصلی همبستگی منفی قوی درشت مغذی‌هایی مانند پتاسیم و فسفر و همچنین تا حد زیادی منیزیم را با سرب نشان داد که پراکنش آن‌ها در نمودار در یک راستا نیست، همچنین میزان سرب در گیاه رابطه معکوسی با غلظت ریز مغذی‌هایی مانند مس و منگنز نشان داد. در مطالعات زیادی گزارش شده است که سرب به عنوان یک عنصر سمی تأثیر منفی بر جذب پتاسیم توسط گیاه دارد و با ممانعت از جذب آن توسط ریشه‌ها، رشد گیاه را محدود می‌کند (۶۷). همبستگی معکوس سرب و پتاسیم به دلیل این است که هر دو کاتیون دارای شعاع تقریبا یکسانی هستند و سرب باعث نشت پتاسیم از سلول‌های ریشه می‌شود (۶۸). همچنین سرب در عناصر تغذیه‌ای نهال‌ها و گیاهان تداخل می‌کند و در نتیجه باعث کمبود یا توزیع نامطلوب یون در گیاه می‌شود (ممانعت از جذب، انتقال، تشکیل رسوبات نامحلول) (۵۹، ۶۹). مشابه نتایج مطالعه حاضر، گزارش شده است که غلظت بالای سرب باعث کاهش محتوای فسفر در کلم شده که رشد گیاه و تجمع ماده خشک را کاهش داده است (۷۰). همچنین در مطالعه‌ای اعمال ppm ۱۰۰ سرب به طور قابل توجهی میزان فسفر اندام

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

هـــوایـــی را در دو گـــونـــه گـــیـــاه تـــاج خـــروس (*Amaranthus oleracea* و *Amaranthus gangeticus*) کاهش داد (۷۱). در مطالعه Wang و همکاران (۷۲) که سطوح صفر تا ۱۰۰ µM سرب را بر روی گونه علف مار ماهی (*Vallisneria natans*) اعمال کردند، میزان مس با افزایش غلظت سرب به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد. در مطالعات زیادی مشاهده شده است که سرب باعث کاهش کاتیون‌های دو ظرفیتی مانـــنـــد منـــیـــزیـــم و مـــنـــگـــنـــز در ذرت (۷۳)، لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculate*) (۷۴) و تـربـچـــه (*Raphanus sativus*) (۷۵) می‌شود. یک همبستگی نسبتا متوسطی بین کلسیم در گونه *M. cuneatum* و غلظت سرب شاخه در نمودار PCA دیده شد که احتمالا به دلیل تحمل بالای این گیاه نسبت به سرب باشد (۷۶). در تطابق با یافته‌های مطالعه حاضر، Małkowski و همکاران (۶۷) نیز همبستگی قوی بین سرب و کلسیم را در گیاه ذرت گزارش کردند. در مطالعه‌ای سطوح مختلف سرب بر روی گیاه علف مار ماهی (*Vallisneria natans*) بررسی شد؛ نتایج نشان داد که با افزایش غلظت سرب، مقدار کلسیم جذب شده توسط گیاه نیز افزایش می‌یابد (۷۲). همچنین مشاهده شده است که سرب در مکانیسم‌های مربوط به تجمع و انتقال کلسیم کمتر از کادمیوم مؤثر است (۷۷). از طرفی این همبستگی کلسیم و سرب برای گونه *V. speciosum* مشاهده نشد و تا حدودی رابطه منفی با یکدیگر دارند. در این راستا بیان شده است که فلزات سنگین مانند سرب می‌توانند با کلسیم برای ورود به سلول‌های گیاهی رقابت کرده و بر تجمع و توزیع کلسیم در گیاهان تأثیر بگذارند (۷۸، ۷۹)؛ علاوه بر این، جذب سرب توسط سلول‌های گیاهی از طریق کانال‌های کلسیم صورت می‌گیرد که می‌تواند حمل و تجمع این عنصر را مختل کند (۸۰)، بنابراین بسته به گونه گیاهی اثرات نامطلوب سرب بر جذب عنصر کلسیم می‌تواند متفاوت باشد. از جمله مهم‌ترین محدودیت‌های مطالعه حاضر، هزینه بالای آزمایشات مربوط به اندازه‌گیری فلزات سنگین و همچنین زمانبر بودن تحقیقات مربوط به کشت گیاه بود که امکان بررسی آن را در شرایط مزرعه‌ای با مشکل مواجه می‌سازد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که کمپوست پسماند شهری به عنوان یک اصلاح‌کننده آلی، ارزان و سازگار با محیط زیست قادر به بهبود خصوصیات رشدی گونه‌های *M. cuneatum* و *V. speciosum* و غلظت مواد مغذی آن‌ها در شرایط کشت در خاک آلوده به سرب و روی است. همچنین این ماده بهبودگر به طور مؤثری منجر به کاهش سمیت سرب از طریق تثبیت آن در خاک و در نتیجه کاهش جذب آن توسط گیاهان مورد مطالعه شد. کاهش زیست فراهمی سرب و جذب آن توسط گونه‌های مورد مطالعه را می‌توان با بهبود وضعیت بیو-شیمیایی و حاصلخیزی خاک که منجر به افزایش جذب عناصر مغذی شد مرتبط دانست. در رابطه با روی، هر چند مقدار این فلز سنگین در گیاهان مورد بررسی در حد نرمال بود اما در اثر اعمال کمپوست نیز غلظت آن کاهشی شد که نشان دهنده قابلیت استفاده از این ماده بهبودگر در شرایط سمیت فلز روی است. به طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که از بین عناصر مورد بررسی پتاسیم، فسفر و مس بیشترین تأثیر را از اعمال کمپوست پذیرفته و حداکثر نقش را در بهبود رشد گیاه و کاهش سمیت سرب نشان دادند. پایداری طولانی مدت این ماده بهبودگر در تثبیت سرب و کاهش جذب آن در گیاهان، نیاز به ارزیابی‌های بعدی به خصوص در شرایط مزرعه‌ای دارد.

