DOI: 10.48305/jhsr.v19i4.1522 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 19, No. 4, Winter

Received: 09.04.2023 Accepted: 16.07.2023 Published: 06.12.2023

The Effect of Zinc Nutritional Element and Fuel Oil Pollution on Lead Sorption by Wheat Plants in a Soil Treated with Vermicompost under Drought Stress

Amir Hossein Baghaie[1]

Original Article

Abstract

Background: Considering the importance of heavy metal pollution and fuel oil on human health, this research was done to investigate the effect of zinc (Zn) nutritional element and fuel oil pollution on lead (Pb) sorption by the wheat plant in a soil treated with vermicompost under drought stress.

Methods: The current research was conducted as a factorial experiment in the form of a randomized complete block design. The amount of biodegradation of fuel oil in soil was measured by weight method and the amount of Pb and Zn in the wheat plant was extracted by hydrochloric acid (HCl) 2N and then measured by atomic absorption device.

Findings: The application of 15 and 30 t/ha of vermicompost decreased the amount of Pb sorption by the wheat plant by 12.3% and 13.8%, while the bio-degradation of fuel oil increased by 13.9% and 22.2%, respectively. Application of 40 kg/ha of pure Zn in the form of Zn sulfate and Zn chelate caused an increase in the biodegradation of fuel oil in the soil by 21.4% and 32%, respectively. Meanwhile, the activity level of ascorbate peroxidase (APX) enzyme decreased by 11.4% and 12.8%, respectively.

Conclusion: Using 40 kg of pure Zn from the Zn sulfate and chelate source has been able to play an effective role in reducing the Pb concentration in the wheat plant cultivated in the soil contaminated with fuel oil. The application of vermicompost has also played an effective role in reducing the availability of Pb in the soil.

Keywords: Soil pollution; Fuel oils; Wheat; Droughts

Citation: Baghaie AH. **The Effect of Zinc Nutritional Element and Fuel Oil Pollution on Lead Sorption by Wheat Plants in a Soil Treated with Vermicompost under Drought Stress.** J Health Syst Res 2024; 19(4): 351-8.

1- Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran
Corresponding Author: Amir Hossein Baghaie; Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran; Email: am.baghaie@iau.ac.ir

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

DOI: 10.48305/jhsr.v19i4.1522 Published by Vesnu Publications

اثر عنصر تغذیه‌ای روی و آلودگی مازوت بر میزان جذب سرب توسط گیاه گندم در یک خاک تیمار شده با ورمی کمپوست تحت تنش خشکی

امیر حسین بقائی[1]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: با توجه به اهمیت آلودگی فلزات سنگین و مازوت بر سلامت انسان، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر عنصر تغذیه‌ای روی و آلودگی مازوت بر میزان جذب سرب توسط گیاه گندم در یک خاک تیمار شده با ورمی کمپوست تحت تنش خشکی انجام شد.

روش‌ها: این مطالعه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام گردید. میزان تجزیه زیستی مازوت در خاک به روش وزنی و میزان سرب و روی در گیاه گندم نیز توسط اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره‌گیری و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست، منجر به کاهش ۱۲/۳ و ۱۳/۸ درصدی میزان جذب سرب توسط گیاه گندم شد؛ در حالی که میزان تجزیه زیستی مازوت به ترتیب ۱۳/۹ و ۲۲/۲ درصد افزایش یافت. کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار روی خالص از منبع سولفات روی و کلات روی به ترتیب باعث افزایش ۲۱/۴ و ۳۲/۰ درصدی در میزان تجزیه زیستی مازوت در خاک شد، این در حالی است که میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (Ascorbate peroxidase یا APX) به ترتیب ۱۱/۴ و ۱۲/۸ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: کاربرد ۴۰ کیلوگرم روی خالص از منبع سولفات و کلات روی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش میزان غلظت سرب در گیاه گندم کاشته شده در خاک آلوده شده به مازوت داشته باشد. کاربرد ورمی کمپوست نیز نقش مؤثری در کاهش میزان قابلیت دسترسی سرب در خاک داشت.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک؛ مازوت؛ گندم؛ خشکسالی

ارجاع: بقائی امیر حسین. **اثر عنصر تغذیه‌ای روی و آلودگی مازوت بر میزان جذب سرب توسط گیاه گندم در یک خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست تحت تنش خشکی.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۲؛ ۱۹ (۴): ۳۵۸-۳۵۱

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱/۲۰ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۴/۲۵ تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۹/۱۵

