Journal of Health System Research Volume 15, Issue 3, Autumn 2019, Pages: 216-223

Original Article

doi: 10.48305/hsr.2020.15.3.104

Investigation of Optimal Operational Conditions in Phytoremediation of Soils Contaminated with the Heavy Metal Zinc by Spinaciaoleracea L. Plant

Farahnaz Nooraii[1], **Allahyar Kamari**[2*]

[1] *Instructor, Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran*
[2] *Lecturer, Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Allahyar Kamari, Email: a.kamari63@gmal.com*

Received: 05/02/2019
Accepted: 27/02/2019

Keywords:
Phytoremediation
Soil
Spinaciaoleracea L
Zinc

Abstract

Background: The gradual increase in the concentration of heavy metals in soil poses serious hazards to human health and other living organisms. Accordingly, the current study aimed to assess the optimal operating conditions of phytoremediation of soils contaminated with zinc by Spinaciaoleracea L. plant.

Methods: In this experimental study, different concentrations of zinc chloride (0, 100, 250, 500, 1000, 1500, and 2000 µM) were applied to Spinaciaoleracea L. plant in the four-leaf stage in hydroponic culture medium for four weeks. Thereafter, the growth and physiologic parameters, as well as the amount of the zinc accumulated on the root and aerial organs of the plants were measured. The experiment was carried out with a completely randomized design at three treatment levels.

Findings: In Spinaciaoleracea L. plant, the increase in the concentration of zinc chloride in nutrient solutions led to a significant decrease in the biomass of the root and aerial part, chlorophyll a, total chlorophyll, and leaf surface, with the highest reduction being related to the treatment with 2000 µM zinc chloride. In the aerial part of Spinaciaoleracea L.plant, proline accumulation increased significantly with elevated zinc concentration. This being the case, the zinc accumulation rate in treatment with 2000 µM zinc was 2.57 times higher than the control treatment. In addition, the zinc accumulation rate in treatment with 2000 mM was measured at 324.02 and 355.46 mg/kg of dry weight in aerial and root sections, respectively.

Conclusion: As evidenced by the obtained results, Spinaciaoleracea L. plant can be used to refine zinc-contaminated soil since it is resistant to low concentrations of zinc in terms of indices of growth, chlorophyll a, total chlorophyll, carbohydrates, and leaf surface. The other underlying rationales include the relatively short growth period and high performance of this plant.

Citation: Nooraii F, Kamari A. Effectiveness of Cognitive-behavioral Therapy in Social Anxiety among Children with Type I Diabetes Mellitus. J Health Syst Res. 2019; 15(3): 216-223.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-19]
[DOI: 10.48305/hsr.2020.15.3.104]

Copyright 2019 Journal of Health System Research. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY) License (http://creativecommons.org/) which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

مقاله پژوهشی

doi: 10.48305/hsr.2020.15.3.104

بررسی شرایط بهینه عملیاتی در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلز سنگین روی توسط گیاه اسفناج

فرحناز نورایی[۱]، اله‌یار کمری[۲*]

[۱] مربی، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

[۲] مدرس، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* **نویسنده مسئول:** اله‌یار کمری، ایمیل: a.kamari63@gmal.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۰۸

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۸

واژه‌های کلیدی:
اسفناج
خاک
روی
گیاه‌پالایی

چکیده

مقدمه: افزایش تدریجی غلظت فلزات سنگین در خاک، مخاطرات جدی را برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده به همراه دارد. در این ارتباط، پژوهش حاضر با هدف بررسی شرایط بهینه عملیاتی در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلز سنگین روی توسط گیاه اسفناج انجام شد.

روش‌ها: در مطالعه تجربی حاضر غلظت‌های مختلف کلرید روی (۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار) به مدت چهار هفته در محیط کشت هیدروپونیک در مرحله چهار برگی بر گیاه اسفناج اثر داده شد و پارامترهای رشد، فیزیولوژیک و مقدار عنصر روی تجمع‌یافته در ریشه و اندام‌های هوایی آن‌ها اندازه‌گیری گردید. آزمایش با طرح کاملاً تصادفی و در سه سطح تیمار انجام شد.