ملاحظات اخلاقی

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

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری دانشگاه تهران پایان یافته

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

در سال ۱۴۰۰ تحت عنوان "امکان‌سنجی استفاده از گیاهان برای پالایش خاک‌های آلوده (مطالعه موردی: معدن سرب و روی انگوران زنجان)" است. در اینجا از پرسنل آزمایشگاه خـاکشـــناسی دانشـکده منـــابع طبـیعی دانشـگاه تهـــران که در انـجام ایـن تحـــقیق هـــمکاری داشتـــند تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

References

1. Varshney R, Singh P, Yadav D. Hazardous wastes treatment, storage, and disposal facilities. In: Yadav D, Kumar P, Singh P, Vallero D.A, editors. Hazardous Waste Management. Netherlands: Elsevier; 2022. p. 33-64.
2. Khan A, Khan S, Lei M, Alam M, Khan MA, Khan A. Biochar characteristics, applications and importance in health risk reduction through metal immobilization. Environmental Technology & Innovation. 2020;20:101121.
3. Hosseinniaee S, Mirzaei E. Phytoremediation-Promising Green Technology for Remediation of Heavy Metal Contaminated Lands. Zist Sepehr Student Magazine. 2022;15(1):37-44.(in Persian)
4. Hosseinniaee S, Jafary M, Tavili A, Zare S. Geochemical and ecological assessment of some heavy metals in the soil around the lead and zinc mine in northwestern of Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(1):159-72.(in Persian)
5. Rizwan M, Ali S, Adrees M, Rizvi H, Zia-ur-Rehman M, Hannan F, et al. Cadmium stress in rice: toxic effects, tolerance mechanisms, and management: a critical review. Environmental Science and Pollution Research. 2016;23:17859-79.
6. Amjad M, Iqbal MM, Abbas G, Farooq ABU, Naeem MA, Imran M, et al. Assessment of cadmium and lead tolerance potential of quinoa (Chenopodium quinoa Willd) and its implications for phytoremediation and human health. Environmental Geochemistry and Health. 2022:1-14.
7. Hosseinniaee S, Jafari M, Tavili A, Zare S, Cappai G. Investigating metal pollution in the food chain surrounding a lead-zinc mine (Northwestern Iran); an evaluation of health risks to humans and animals. Environmental Monitoring and Assessment. 2023;195(8):1-21.
8. Selahvarzi M, Sobhanardakani S, Hemmasi AH, Taghavi L, Ghoddousi J. Contamination and source apportionment of iron, zinc, cadmium and chromium elements in surface soil of Khorramabad county, Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;15(4):651-70.(in Persian)
9. Khan A, Khan S, Khan MA, Qamar Z, Waqas M. The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. Environmental Science and Pollution Research. 2015;22:13772-99.
10. Tezotto T, Favarin JL, Azevedo RA, Alleoni LRF, Mazzafera P. Coffee is highly tolerant to cadmium, nickel and zinc: plant and soil nutritional status, metal distribution and bean yield. Field Crops Research. 2012;125:25-34.
11. Hall Já. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. Journal of Experimental Botany. 2002;53(366):1-11.
12. Van Assche F, Clijsters H. Effects of metals on enzyme activity in plants. Plant, Cell & Environment.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