مقدمه

آلودگی خاک با فلزات سنگین به دلیل اثرات نامطلوب آن بر سلامت اکوسیستم و امنیت غذایی، به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است. فلزات سنگین از نظر بیولوژیکی غیر قابل تجزیه هستند و می‌توانند به مدت طولانی در محیط باقی بمانند و از طریق جذب توسط گیاهان، وارد زنجیره غذایی انسان شوند (۱). وجود فلزات سنگین از جمله سرب در چرخه تولید محصولات کشاورزی، باعث کاهش کمیت (عملکرد) و کیفیت تغذیه‌ای محصول خواهد شد (۲). از سوی دیگر، تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی به شمار می‌رود که منجر به کاهش راندمان تولید محصولات کشاورزی تا بیش از ۵۰ درصد می‌گردد (۳). تنش خشکی تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه القا می‌کند که شدت این تغییرات بستگی به شدت تنش و مرحله رشد گیاه دارد (۴). تولید انواع گونه‌های اکسیژن فعال (Reactive oxygen species یا ROS) شامل مولکول‌های سوپراکسید، هیدروژن پراکسید و رادیکال هیدروکسیل، یکی از تأثیرات مخرب تنش خشکی بر گیاهان است (۵). به طور کلی، گیاهانی که عناصر غذایی را به مقدار کافی دریافت می‌کنند، مقاومت بهتری در شرایط خشکی دارند؛ هرچند شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش قابلیت دسترسی عناصر غذایی مانند آهن و روی، غلظت این عناصر در گیاهان را کاهش می‌دهد (۶).

امروزه در بسیاری از مناطق صنعتی کشورمان مشکل آلودگی هم‌زمان خاک به فلزات سنگین و ترکیبات نفتی وجود دارد؛ هرچند که در این میان، به دلیل تغییر شرایط اقلیمی، تنش خشکی نیز توانسته است اثرات مخرب این آلاینده‌ها بر زنجیره غذایی و سلامت انسان را تشدید کند (۷). از طرف دیگر، کمبود عناصر ریزمغذی در مناطق خشک نیز باعث تشدید اثرات منفی آلاینده‌ها شده است (۸)، در این میان، کاربرد کودهای آلی مانند ورمی کمپوست به همراه استفاده از عناصر غذایی، می‌تواند منجر به کاهش قابلیت دسترسی آلاینده‌ها در خاک شود (۹)، اما ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و نقش آن بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک، نباید نادیده گرفته شود. با توجه به آلودگی هم‌زمان هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین در برخی مناطق صنعتی کشور، لزوم کاهش قابلیت دسترسی و جذب آن‌ها به وسیله گیاه، امری ضروری به نظر می‌رسد (۱۰). بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هیدروکربن نفتی و عنصر تغذیه‌ای روی بر میزان فعالیت بیوشیمیایی و میزان جذب سرب توسط گیاه گندم در یک خاک تیمار شده با ورمی کمپوست تحت تنش خشکی صورت گرفت.

۱- استادیار، گروه خاک‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

نویسنده مسؤول: امیر حسین بقائی؛ استادیار، گروه خاک‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

Email: am.baghaie@iau.ac.ir

روش‌ها

جهت بررسی اثر عنصر تغذیه‌ای روی و هیدروکربن نفتی بر میزان فعالیت بیوشیمیایی و جذب سرب توسط گیاه گندم در یک خاک تیمار شده با ورمی کمپوست تحت تنش خشکی، یک خاک غیر شور (هدایت الکتریکی کمتر از ۲) با درصد کربن آلی پایین [(Organic carbon یا OC) کمتر از ۱ درصد] از اطراف یک منطقه صنعتی آلوده به سرب (۱۲۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک) در استان مرکزی، شهرستان اراک انتخاب شد. این مطالعه به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل کاربرد صفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار روی خالص از منبع سولفات روی و کلات روی و همچنین، آلودگی خاک به مازوت در سطح صفر و ۸ درصد وزنی خاک تیمار شده با صفر، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست بود. گیاه مورد بررسی، گندم (Triticum aestivm L. Cv. Pishgam) بود که تحت شرایط رطوبتی طبیعی و تنش خشکی قرار گرفت.

ابتدا خاک با مقادیر صفر و ۸ درصد وزنی مازوت آلوده و به مدت یک ماه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد تا به تعادل برسد. سپس خاک با مقادیر ذکر شده ورمی کمپوست تیمار و مجدد به مدت یک ماه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رها گردید. در مرحله بعد، دو عدد بذر گیاه گندم (رقم پیشگام) در گلدان‌هایی که با حدود ۴ کیلوگرم از نمونه خاک تیمار شده پر شده بود، کاشته شد. آبیاری گلدان‌ها هر ۲ روز یک بار به طور یکنواخت انجام شد و گیاهان در شرایط گلخانه در دمای ۲ ± ۱۸ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط رطوبتی نرمال (۷۰ درصد رطوبتی ظرفیت زراعی مزرعه) و تنش خشکی قرار گرفتند.

برداشت بوته‌های گیاه ۶۰ روز پس از کاشت انجام شد و سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن قرار گرفت. پس از آن، نمونه‌ها در دمای ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر و غلظت سرب پس از عصاره‌گیری نمونه‌ها با اسید کلریدریک ۲ نرمال با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin-Elmer model. 3030، آمریکا) قرائت گردید (۱۱).