یافته‌ها: در گیاه اسفناج با افزایش غلظت کلرید روی در محلول غذایی، زیتوده (Biomass) ریشه و بخش هوایی، کلروفیل a، کلروفیل کل و سطح برگ کاهش معناداری یافت که بیشترین کاهش مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار کلرید روی بود. انباشت پرولین در بخش هوایی گیاه با افزایش غلظت روی، افزایش معناداری را از خود نشان داد؛ به طوری که در تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار روی، میزان انباشت ۲/۵۷ برابر تیمار شاهد بود. همچنین، میزان انباشت روی در تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار در بخش‌های هوایی و ریشه به ترتیب معادل ۳۲۴/۰۲ و ۳۵۵/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه اسفناج از نظر شاخص‌های رشد، کلروفیل a، کلروفیل کل، کربوهیدرات و سطح برگ نسبت به غلظت‌های پایین روی از خود مقاومت نشان می‌دهد و نیز از آنجایی که دوره رشد اسفناج نسبتاً کوتاه بوده و دارای عملکرد بالایی می‌باشد، می‌توان از این گیاه به عنوان گیاهی بیش‌اندوز برای پالایش خاک‌های آلوده به روی استفاده کرد.

ارجاع: نورایی فرحناز، کمری اله‌یار. بررسی شرایط بهینه عملیاتی در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلز سنگین روی توسط گیاه اسفناج. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۸؛ ۱۵(۳): ۲۲۳-۲۱۶.

مقدمه

در دهه‌های گذشته ورود آلاینده‌هایی همچون فلزات سنگین به اکوسیستم، حیات را به خطر انداخته است. این آلاینده‌ها با منشأ مصنوعی (پساب‌های صنعتی و دورریزهای خانگی) و طبیعی (سنگ‌های رسوبی) دارای وزن اتمی بالایی هستند و از نظر عملکرد فیزیولوژیک، اثرات مخربی را بر موجودات زنده گیاهی و جانوری بر جای می‌گذارند (۱). در حال حاضر یکی از چالش‌های اساسی در زمینه محیط زیست، افزایش تدریجی غلظت فلزات سنگین در خاک به دلیل عدم تجزیه آن‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. این‌گونه فلزات با توجه به داشتن خواص و اثرات بالقوه سیتوتوکسیک، کارسینوژنیک و موتاژنیک، خطراتی جدی را برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده به همراه دارند. از سوی دیگر، تخلیه پساب‌های صنعتی و کشاورزی همراه با دفع لجن زباله و افزایش مصرف لجن فاضلاب و کود کمپوست در مناطق کشاورزی موجب تغییرات شگرفی در کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک‌های این مناطق و به دنبال آن افزایش میزان

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-19]

[DOI: 10.48305/hsr.2020.15.3.104]

جذب و آلودگی فلزات سنگین در گیاهان و محصولات کشاورزی نظیر گندم و برنج در سراسر دنیا شده است (۲). روی به عنوان یکی از ریزمغذی‌های اساسی در گیاهان برای رشد و توسعه گیاه لازم و ضروری می‌باشد. با این وجود، زمانی که به صورت مازاد در بافت‌های گیاهی وجود دارد، برای سلول‌های گیاهی به شدت سمی می‌باشد (۳). با وجود اینکه غلظت روی در اغلب خاک‌های زراعی پایین است (۴)، امروزه به دلیل مواد زائد خانگی، صنعتی و کشاورزی و در نتیجه فعالیت‌های آنتروپوژنیک (نظیر معدن‌کاری محیط زیست) در حال آلوده شدن با آلودگی‌های معدنی و آلی به ویژه فلزات سنگین (از جمله روی) می‌باشد (۵). هنگامی که روی در غلظت‌های بالا در سیستم‌های آبی وجود داشته باشد موجب ایجاد مشکلات محیطی متعددی نظیر کاهش رشد گیاهی، آلودگی آب‌های زیرزمینی و مسمومیت فلزی در زنجیره غذایی می‌شود (۶). از سوی دیگر، روی می‌تواند فعالیت‌های خاک را مختل کند و موجب تغییر بافت خاک شود؛ زیرا اثر منفی بر فعالیت‌های میکروارگانیسم‌ها و کرم‌های خاکی دارد و به همین دلیل تجزیه مواد آلی را به شدت کند می‌کند (۷).