1990;13(3):195-206.

13. Wuana RA, Okieimen FE. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. International Scholarly Research Notices. 2011;2011.
14. Sharma P, Dubey RS. Lead toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology. 2005;17:35-52.
15. Nazar R, Iqbal N, Masood A, Khan MIR, Syeed S, Khan NA. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. American Journal of Plant Sciences. 2012; 3(10):24162.
16. Singh S, Parihar P, Singh R, Singh VP, Prasad SM. Heavy metal tolerance in plants: role of transcriptomics, proteomics, metabolomics, and ionomics. Frontiers in Plant Science. 2016;6:1143.
17. Kaur H, Garg N. Zinc toxicity in plants: A review. Planta. 2021;253(6):129.
18. Ito A, Umita T, Aizawa J, Takachi T, Morinaga K. Removal of heavy metals from anaerobically digested sewage sludge by a new chemical method using ferric sulfate. Water Research. 2000;34(3):751-8.
19. Mulligan C, Yong R, Gibbs B. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. Engineering Geology. 2001;60(1-4):193-207.
20. Torbati S, Esmailbegi Kermani S. Determining the concentration of Ag, Pb and Zn elements in some indigenous plant species grown in Zarshouran mining area, northwestern Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(3):379-98.(in Persian)
21. Rizwan M, Ali S, Qayyum MF, Ibrahim M, Zia-ur-Rehman M, Abbas T, Ok YS. Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: a critical review. Environmental Science and Pollution Research. 2016;23:2230-48.
22. Alvarenga P, De Varennes A, Cunha-Queda A. The effect of compost treatments and a plant cover with Agrostis tenuis on the immobilization/mobilization of trace elements in a mine-contaminated soil. International Journal of Phytoremediation. 2014;16(2):138-54.
23. Rossini-Oliva S, Mingorance MD, Peña A. Effect of two different composts on soil quality and on the growth of various plant species in a polymetallic acidic mine soil. Chemosphere. 2017;168:183-90.
24. Lebrun M, Nandillon R, Miard F, Scippa GS, Bourgerie S, Morabito D. Application of amendments for the phytoremediation of a former mine technosol by endemic pioneer species: alder and birch seedlings. Environmental Geochemistry and Health. 2021;43(1):77-89.
25. Rehman MZ-u, Rizwan M, Ali S, Fatima N, Yousaf B, Naeem A, et al. Contrasting effects of biochar, compost and farm manure on alleviation of nickel toxicity in maize (Zea mays L.) in relation to plant growth, photosynthesis and metal uptake. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2016;133:218-25.
26. Bian R, Joseph S, Cui L, Pan G, Li L, Liu X, et al. A three-year experiment confirms continuous immobilization of cadmium and lead in contaminated paddy field with biochar amendment. Journal of Hazardous Materials. 2014;272:121-8.
27. Xu P, Sun C-X, Ye X-Z, Xiao W-D, Zhang Q, Wang Q. The effect of biochar and crop straws on heavy metal bioavailability and plant accumulation in a Cd and Pb polluted soil. Ecotoxicology and

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

Environmental Safety. 2016;132:94-100.

28. Gul I, Manzoor M, Hashim N, Yaqoob K, Kallerhoff J, Arshad M. Comparative effectiveness of organic and inorganic amendments on cadmium bioavailability and uptake by Pelargonium hortorum. Journal of Soils and Sediments. 2019;19:2346-56.

29. Lebrun M, Nandillon R, Miard F, Scippa GS, Bourgerie S, Morabito D. Application of amendments for the phytoremediation of a former mine technosol by endemic pioneer species: alder and birch seedlings. Environmental Geochemistry and Health. 2021;43:77-89.