همزمان با برداشت گیاه، از خاک گلدان‌های گیاه نمونه‌برداری شد. درصد تجزیه زیستی مازوت در خاک به روش پژوهش حاتمی و همکاران بر اساس اختلاف مازوت استخراج شده توسط حلال ان‌هگزان از خاک در ابتدا و انتهای آزمایش (۱۲) و تنفس میکروبی خاک با استفاده از روش تیتراسیون برگشتی و اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن تولیدی بر اساس رابطه ۱ تعیین شد (۱۳) که در آن، B.R تنفس پایه خاک بر حسب میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در یک کیلوگرم خاک در روز، N_b نرمالیته سود مصرفی در آزمایش، V_b حجم سود مصرفی در آزمایش بر حسب میلی‌لیتر، N_a نرمالیته اسید سولفوریک مصرفی در آزمایش و V_a حجم اسید سولفوریک مصرفی برای تیتر سود باقی‌مانده بر حسب میلی‌لیتر می‌باشد.

$$B.R = (N_b V_b - N_a V_a) \times \frac{12}{2} \times \frac{1000}{50}$$ رابطه ۱

میزان فعالیت آنزیم‌های بیوشیمیایی گیاهان شامل آسکوربات پراکسیداز (Ascorbate peroxidase یا APX) و پراکسیداز (Peroxidase یا POX) پس از عصاره‌گیری با ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار در اسیدیته ۷/۲، با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر تعیین گردید (۱۴).

میانگین داده‌ها بر اساس آزمون Least significant difference (LSD) در نرم‌افزار SAS نسخه 9.1 و سطح احتمال ۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها

بیشترین مقدار سرب قابل دسترس در خاک مربوط به خاک فاقد ورمی کمپوست با بیشترین مقدار مازوت (۸ درصد وزنی) بود (جدول ۱)؛ در حالی که کمترین مقدار سرب قابل دسترس، به خاک تیمار شده با ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست و فاقد آلودگی مازوت اختصاص داشت. ترکیبات آلی و معدنی روی صرف نظر از نوع منبع، نقش بسزایی در کاهش میزان سرب قابل دسترس خاک داشت؛ به نحوی که کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار روی از منبع سولفات و کلات روی، به ترتیب باعث کاهش ۲۱ و ۳۲ درصدی مقدار سرب قابل دسترس خاک شد و این در حالی است که تنش خشکی باعث افزایش میزان سرب قابل دسترس خاک گردید؛ به طوری که میزان سرب قابل دسترس در خاک تحت تنش خشکی و تیمار شده با ۱۵ تن در هکتار ورمی کمپوست و آلوده به ۸ درصد وزنی مازوت، افزایش معنی‌دار ۱۱/۸ درصدی را نشان داد.

کاربرد ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست در خاک آلوده به ۸ درصد وزنی مازوت به ترتیب باعث کاهش ۱۳/۶ و ۱۸/۲ درصدی در میزان سرب قابل جذب گیاه در شرایط نرمال و تنش خشکی شد (جدول ۱). صرف نظر از شرایط رطوبتی، افزایش آلودگی خاک به مازوت، باعث افزایش میزان سرب قابل جذب گیاه گردید. با افزایش آلودگی خاک به مازوت از صفر به ۸ درصد وزنی، میزان سرب قابل جذب گیاه ۱۴/۱ درصد افزایش یافت؛ هرچند که تنش خشکی نیز منجر به افزایش میزان سرب قابل جذب گیاه شد.

کاربرد ورمی کمپوست نقش مهمی در افزایش تجزیه زیستی مازوت در خاک داشت (جدول ۲)؛ به نحوی که افزایش کاربرد ورمی کمپوست از ۱۵ به ۳۰ تن در هکتار در خاک کشت شده با گیاه گندم تحت شرایط رطوبتی نرمال و تنش خشکی، به ترتیب باعث افزایش ۱۴/۷ و ۱۸/۶ درصدی تجزیه زیستی مازوت شد. از سوی دیگر، کاربرد کود آلی و معدنی روی نیز نقش بسزایی در افزایش تجزیه زیستی مازوت در خاک داشت؛ به طوری که همزمان با کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار عنصر روی از منبع سولفات و کلات روی در خاک تیمار شده با ۱۵ تن در هکتار ورمی کمپوست، مقدار تجزیه زیستی مازوت به ترتیب ۱۳/۴ و ۱۷/۷ درصد افزایش نشان داد. این در حالی است که میزان تجزیه زیستی مازوت در خاک تحت کشت گیاه گندم در معرض تنش خشکی کمتر از شرایط رطوبتی نرمال بود.

بر اساس نتایج به دست آمده، تنفس میکروبی در خاک رابطه مستقیمی با تجزیه زیستی مازوت داشت (جدول ۳). همچنین، بیشترین میزان تنفس میکروبی متعلق به خاکی با بیشترین میزان دریافت ورمی کمپوست بود. کاربرد منبع آلی و معدنی روی نیز نقش بسزایی در افزایش تنفس میکروبی خاک ایفا کرد. بر این اساس، کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات و کلات روی، باعث افزایش ۱۱/۸ و ۲۴/۲ درصدی تنفس میکروبی خاک گردید. افزایش میزان آلودگی خاک به مازوت از صفر به ۸ درصد وزنی خاک، باعث افزایش معنی‌دار ۱۰/۲ درصدی در میزان تنفس میکروبی خاک شد؛ هرچند که تنش خشکی نقش منفی در میزان تنفس میکروبی خاک داشت.