امروزه از روش‌های مهندسی (تصفیه پساب‌های صنعتی) و زیستی (زیست‌پالایی میکروبی) برای کاهش آلودگی آب و خاک استفاده می‌شود. روش‌های مهندسی بسیار دشوار بوده و موجب آلودگی بخش دیگری از محیط زیست می‌گردند. این روش‌ها از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه نمی‌باشند (۸). در فناوری استفاده از گیاهان به عنوان گیاه‌پالایی، از گیاهان سبز و ارتباط آن‌ها با میکروارگانیسم‌های خاک برای کاهش آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. این فناوری می‌تواند برای رفع هر دو نوع آلاینده آلی و معدنی به کار رود. شایان ذکر است که این تکنولوژی، روشی مقرون به صرفه و مناسب از نظر محیطی به منظور از بین بردن فلزات سمی خاک می‌باشد (۹).

گیاه‌پالایی و نقش عناصر سنگین در ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی و ورود آن‌ها به چرخه غذایی انسان و دام از دیدگاه‌های متفاوتی توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (۱،۴،۷،۸). در ایران نیز پژوهش‌هایی پیرامون پالایش گیاهی انجام شده و برخی از آلاینده‌های آلی (۵) و معدنی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (۱،۷). بیشتر این پژوهش‌ها بر امکان آلودگی‌زدایی خاک‌ها با استفاده از گیاهان بیش‌اندوز متمرکز بوده‌اند (۷). اغلب این پژوهش‌ها بر آلودگی‌زدایی خاک‌های آلوده بر فلزات سنگین مربوط است؛ اما گیاهانی که در چنین خاک‌هایی کشت می‌گردند، به هیچ عنوان نباید وارد چرخه غذایی انسان و دام شوند (۴).

اسفناج با نام علمی .Spinacia oleracea L (متعلق به گروه کنوپودیاسه) از گیاهانی است که از توانایی رشد در محیط‌های آلوده به روی برخوردار بوده و قابلیت انتقال زیاد آن به بخش‌های هوایی را دارد (۱۱،۱۰). با توجه به مطالب بیان‌شده، پژوهش حاضر با هدف بررسی شرایط بهینه عملیاتی در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلز سنگین روی توسط گیاه اسفناج انجام شد.

روش‌ها

در پژوهش حاضر پس از تهیه بذرهای گیاه اسفناج از شرکت پاکان بذر (واقع در اصفهان)، چهار عدد بذر اسفناج درون گلدان‌های پلاستیکی یکسان (با اندازه متوسط) حاوی ماسه شسته شده و عاری از محلول غذایی کاشته شد و برای هریک از غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار کلرید روی، سه تکرار در نظر گرفته شد. پس از جوانه‌زنی بذرها، برای انتقال گیاهچه‌ها به محیط آب کشت (هیدروپونیک)، ۲/۵ لیتر از محلول غذایی Hoagland ۱۰ درصد (۱۲) در هر گلدان با گنجایش ۳ لیتر ریخته شد و گلدان‌ها در محیط گلخانه قرار گرفتند. لازم به ذکر است که طول دوره روشنایی ۱۶ ساعت با شدت نور حدود ۱۶۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه در نظر گرفته شد. متوسط دمای روز- شب نیز به ترتیب معادل ۲۶-۱۹ درجه سانتی‌گراد بود. پس از رسیدن گیاهان به مرحله چهار برگی، غلظت‌های مختلف کلرید روی همراه با محلول غذایی Hoagland به گیاهان داده شد. به این ترتیب که میزان لازم از محلول مادر کلرید روی برای هریک از غلظت‌ها برداشته شد و با محلول غذایی Hoagland به حجم رسانده شد. پس از ۴۵ روز رشد در این شرایط، گیاهان برداشت شدند.

در پژوهش حاضر اندازه‌گیری‌ها به صورت کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش عبارت بودند از: زیتوده (Biomass) ریشه و ساقه، غلظت کلروفیل a، b و کل، غلظت پرولین، کربوهیدرات و غلظت انباشت روی در ریشه و ساقه.