30. Malayeri BE, Chehregani A, Mohsenzadeh F, Kazemeini F, Asgari M. Plants growing in a mining area: Screening for metal accumulator plants possibly useful for bioremediation. Toxicological & Environmental Chemistry. 2013;95(3):434-44.

31. Noori M, Malayeri B, Moosaei M, Pakzad R, Piriye MH. Effects of heavy metals on the antibacterial properties of Verbascum speciosum Schard. Revista Científica UDO Agrícola. 2012;12(2):463-71.

32. Hosseinniaee S, Jafari M, Tavili A, Zare S, Cappai G. Chelate facilitated phytoextraction of Pb, Cd, and Zn from a lead–zinc mine contaminated soil by three accumulator plants. Scientific Reports. 2023;13(1):21185.

33. Hosseinniaee S, Jafari M, Tavili A, Zare S, Cappai G, De Giudici G. Perspectives for phytoremediation capability of native plants growing on Angouran Pb–Zn mining complex in northwest of Iran. Journal of Environmental Management. 2022;315:115184.

34. Eissa MA, Al-Yasi HM, Ghoneim AM, Ali EF, El Shal R. Nitrogen and compost enhanced the phytoextraction potential of cd and pb from contaminated soils by quail bush [Atriplex lentiformis (Torr.) S. Wats]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2022:1-9.

35. Turekian KK, Wedepohl KH. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geological Society of America Bulletin. 1961;72(2):175-92.

36. Organization WH. International programme on chemical safety (IPCS). Thallium. Environmental health criteria. 1996;183. (available at: https://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc182.htm).

37. Nelson DW, Sommers LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL, editor.

Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties. New York: Wiley; 1983. p. 539-79.

38. Olsen S, Sommers L. Phosphorus in AL Page,(Ed). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Mongraphs. 1982;9(2):159-65.

39. USEPA, E., 2007. Method 3051: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Test Methods Evaluating Solid Waste 1–30. (available at: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf).

40. Lindsay WL, Norvell W. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America journal. 1978;42(3):421-8.

41. Manoj SR, Karthik C, Kadirvelu K, Arulselvi PI, Shanmugasundaram T, Bruno B, Rajkumar M. Understanding the molecular mechanisms for the enhanced phytoremediation of heavy metals through plant growth promoting rhizobacteria: A review. Journal of Environmental Management. 2020;254:109779.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

42. Yaashikaa P, Kumar PS, Jeevanantham S, Saravanan R. A review on bioremediation approach for heavy metal detoxification and accumulation in plants. Environmental Pollution. 2022;301:119035.
43. Gondek K, Mierzwa-Hersztek M, Kopeć M. Mobility of heavy metals in sandy soil after application of composts produced from maize straw, sewage sludge and biochar. Journal of Environmental Management. 2018;210:87-95.
44. Jasson, T.I. Effects of Compost Tea Extract on Growth, Nutritional Value, Soil Quality of Hypoxis Hemerocallidea and Siphonochilus Aethiopicus. Master's Thesis, Cape Peninsula University of Technology, Belville, NC, USA, 2017; p. 138. (available at: https://etd.cput.ac.za/handle/20.500.11838/2791).
45. Gomes Júnior GA, Pereira RA, Sodré GA, Gross E. Growth and quality of mangosteen seedlings (Garcinia mangostana L.) in response to the application of humic acids. Revista Brasileira de Fruticultura. 2019;41:1-10.
46. De Corato U. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. Science of The Total Environment. 2020;738:139840.
47. Huang M, Zhu Y, Li Z, Huang B, Luo N, Liu C, Zeng G. Compost as a soil amendment to remediate heavy metal-contaminated agricultural soil: mechanisms, efficacy, problems, and strategies. Water, Air, & Soil Pollution. 2016;227:1-18.
48. Yuan J-H, Xu R-K, Zhang H. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. Bioresource Technology. 2011;102(3):3488-97.
49. Chang Chien S, Wang M, Huang C, Seshaiah K. Characterization of humic substances derived from swine manure-based compost and correlation of their characteristics with reactivities with heavy metals. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007;55(12):4820-7.
50. Udovic M, McBride MB. Influence of compost addition on lead and arsenic bioavailability in reclaimed orchard soil assessed using Porcellio scaber bioaccumulation test. Journal of Hazardous Materials. 2012;205:144-9.
51. Lu K, Yang X, Shen J, Robinson B, Huang H, Liu D, et al. Effect of bamboo and rice straw biochars on the bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn to Sedum plumbizincicola. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2014;191:124-32.
52. Kargar M, Clark OG, Hendershot WH, Jutras P, Prasher SO. Immobilization of trace metals in contaminated urban soil amended with compost and biochar. Water, Air, & Soil Pollution. 2015;226:1-12.
53. Rosen V, Chen Y. The influence of compost addition on heavy metal distribution between operationally defined geochemical fractions and on metal accumulation in plant. Journal of Soils and Sediments. 2014;14:713-20.
54. Shen Z, Som AM, Wang F, Jin F, McMillan O, Al-Tabbaa A. Long-term impact of biochar on the immobilisation of nickel (II) and zinc (II) and the revegetation of a contaminated site. Science of The Total Environment. 2016;542:771-6.
55. Yousaf B, Liu G, Wang R, Zia-ur-Rehman M, Rizwan MS, Imtiaz M, et al. Investigating the potential influence of biochar and traditional organic amendments on the bioavailability and transfer of