جدول ۱. اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت سرب در خاک و گیاه

ورمی کمپوست (تن در هکتار)	نرمال				تنش خشکی				نرمال				تنش خشکی			
	سولفات روی (کیلوگرم بر هکتار)								کلات روی (کیلوگرم بر هکتار)							
	صفر		۴۰		صفر		۴۰		صفر		۴۰		صفر		۴۰	
	مازوت (درصد وزنی- وزنی)															
	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸
	غلظت سرب قابل دسترسی خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)															
صفر	۱۳۴/۴^{e}	۱۳۷/۵^{c}	۱۳۱/۵^{h}	۱۳۳/۶^{f}	۱۳۸/۷^{b}	۱۴۱/۶^{a}	۱۳۵/۵^{d}	۱۳۷/۳^{c}	۱۳۲/۷^{g}	۱۳۴/۳^{e}	۱۲۹/۸^{j}	۱۳۱/۲^{h}	۱۳۴/۷^{e}	۱۳۵/۸^{d}	۱۳۲/۵^{g}	۱۳۴/۶^{e}
۱۵	۱۳۳/۸^{f}	۱۳۵/۷^{d}	۱۳۰/۶^{i}	۱۳۲/۵^{g}	۱۳۵/۵^{d}	۱۳۸/۹^{b}	۱۳۳/۱^{f}	۱۳۴/۷^{e}	۱۳۰/۳^{i}	۱۳۱/۳^{h}	۱۲۵/۵^{o}	۱۲۸/۴^{k}	۱۳۱/۷^{h}	۱۳۳/۹^{f}	۱۳۰/۱^{i}	۱۳۲/۱^{g}
۳۰	۱۳۲/۹^{g}	۱۳۴/۵^{e}	۱۲۸/۶^{k}	۱۳۰/۶^{i}	۱۳۳/۴^{f}	۱۳۵/۳^{d}	۱۳۰/۲^{i}	۱۳۲/۴^{g}	۱۲۷/۲^{l}	۱۲۸/۳^{k}	۱۲۲/۱^{p}	۱۲۴/۷^{m}	۱۲۹/۲^{j}	۱۳۰/۶^{i}	۱۲۷/۲^{l}	۱۲۸/۸^{k}
	غلظت سرب گیاه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)															
صفر	۸۸/۷^{h}	۹۳/۲^{c}	۸۵/۷^{k}	۸۶/۸^{l}	۹۰/۸^{f}	۹۵/۷^{a}	۸۷/۸^{i}	۹۱/۲^{e}	۸۰/۲^{p}	۸۳/۲^{m}	۷۵/۴^{u}	۷۸/۷^{r}	۸۲/۵^{n}	۸۵/۸^{k}	۷۹/۷^{q}	۸۱/۱^{o}
۱۵	۸۶/۵^{j}	۹۲/۳^{d}	۸۴/۴^{l}	۸۴/۴^{l}	۸۸/۸^{h}	۹۴/۶^{b}	۸۵/۵^{k}	۸۹/۷^{g}	۷۸/۱^{r}	۸۰/۱^{p}	۷۳/۳^{w}	۷۵/۳^{u}	۸۱/۷^{o}	۸۳/۵^{m}	۷۶/۴^{t}	۷۹/۳^{q}
۳۰	۸۵/۳^{k}	۸۹/۱^{g}	۸۱/۳^{o}	۸۳/۳^{m}	۸۷/۵^{i}	۹۱/۷^{e}	۸۴/۱^{l}	۸۷/۵^{i}	۷۵/۳^{u}	۷۸/۳^{r}	۷۲/۱^{x}	۷۴/۲^{v}	۷۷/۵^{s}	۷۹/۷^{q}	۷۵/۳^{u}	۷۶/۲^{t}

داده‌هایی که در هر شاخص دارای حروف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند ($P > ۰/۰۵$).

جدول ۲. اثر تیمارهای آزمایشی بر تجزیه زیستی مازوت در خاک

ورمی کمپوست (تن در هکتار)	نرمال				تنش خشکی				نرمال				تنش خشکی			
	سولفات روی (کیلوگرم بر هکتار)								کلات روی (کیلوگرم بر هکتار)							
	صفر		۴۰		صفر		۴۰		صفر		۴۰		صفر		۴۰	
	مازوت (درصد وزنی- وزنی)															
	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸
صفر	ND	۵۱/۲^{I}	ND	۵۷/۷^{e}	ND	۴۸/۸^{k}	ND	۵۲/۵^{h}	ND	۵۱/۴^{i}	ND	۶۱/۶^{b}	ND	۴۸/۴^{k}	ND	۵۵/۶^{f}
۱۵	ND	۵۴/۸^{g}	ND	۵۸/۷^{d}	ND	۵۰/۶^{j}	ND	۵۴/۳^{g}	ND	۵۴/۷^{g}	ND	۶۲/۵^{b}	ND	۵۰/۵^{j}	ND	۵۸/۳^{d}
۳۰	ND	۵۵/۹^{f}	ND	۶۱/۹^{b}	ND	۵۲/۳^{h}	ND	۵۱/۷^{i}	ND	۵۵/۶^{f}	ND	۶۵/۸^{a}	ND	۵۲/۷^{h}	ND	۶۰/۲^{c}

داده‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند ($P > ۰/۰۵$).