به منظور سنجش زیتوده ریشه و ساقه پس از سپری شدن دوره تیمار، نمونه‌ها با دقت از ماسه شسته شده داخل گلدان‌ها خارج گردیدند. اندام‌های هوایی و ریشه با دقت از یکدیگر جدا گشته و کاملاً شستشو داده شدند. به منظور خشک کردن، گیاهان به دور از رطوبت و نور در پاکت‌هایی دربسته در داخل آونی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک گردیدند. پس از خشک کردن نمونه‌ها، وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی نمونه‌ها بر حسب گرم با ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و ثبت شد.

سطح برگ گیاه با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter) بر حسب سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری و ثبت گردید. محتوای کلروفیل a، b و کل در نمونه‌ها با استفاده از روش Arnon (۱۳)، میزان کربوهیدرات با استفاده از روش فنل- اسید و میزان پرولین آزاد بافت‌های گیاهی تحت شرایط استرس روی با

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-19]
[DOI: 10.48305/hsr.2020.15.3.104]

استفاده از روش اندازه‌گیری Bates و همکاران (۱۴) اندازه‌گیری گردیدند. برای اندازه‌گیری عنصر روی نیز از دستگاه جذب اتمی (Atomic Absorption Spectrophotometer) (مدل GBC-902) استفاده شد.

در این مطالعه تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Statistical Analysis System) انجام شد. آنالیز واریانس نیز برای داده‌های حاصل از اثر تیمارهای مختلف بر زیتوده بخش هوایی و ریشه‌ای، شاخص سطح برگ، میزان انواع کلروفیل‌ها، غلظت کل روی ریشه و ساقه، پرولین و کربوهیدرات هرکدام از نمونه‌ها صورت گرفت. علاوه‌براین، به منظور پی بردن به معنادار بودن یا نبودن تفاوت میانگین‌ها در تیمارهای مختلف از آزمون LSD (Least Significant Difference) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. در این مطالعه مقادیر ($P<0/05$) معنادار در نظر گرفته شدند.

یافته‌ها

زیتوده بخش هوایی

با توجه به نتایج آنالیز واریانس، زیتوده بخش هوایی گیاه اسفناج تحت تأثیر غلظت‌های مختلف روی در سطح احتمال ۵ درصد معنادار می‌باشد (جدول ۱). از سوی دیگر، مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که بین تیمار شاهد و تیمارهای ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار کلرید روی، تفاوت معناداری در وزن خشک ساقه اسفناج وجود دارد (جدول ۲).

جدول ۱: آنالیز واریانس تیمار غلظت‌های مختلف کلرید روی بر صفات اسفناج

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی (df)	زیتوده ریشه (میلی‌گرم)	زیتوده ساقه (میلی‌گرم)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم)	کربوهیدرات (میلی گرم بر گرم)	پرولین (میکروگرم بر گرم)	انباشت روی در ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)	انباشت روی در ساقه (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)
Treatment	تیمار	۶	۰/۰۲۲۸۰**	۰/۸۵۱۲*	۱۳۸/۹۵۶*	۵۹۵۶/۰۲ns	۷۷۶/۵۶ns	۱۰۴۳۹/۵۶ns	۱۲/۴۷۵ns	۰/۲۸۹۷**	۳۴۳۲۹/۵۲**	۲۹۷۲۳/۴۸**
Error	خطای آزمایش	۱۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (درصد)	ضریب تغییرات	-	۱۱/۰۹	۲۴/۳۹	۲۲/۶۴	۱۱/۲۷	۶۲/۵۱	۱۲/۵۲	۱۸/۱۱	۲۲/۹۰	۱۴/۸۵	۲۶/۷۲

*و** به ترتیب نشان‌دهنده معنادار بودن در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.
ns: غیرمعنادار