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

Cd in the soil–plant system. Environmental Earth Sciences. 2016;75:1-10.

56. Garau M, Castaldi P, Diquattro S, Pinna MV, Senette C, Roggero PP, Garau G. Combining grass and legume species with compost for assisted phytostabilization of contaminated soils. Environmental Technology & Innovation. 2021;22:101387.

57. A Alloway B. Heavy Metals in Soils. UK: Blackie & Son; 1990.

58. Moustakas M, Lanaras T, Symeonidis L, Karataglis S. Growth and some photosynthetic characteristics of field grown Avena sativa under copper and lead stress. Photosynthetica (Czech Republic). 1994; 30(3):389-396.

59. Burzynski M. The influence of lead and cadmium on the absorption and distribution of potassium, calcium, magnesium and iron in cucumber seedlings. Acta Physiologiae Plantarum. 1987;9(4).

60. Hagemann N, Joseph S, Schmidt H-P, Kammann CI, Harter J, Borch T, et al. Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. Nature Communications. 2017;8(1):1089.

61. Puga A, Abreu C, Melo L, Paz-Ferreiro J, Beesley L. Cadmium, lead, and zinc mobility and plant uptake in a mine soil amended with sugarcane straw biochar. Environmental Science and Pollution Research. 2015;22:17606-14.

62. Ahmad M, Ok YS, Kim B-Y, Ahn J-H, Lee YH, Zhang M, et al. Impact of soybean stover- and pine needle-derived biochars on Pb and As mobility, microbial community, and carbon stability in a contaminated agricultural soil. Journal of Environmental Management. 2016;166:131-9.

63. Elless MP, Blaylock MJ, Huang JW, Gussman CD. Plants as a natural source of concentrated mineral nutritional supplements. Food Chemistry. 2000;71(2):181-8.

64. Sandeep G, Vijayalatha K, Anitha T. Heavy metals and its impact in vegetable crops. International Journal of Chemical Studies. 2019;7(1):1612-21.

65. Kabata-Pendias, A., 2010. Trace Elements in Soils and Plants, 4th ed. CRC Press, Boca Raton, p. 548.

66. Siedt M, Schäffer A, Smith KE, Nabel M, Roß-Nickoll M, van Dongen JT. Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides. Science of The Total Environment. 2021;751:141607.

67. Małkowski E, Kita A, Galas W, Karcz W, Kuperberg JM. Lead distribution in corn seedlings (Zea mays L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium. Plant Growth Regulation. 2002;37:69-76.

68. Zulfiqar U, Farooq M, Hussain S, Maqsood M, Hussain M, Ishfaq M, et al. Lead toxicity in plants: Impacts and remediation. Journal of Environmental Management. 2019;250:109557.

69. Trvedi S, Erdei L. Effects of cadmium and lead on the accumulation of Ca2+ and K+ and on the influx and translocation of K+ in wheat of low and high K+ status. Physiologia Plantarum. 1992;84(1):94-100.

70. Sinha P, Dube B, Srivastava P, Chatterjee C. Alteration in uptake and translocation of essential nutrients in cabbage by excess lead. Chemosphere. 2006;65(4):651-6.