ND: قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه نبوده است.

http://hsr.mui.ac.ir

جدول ۳. اثر تیمارهای آزمایشی بر تنفس میکروبی خاک (میلی‌گرم کربن- دی‌اکسید کربن در هر کیلوگرم خاک)

ورمی کمپوست (تن در هکتار)	نرمال				تنش خشکی				نرمال				تنش خشکی			
	سولفات روی (کیلوگرم بر هکتار)								کلات روی (کیلوگرم بر هکتار)							
	صفر		۴۰		صفر		۴۰		صفر		۴۰		صفر		۴۰	
	مازوت (درصد وزنی- وزنی)															
	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸
صفر	۱۳/۱^{a}	۱۴/۲^{w}	۱۶/۱^{o}	۱۷/۳^{i}	۱۲/۸^{b}	۱۳/۷^{z}	۱۵/۲^{v}	۱۵/۹^{p}	۱۳/۱^{a}	۱۵/۵^{s}	۱۷/۳^{i}	۱۹/۲^{c}	۱۲/۸^{b}	۱۳/۷^{z}	۱۵/۲^{v}	۱۶/۷^{l}
۱۵	۱۴/۲^{x}	۱۵/۷^{r}	۱۶/۸^{k}	۱۷/۸^{g}	۱۳/۱^{a}	۱۴/۴^{w}	۱۵/۴^{t}	۱۶/۲^{n}	۱۴/۲^{x}	۱۶/۲^{n}	۱۷/۷^{h}	۱۹/۷^{b}	۱۳/۱^{a}	۱۴/۴^{w}	۱۵/۴^{t}	۱۷/۸^{g}
۳۰	۱۵/۸^{q}	۱۶/۳	۱۷/۲^{j}	۱۷/۹^{f}	۱۳/۹^{y}	۱۵/۳^{u}	۱۶/۱^{o}	۱۶/۸^{k}	۱۵/۸^{q}	۱۷/۷^{h}	۱۸/۲^{e}	۲۰/۳^{a}	۱۳/۹^{y}	۱۵/۳^{u}	۱۶/۱^{n}	۱۸/۴^{d}

داده‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند ($P > ۰/۰۵$).

جدول ۴. اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فعالیت آنزیم‌های گیاهی (واحد بر میلی‌گرم پروتئین)

ورمی کمپوست (تن در هکتار)	نرمال				تنش خشکی				نرمال				تنش خشکی			
	سولفات روی (کیلوگرم بر هکتار)								کلات روی (کیلوگرم بر هکتار)							
	صفر		۴۰		صفر		۴۰		صفر		۴۰		صفر		۴۰	
	مازوت (درصد وزنی- وزنی)															
	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸	صفر	۸
	فعالیت آنزیم APX															
صفر	۱۵/۲^{m}	۱۶/۴^{d}	۱۵/۲^{m}	۱۵/۸^{h}	۱۶/۷^{c}	۱۷/۱^{a}	۱۶/۲^{e}	۱۶/۴^{d}	۱۴/۷^{q}	۱۵/۸^{h}	۱۴/۷^{q}	۱۵/۰^{o}	۱۵/۲^{m}	۱۶/۲^{e}	۱۴/۶^{r}	۱۵/۵^{j}
۱۵	۱۴/۸^{p}	۱۵/۴^{k}	۱۴/۸^{p}	۱۵/۳^{l}	۱۶/۲^{e}	۱۶/۸^{b}	۱۵/۷^{i}	۱۶/۱^{f}	۱۴/۲^{u}	۱۵/۰^{o}	^{u}۱۴/۲	۱۴/۷^{q}	۱۵/۰^{o}	۱۵/۸^{h}	۱۴/۳^{t}	۱۵/۲^{m}
۳۰	۱۴/۲^{u}	۱۴/۹^{p}	۱۴/۲^{u}	۱۴/۶^{r}	۱۵/۹^{g}	۱۶/۴^{d}	۱۵/۲^{m}	۱۵/۷^{i}	۱۳/۵^{w}	۱۴/۵^{s}	^{w}۱۳/۵	۱۴/۲^{u}	۱۴/۵^{s}	۱۵/۱^{n}	۱۳/۹^{v}	۱۴/۷^{q}
	فعالیت آنزیم POX															
صفر	۲۴/۸^{m}	۲۶/۶^{o}	۲۳/۱^{u}	۲۵/۱^{k}	۲۵/۵^{i}	۲۸/۸^{b}	۲۵/۸^{g}	۲۸/۹^{a}	۲۳/۳^{s}	۲۵/۸^{g}	۲۱/۱$^{a'}$	۲۲/۷^{w}	۲۴/۷^{n}	۲۶/۷^{d}	۲۴/۷^{n}	۲۵/۷^{h}
۱۵	۲۳/۷^{r}	۲۵/۴^{j}	۲۱/۲^{z}	۲۴/۶^{o}	۲۴/۶^{l}	۲۶/۷^{o}	۲۴/۹^{l}	۲۷/۲^{c}	۲۲/۹^{v}	۲۴/۷^{n}	۲۰/۹$^{b'}$	۲۱/۲^{z}	۲۳/۸^{q}	۲۵/۵^{i}	۲۳/۲^{t}	۲۴/۷^{n}
۳۰	۲۲/۶^{x}	۲۴/۲^{p}	۲۰/۹$^{b'}$	۲۲/۷^{w}	۲۳/۸^{q}	۲۵/۹^{f}	۲۲/۷^{w}	۲۶/۷^{d}	۲۰/۹$^{b'}$	۲۲/۵^{y}	۱۹/۷$^{d'}$	۲۰/۶$^{c'}$	۲۲/۷^{w}	۲۴/۷^{n}	۲۱/۲^{z}	۲۲/۷^{w}

داده‌هایی که در هر شاخص دارای حروف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند ($P > ۰/۰۵$).