جدول ۲: مقایسه میانگین صفات ارزیابی شده مربوط به گیاه اسفناج

تیمار (میکرومتر)	زیتوده ریشه (میلی‌گرم)	زیتوده ساقه (میلی‌گرم)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم)	کربوهیدرات (میلی گرم بر گرم)	پرولین (میکروگرم بر گرم)	انباشت روی در ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)	انباشت روی در ساقه (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)
شاهد	^{a}۰/۶۵۵۳	^{a}۲/۹۲۲	^{a}۳۳/۴۲	^{ab}۵۵۳/۷۸۷	^{a}۱۵۹/۲۹	^{a}۷۱۳/۰۷	^{a}۱۲/۹۴	^{c}۰/۲۹۸	^{c}۷۷/۱۳۰	^{d}۶۴/۸۵۰
۱۰۰	^{ab}۰/۶۰۱۳	^{ab}۲/۴۴۲	^{ab}۳۰/۷۳	^{a}۵۶۱/۲۰۰	^{a}۱۵۴/۳۸۲	^{a}۷۱۵/۵۸	^{a}۱۳/۳۴	^{c}۰/۲۴۵	^{c}۸۸/۵۳۷	^{d}۸۱/۱۹۰
۲۵۰	^{abc}۰/۵۵۰۳	^{abc}۲/۲۹۲	^{ab}۳۰/۵۵	^{ab}۵۱۰/۳۱۸	^{a}۱۲۴/۹۲۴	^{ab}۶۳۵/۲۴	^{a}۱۳/۶۴	^{c}۰/۲۸۶	^{b}۲۲۷/۴۵۳	^{cd}۱۲۲/۹۵۳
۵۰۰	^{abc}۰/۵۴۶۷	^{abc}۲/۲۴۷	^{ab}۲۶/۶۴	^{ab}۵۲۹/۵۰۰	^{a}۱۳۵/۵۷۵	^{ab}۶۷۵/۰۷	^{a}۱۳/۶۰	^{c}۰/۲۹۱	^{b}۲۶۳/۰۶۷	^{bc}۱۸۴/۷۳۳
۱۰۰۰	^{bc}۰/۴۷۷۳	^{bc}۱/۸۱۰	^{ab}۲۵/۶۰	^{ab}۵۰۹/۹۲۶	^{a}۱۳۰/۰۱۵	^{ab}۶۳۹/۹۴	^{ab}۱۰/۱۸	^{c}۰/۲۴۱	^{a}۳۲۳/۵۳۳	^{ab}۲۵۷/۹۱۳
۱۵۰۰	^{bc}۰/۴۵۶۳	^{bc}۱/۵۹۸	^{bc}۲۱/۳۴	^{ab}۴۵۹/۸۳۱	^{a}۱۲۶/۱۵۶	^{ab}۵۸۵/۹۹	^{b}۸/۴۸	^{b}۰/۶۵۶	^{b}۲۲۷/۶۴۰	^{ab}۲۶۰/۷۶۳
۲۰۰۰	^{c}۰/۴۰۳۷	^{c}۱/۳۸۱	^{c}۱۳/۴۵	^{b}۴۴۶/۷۲۱	^{a}۱۱۵/۹۵۰	^{b}۵۶۲/۶۷	^{ab}۱۰/۷۷	^{a}۱/۰۶۴	^{a}۳۵۵/۴۶۷	^{a}۳۲۴/۰۲۷

حرف مشترک در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنادار است.

زیتوده ریشه

در این مطالعه زیتوده ریشه گیاه اسفناج در پاسخ به استرس روی کاهش یافت که بیشترین کاهش مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار بود (جدول ۱). علاوه‌براین در مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD، در سطح احتمال ۵ درصد تنها بین تیمار شاهد و تیمارهای ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار کلرید روی اختلاف معناداری در زیتوده ریشه اسفناج مشاهده شد (جدول ۲). بر مبنای نتایج، کمترین میزان زیتوده ریشه مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار با میزان کاهش ۳۸/۴۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود.

سطح برگ

مطابق با نتایج به دست آمده برای شاخص سطح برگ، اختلاف معناداری بین تیمارها وجود داشت (جدول ۱). علاوه‌براین، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که با افزایش غلظت روی در محلول غذایی، از سطح برگ گیاه اسفناج کاسته می‌شود؛ به طوری که بیشترین کاهش مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار بود. بر مبنای نتایج، تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار (به غیر از تیمار ۱۵۰۰ میکرومولار) از نظر شاخص سطح برگ، تفاوت معناداری با سایر تیمارها داشت (جدول ۲).