71. Kibria M, Islam M, Osman K. Effects of lead on growth and mineral nutrition of Amaranthus gangeticus L. and Amaranthus oleracea L. Soil and Environment. 2009;28(1):1-6.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

72. Wang C, Lu J, Zhang S, Wang P, Hou J, Qian J. Effects of Pb stress on nutrient uptake and secondary metabolism in submerged macrophyte Vallisneria natans. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2011;74(5):1297-303.

73. Seregin I, Shpigun L, Ivanov V. Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots. Russian Journal of Plant Physiology. 2004;51:525-33.

74. Kopittke PM, Asher CJ, Kopittke RA, Menzies NW. Toxic effects of Pb2+ on growth of cowpea (Vigna unguiculata). Environmental Pollution. 2007;150(2):280-7.

75. Gopal R, Rizvi AH. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. Chemosphere. 2008;70(9):1539-44.

76. Antosiewicz DM. Mineral status of dicotyledonous crop plants in relation to their constitutional tolerance to lead. Environmental and Experimental Botany. 1993;33(4):575-89.

77. Małkowski E, Kurtyka R, Kita A, Karcz W. Accumulation of Pb and Cd and its effect on Ca distribution in maize seedlings (Zea mays L.). Polish Journal of Environmental Studies. 2005;14(2):203.

78. Huang J, Cunningham S. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. New Phytologist. 1996;134(1):75-84.

79. Clemens S, Antosiewicz DM, Ward JM, Schachtman DP, Schroeder JI. The plant cDNA LCT1 mediates the uptake of calcium and cadmium in yeast. Proceedings of The National Academy of Sciences. 1998;95(20):12043-8.

80. Kim YY, Yang YY, Lee Y. Pb and Cd uptake in rice roots. Physiologia Plantarum. 2002;116(3):368-72.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]

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

Original Article

The effect of municipal solid waste compost on the reduction of lead and zinc toxicity and uptake of nutrients by two medicinal species *Marrubium cuneatum* and *Verbascum speciosum* in a soil contaminated with heavy metals

Sadegh Hosseinniaee*, Mohammad Jafary, Ali Tavili, Salman Zare

Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 18 October 2023
Revised: 25 November 2023
Accepted: 29 November 2023
Published: 05 March 2024

Keywords: Municipal solid waste compost, Pb toxicity, Principal component analysis, Nutrients

***Corresponding Author:**
sadeghhoseyni71@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: The toxicity of heavy metals is one of the most important environmental issues in the current century. This research aimed to investigate the effect of municipal solid waste compost on the absorption of nutrients and lead and zinc metals in *M. cuneatum* and *V. speciosum* plants.

Materials and Methods: In a greenhouse experiment, compost at four levels (0, 1, 3 and 5% w/w) was completely mixed with natural soil contaminated with heavy metals (Pb and Zn). After six months of harvesting the plants, the shoot and root biomass was determined. Also, the concentration of macronutrients and micronutrients, Pb and Zn in the roots and aerial parts of plants and available Pb and Zn in the soil were measured using the ICP-OES. In order to investigate the correlation between the measured plant and soil parameters, principal component analysis (PCA) was performed

Results: Compost significantly improved the shoot dry weight of *M. cuneatum* and *V. speciosum* by 13 and 19%, respectively. 5% compost significantly reduced shoot lead by 64 and 34.4% in *M. cuneatum* and *V. speciosum*, respectively, compared to the control. Compost was more effective in increasing potassium, phosphorus, copper, and nickel than magnesium, manganese, and calcium, and increased shoot potassium by 22 and 32%, respectively, in *M. cuneatum* and *V. speciosum* compared to the control; this increase was 30 and 14% for copper and 19 and 21% for phosphorus, respectively. PCA analysis showed that, among the investigated elements, potassium, phosphorus and copper were most affected by composting and had the maximum role in improving plant growth and reducing lead toxicity.

Conclusion: Municipal solid waste compost improved the growth of *M. cuneatum* and *V. speciosum* and reduced phytotoxicity by immobilizing lead in the soil.

Please cite this article as: Hosseinniaee S, Jafary M, Tavili A, Zare S. The effect of municipal solid waste compost on the reduction of lead and zinc toxicity and uptake of nutrients by two medicinal species Marrubium cuneatum and Verbascum speciosum in a soil contaminated with heavy metals. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;16(4):707-30.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-24]