APX: Ascorbate peroxidase; POX: Peroxidase

کاربرد سولفات و کلات روی نقش مهمی در میزان فعالیت آنزیمی گیاه داشت؛ به گونه‌ای که کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات و کلات روی به ترتیب باعث کاهش ۱۱/۷ و ۱۵/۹ درصدی در میزان فعالیت آنزیم APX شد. بر این اساس، میزان فعالیت آنزیم POX نیز به ترتیب ۱۳/۷ و ۱۴/۶ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصل شده، با افزایش میزان آلودگی خاک به مازوت، میزان فعالیت آنزیم گیاهی افزایش یافت.

بحث

سرب قابل جذب خاک و گیاه: بر اساس نتایج پژوهش حاضر، کاربرد ورمی کمپوست تأثیر بسزایی در کاهش میزان جذب سرب توسط گیاه داشت که می‌توان آن را مربوط به تأثیر در افزایش ویژگی‌های جذبی خاک و به دنبال آن، کاهش میزان جذب سرب توسط گیاه دانست و این یک نکته مثبت زیست محیطی به حساب می‌آید. مولایی و همکاران در مطالعه‌ای که با هدف بررسی تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های رویشی و جذب سرب و روی در گیاه ذرت انجام شد، دریافتند که افزایش اصلاح‌کننده‌های آلی می‌تواند تأثیر مهمی در کاهش میزان جذب فلزات سنگین در خاک داشته باشد؛ هرچند که به نقش سایر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک و گیاه اشاره‌ای نداشتند (۱۵). بر اساس نتایج تحقیق حاضر، کاربرد منبع آلی و معدنی روی، نقش بسزایی در کاهش میزان سرب قابل جذب توسط گیاه دارد که این را می‌توان به اثر آنتاگونیستی عناصر سنگین با عنصر تغذیه‌ای روی ارتباط داد (۱۶)؛ هرچند که نوع منبع کودی روی نیز عامل مهمی در میزان کاهش قابلیت دسترسی روی در خاک و گیاه بود؛ به نحوی که نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد کلات آلی روی، تأثیر بیشتری در کاهش میزان جذب سرب توسط گیاه دارد. کاهش ۱۶/۹ درصدی میزان جذب سرب توسط گیاه در خاک تیمار شده با ۴۰ کیلوگرم در هکتار عنصر روی از منبع کلات روی نسبت به سولفات روی، تأکیدی بر این ادعا است. تبرته فراهانی و بقایی در مطالعه خود که با هدف بررسی اثر برهم‌کنش عنصر آهن و سرب بر کاهش قابلیت جذب سرب توسط گیاه ذرت انجام گرفت، به این نتیجه رسیدند که کاربرد منبع معدنی و آلی سرب، نقش بسزایی در کاهش میزان سرب قابل جذب توسط گیاه دارد و دلیل ان را اثر برهم‌کنش عنصر آهن با سرب دانستند (۱۷).

آلایندگی خاک به هیدروکربن‌های نفتی، توانسته است تأثیر بسزایی در تغییر حالیت فلزات سنگین و در نتیجه، جذب آن‌ها توسط گیاه داشته باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر، با افزایش آلودگی خاک به مازوت از صفر به ۸ درصد وزنی، حالیت فلز سرب در خاک و جذب آن به وسیله گیاه افزایش یافت که شاید به دلیل نقش آلاینده‌های نفتی در افزایش شوری خاک (۱۸) و در نتیجه، افزایش قابلیت جذب سرب به وسیله گیاه باشد. فتحی و همکاران در پژوهشی با هدف بررسی اثر شوری در خاک آلوده به فاضلاب بر جذب کادمیوم توسط گیاه ذرت، گزارش کردند که افزایش شوری خاک می‌تواند باعث افزایش حالیت فلزات سنگین در خاک و در نتیجه، افزایش جذب آن به وسیله گیاه شود (۱۹).

تجزیه زیستی مازوت: بر اساس نتایج مطالعه حاضر، کاربرد ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست در خاک آلوده به ۸ درصد وزنی مازوت، باعث افزایش ۱۳/۴ درصدی تجزیه زیستی مازوت شد که دلیل آن را می‌توان افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها (افزایش تنفس میکروبی) به دلیل استفاده از ورمی کمپوست به عنوان منبع کربن دانست (۲۰). بر اساس نتایج، کاربرد منبع معدنی و آلی روی توانسته است نقش مهمی در افزایش درصد تجزیه زیستی مازوت داشته باشد که دلیل آن می‌تواند باز هم نقش عنصر غذایی روی در افزایش راندمان کارایی میکروارگانیسم‌ها (افزایش تنفس میکروبی) (۲۱) باشد. نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن بود که کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات و کلات روی، توانست به ترتیب باعث افزایش ۱۳/۷ و ۱۸/۹ درصدی تجزیه زیستی مازوت شود؛ هرچند که تنش خشکی اثر منفی بر میزان تجزیه زیستی مازوت در خاک داشت (جدول ۲).