غلظت کلروفیل

نتایج حاصل از آنالیز واریانس اثر روی بر غلظت کلروفیل a، b و کل نشان داد که استرس روی، اثر معناداری بر این پارامترها نداشته است (جدول ۱).

علاوه‌براین، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح ۵ درصد نشان داد که در گیاه تحت تنش فلز سنگین روی، در تیمار ۱۰۰ میکرومولار، غلظت کلروفیل a نسبت به نمونه شاهد اندکی افزایش غیرمعنادار داشته است؛ اما در سایر تیمارها کاهش یافته است. بر مبنای نتایج به غیر از تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار، سایر تیمارها تفاوت معناداری نسبت به تیمار شاهد

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-19]
[DOI: 10.48305/hsr.2020.15.3.104]

نداشته‌اند (جدول ۲).

از سوی دیگر، ارزیابی غلظت کلروفیل b تحت تأثیر تیمارهای روی نشان داد که در تمامی تیمارها، میزان کلروفیل b نسبت به تیمار شاهد با کاهش غیرمعناداری مواجه بوده است. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد نیز حاکی از آن بود که غلظت‌های مختلف این فلز سنگین تأثیر معناداری بر محتوای کلروفیل b نداشته است (جدول ۲).

علاوه‌براین، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان از آن داشت که با افزایش غلظت روی در محیط، از غلظت کلروفیل کل (a+b) کاسته می‌شود که بر مبنای نتایج، بیشترین کاهش مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار بود و این کاهش تنها در تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار در مقایسه با نمونه شاهد معنادار بود (جدول ۲). مقایسه بین تغییرات غلظت کلروفیل‌های a، b و کل در تیمارهای مختلف روی بر گیاه اسفناج نیز نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیشتر کلروفیل a نسبت به سایر کلروفیل‌ها بود.

پرولین

پرولین آمینو اسید خاصی است که به عنوان یکی از راهبردهای دفاعی گیاهان در شرایط تنش تولید می‌شود. مطابق با جدول ۱، تغییرات غلظت پرولین در گیاه اسفناج تحت تأثیر غلظت‌های مختلف روی بوده است (جدول ۱).

علاوه‌براین، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد گویای آن بود که غلظت پرولین تجمع‌یافته در بوته‌های اسفناج تا سطح تیمار ۱۰۰۰ میکرومولار تفاوت معناداری با تیمار شاهد نداشته است؛ در حالی که تیمارهای ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار دارای روند افزایشی معناداری نسبت به سایر تیمارها بودند. بر مبنای نتایج، میزان افزایش پرولین در تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار نسبت به تیمار ۱۵۰۰ میکرومولار، ۱/۳۷ برابر بود (جدول ۲).

کربوهیدرات

با توجه به نتایج جدول ۱، تغییرات غلظت قندهای محلول تحت تأثیر غلظت‌های مختلف روی در گیاه اسفناج معنادار نمی‌باشد.

علاوه‌براین، بررسی میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که با افزایش غلظت کلرید روی تا تیمار ۵۰۰ میکرومولار در محیط غذایی گیاه اسفناج، غلظت قند محلول درون گیاه افزایش یافت (هرچند این افزایش معنادار نبود)؛ اما در تیمار ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میکرومولار، غلظت قند محلول درون گیاه کاهش پیدا کرد. بر مبنای نتایج، بیشترین کاهش (۳۴/۴۱ درصد) مربوط به تیمار ۱۵۰۰ میکرومولار با تفاوت معناداری نسبت به نمونه شاهد بود؛ اما تیمارهای ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار تفاوت معناداری با نمونه شاهد نداشتند (جدول ۲).

انباشت روی در ساقه

با توجه به جدول ۱ می‌توان گفت که تغییرات غلظت فلز تجمع‌یافته تحت تأثیر غلظت‌های مختلف روی در ساقه گیاه اسفناج معنادار می‌باشد. بدین معنا که با افزایش غلظت کادمیوم، به طور معناداری بر غلظت فلز تجمع‌یافته در ساقه گیاه اسفناج افزوده شد؛ به طوری که کمترین غلظت انباشت روی در تیمار شاهد و بیشترین غلظت در تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار (افزایش پنج برابری) مشاهده گردید. تغییرات سطح برگ نسبت به تیمار شاهد در جدول ۲ ارائه شده است.