نتایج پژوهش جعفری و همکاران نشان داد که کاربرد هم‌زمان عناصر تغذیه‌ای و کمپوست زباله شهری، یکی از راهکارهای مهم برای تجزیه زیستی ترکیبات نفتی در خاک است (۲۲) که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی داشت. اصولاً هیدروکربن‌های نفتی به دلیل حالیت، فراریت و قابلیت زیست تخریبی‌شان، یکی از شایع‌ترین گروه‌های آلوده‌کننده آلی و خطرناک در محیط زیست به شمار می‌روند. بنابراین، پاکسازی چنین ترکیباتی امری ضروری به نظر می‌رسد (۲۳).

فعالیت آنزیم‌های گیاهی: بر اساس نتایج تحقیق حاضر، میزان فعالیت آنزیم‌های گیاهی APX و POX، رابطه مستقیمی با غلظت سرب جذب شده توسط گیاه داشت؛ به صورتی که بیشترین فعالیت این آنزیم‌ها مربوط به گیاهی بود که در خاک فاقد ورمی کمپوست و آلوده به ۸ درصد وزنی مازوت کشت شده بود. بر اساس نتایج به دست آمده، هم‌زمان با افزایش آلودگی خاک به مازوت، میزان فعالیت آنزیم‌های APX و POX روند افزایشی را نشان داد که حاکی از مقاومت گیاه در مقابل تنش‌های زیستی می‌باشد (۲۴). در هنگام تنش‌های محیطی، برخی تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی از جمله شکسته شدن زنجیره انتقال الکترون و تولید اکسیژن فعال مانند H_2O_2 در گیاه صورت می‌گیرد. فعالیت گروه‌های اکسیژن فعال، می‌تواند سبب بروز صدماتی همچون اکسید شدن لیپیدها و تخریب غشای سلولی شود (۲۵). در این میان، مکانیسم‌های دفع سمیت انواع اکسیژن فعال توسط آنزیم‌هایی مانند APX، سوپراکسیداز دیسموتاز (Superoxide dismutase یا SOD) و POX صورت می‌پذیرد. بنابراین، جهت بررسی عملکرد گیاه و مقاومت آن در مقابل تنش‌های زیست محیطی، بررسی فعالیت این آنزیم‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد (۲۶).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، کاربرد منبع آلی و معدنی روی می‌تواند نقش بسزایی در افزایش میزان تجزیه زیستی مازوت در خاک داشته باشد؛ هرچند که تنش خشکی تأثیر منفی بر میزان تجزیه زیست مازوت در خاک داشت. در این میان، کاربرد کلات روی نسبت به سولفات روی، تأثیر بیشتری در افزایش میزان تجزیه زیستی مازوت در خاک داشت. میزان تنفس میکروبی خاک نیز رابطه مستقیمی را با افزایش تجزیه زیستی مازوت در خاک نشان داد. کاربرد سولفات و کلات روی نیز توانست نقش مهمی در کاهش میزان جذب سرب به وسیله گیاه داشته باشد؛ هرچند که تنش خشکی باعث افزایش میزان جذب سرب توسط گیاه گردید؛ البته لازم است در مطالعات آینده تأثیر نوع و خصوصیات فیزیولوژیک گیاه و نوع آلاینده بر میزان جذب سرب در نظر گرفته شود.

تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر با کد اخلاق IR.IAU.ARAK.REC.1401.038، مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک می‌باشد. بدین وسیله از تمام افرادی که در انجام این پژوهش همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Baghaie AH, Mirzaei R. Effect of cow manure and sawdust on decreasing the potential risk of lead due to parsley consumption. J Health Syst Res 2019; 15(2): 91-8. [In Persian].
2. Zhang T, Zhang H. Microbial consortia are needed to degrade soil pollutants. Microorganisms 2022; 10(2): 261.
3. Vidal C, Gonzalez F, Santander C, Perez R, Gallardo V, Santos C, et al. Management of Rhizosphere microbiota and plant production under drought stress: A comprehensive review. Plants (Basel) 2022; 11(18): 2437.
4. Romero Munoz M, Albacete A, Galvez A, Zapata MC, Del Amor F, Lopez-Marin J. The use of ecological hydromulching improves growth in escarole (Cichorium endivia L.) plants subjected to drought stress by fine-tuning cytokinins and abscisic acid balance. Agronomy 2022; 12(2): 459.
5. Chen Q, Cao X, Nie X, Li Y, Liang T, Ci L. Alleviation role of functional carbon nanodots for tomato growth and soil environment under drought stress. J Hazard Mater 2022; 423: 127260.
6. Batool M, Mahmoud Ali El-Badri A, Hassan M, Haiyun Y, Chunyun W, Zhenkun Y, et al. Drought stress in Brassica napus: Effects, tolerance mechanisms, and management strategies. J Plant Growth Regul 2022; 42(345): 1-25.
7. Haque S, Srivastava N, Pal DB, Alkhanani MF, Almalki AH, Areeshi MY, et al. Functional microbiome strategies for the bioremediation of petroleum-hydrocarbon and heavy metal contaminated soils: A review. Sci Total Environ 2022; 833: 155222.
8. Ahmad A. Phytoremediation of heavy metals and total petroleum hydrocarbon and nutrients enhancement of Typha latifolia in petroleum secondary effluent for biomass growth. Environ Sci Pollut Res Int 2022; 29(4): 5777-86.
9. Mamun SA, Saha S, Ferdush J, Tusher T, Islam M. Organic amendments for crop production, phosphorus bioavailability, and heavy metal immobilization: A review. Crop Pasture Sci 2021; 73(7-8): 896-916.
10. Mahmoud E, El-Kader NA. Heavy metal immobilization in contaminated soils using phosphogypsum and rice straw compost. Land Degrad Dev 2014; 26(8): 819-24.
11. Lee PK, Choi BY, Kang MJ. Assessment of mobility and bio-availability of heavy metals in dry depositions of Asian dust and implications for environmental risk. Chemosphere 2015; 119: 1411-21.
12. Hatami E, Abbaspour A, Dorostkar V. Phytoremediation of a petroleum-polluted soil by native plant species in Lorestan Province, Iran. Environ Sci Pollut Res Int 2019; 26(24): 24323-30.
13. Besalatpour AA, Hajabbasi M, Khoshgoftarmanesh A, Dorostkar V. Landfarming process effects on biochemical properties of petroleum-contaminated soils. Soil Sediment Contam 2011; 20(2): 234-48.
14. Mojdehi F, Taghizadeh M, Baghaie AH, Changizi M, Khaghani S. Organic amendment can decrease plant abiotic stress in a soil co-contaminated with lead and cadmium under ornamental sunflower cultivation. Int Arch Health Sci 2020; 7(2): 89-95.
15. Molaei S, Shirani H, Hamidpour M, Shekofteh H, Besalatpour AA. Effect of vermicompost, pistachio kernel and shrimp shell on some growth parameters and availability of Cd, Pb and Zn in corn in a polluted soil. J Water Soil Sci (Sci Technol Agric Natur Resour) 2016; 19(74): 113-24. [In Persian].
16. Apiamu A, Asagba SO. Zinc-cadmium interactions instigated antagonistic alterations in lipid peroxidation, ascorbate peroxidase activity and chlorophyll synthesis in Phaseolus vulgaris leaves. Sci Afr 2021; 11: e00688.
17. Tabarteh Farahani N, Baghaie AH. Interactive effect of fe and pb on decreasing corn Pb availability in a Pb-polluted soil. Water and Soil 2017; 31(4): 1187-99. [In Persian].
18. Li X, Wang X, Zhang Y, Zhao Q, Yu B, Li Y, et al. Salinity and conductivity amendment of soil enhanced the bioelectrochemical degradation of petroleum hydrocarbons. Sci Rep 2016; 6(1): 32861.
19. Fathi E, Parsinejad M, Mirzaei F, Motesharezadeh B. Effects of salinity and soil contaminated with sewage on cadmium uptake by corn. Iranian Journal of Soil and Water Research 2017; 48(2): 359-68. [In Persian].
20. Rasouli-Sadaghiani M, Rezaee Danesh N, Moradi N, Barin M. The effect of compost, biochar and bio-inoculant on enzymatic activity and some soil microbial indices. Journal of Sol Biology 2021; 9(2): 141-54. [In Persian].
21. Kamran S, Shahid I, Baig DN, Rizwan M, Malik KA, Mehnaz S. Contribution of zinc solubilizing bacteria in growth promotion and zinc content of wheat. Front Microbiol 2017; 8: 2593.
22. Jafari M, Ebrahimi S, Movahed Naeini SA. Simultaneous effect of municipal solid waste compost and some

fertilizers on biodegradation of oil-contaminated soils. Journal of Water and Soil Resources Conservation 2013; 2(3): 43-56. [In Persian].
23. Su Q, Yu J, Fang K, Dong P, Li Z, Zhang W, et al. Microbial removal of petroleum hydrocarbons from contaminated soil under arsenic stress. Toxics 2023; 11(2): 143.
24. Hammami H, Parsa M, Bayat H, Aminifard MH. The behavior of heavy metals in relation to their influence on the common bean (Phaseolus vulgaris) symbiosis. Environ Exp Bot 2022; 193: 104670.
25. Naderi Zarnaghi R, Valizadeh M, Firoozi S. Effect of free amino acids on the yield quality and quantity of forage varieties Gole-Sefid (Vicia panonica) in rainfed conditions. Iranian Dryland Agronomy 2014; 3(2): 127-39. [In Persian].
26. Ali M, Khan MI, Naveed M, Tanvir M. Microbe-assisted rhizoremediation of hydrocarbons and growth promotion of chickpea plants in petroleum hydrocarbons-contaminated soil. Sustainability 2023; 15: 6081.