غلظت انتقال روی از ریشه به بخش هوایی

با توجه به جدول ۱، تفاوت انتقال فلز روی از ریشه به بخش هوایی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف روی در گیاه اسفناج معنادار می‌باشد.

در مجموع، انتقال غلظت روی از ریشه به بخش هوایی، روندی افزایشی در پاسخ به غلظت‌های کلرید روی داشته است که این امر نشان‌دهنده توانایی گیاه اسفناج در انباشت فلز روی در بخش هوایی می‌باشد. در این مطالعه بیشترین انتقال مربوط به تیمار ۱۵۰۰ میکرومولار بود (جدول ۲).

بحث

براساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر غلظت کلروفیل a، کل و پارامترهای رشد مانند زیتوده ریشه، زیتوده ساقه و شاخص سطح برگ در گیاه اسفناج با افزایش غلظت روی کاهش یافت که این شاخص‌ها در غلظت‌های بالای روی (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ تا میکرومولار) در مقایسه با تیمار شاهد، کاهش معناداری را نشان دادند. این در حالی است که افزایش غلظت روی تأثیر معناداری بر میزان کلروفیل b نداشت.

در پژوهش حاضر از نظر زیتوده ریشه به غیر از تیمار ۱۰۰ میکرومولار، سایر تیمارها با تیمار شاهد اختلاف معناداری داشتند. سطوح بالای عنصر روی می‌تواند از طریق مهار رشد ریشه به وسعت و رشد طولی آن آسیب برساند، آناتومی بافت چوبی را تغییر دهد و موجب کاهش جذب مواد مغذی معدنی (مانند منیزیم و کلسیم)، کاهش تولید زیتوده و اختلال در فرایندهای فتوسنتزی شود.

بر مبنای اطلاعات گزارش‌شده، غلظت‌های بالای روی در محلول غذایی موجب کاهش زیتوده ریشه و ساقه در گیاهانی از قبیل گندم (Triticum aestivum L.) (۱۲) و نعناع سبز خوراکی (Mentha spicata L.) می‌شود (۱۵) که این مهم با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر و نیز با یافته‌های پژوهش An و همکاران مبنی بر اینکه همزمان با غلظت بالای روی

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-19]
[DOI: 10.48305/hsr.2020.15.3.104]

(۱۰۰۰< میلی‌گرم بر کیلوگرم) در گیاه .Pteris vittata L، زیتوده کل و زیتوده بخش هوایی کاهش می‌یابد (۱۶،۱۷)، همسو می‌باشد.

در این راستا در پژوهشی در ارتباط با بررسی اثر فلز روی بر .Mentha spicata L، کاهش میزان سطح برگ در گیاهان تیمار شده با غلظت‌های بالای روی به دلیل تجمع فلز در برگ مشاهده شد (۱۸). کاهش معنادار سطح برگ در اثر تیمارهای کلرید مس در دو رقم کلزا (.Brassica napus L) نیز گزارش شده است (۱۹) که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد.

در این زمینه، Malea و Haritonidis با مطالعه اثر روی بر گیاه Halophyla stipulecea به این نتیجه رسیدند که این فلز در غلظت بالا موجب مهار رشد سطحی برگ‌ها در این گیاه می‌شود (۲۰). در پژوهشی دیگر، کاهش عملکرد گیاه ناشی از کادمیوم زیاد در محیط رشد چغندر لبویی و جذب آن توسط این چغندر باعث کاهش تعداد برگ‌ها، کاهش سطح آن‌ها و کاهش فتوسنتز خالص گردید (۲۱). از سوی دیگر، کاهش سطح برگ در پژوهشی در ارتباط با بررسی اثر غلظت‌های مختلف سرب بر گیاه بادمجان (.Solanum melongena L) (۲۲) با یافته‌های حاصل از این پژوهش همسو می‌باشد.

فلز روی از طریق تأثیر بر میزان جذب و جابه‌جایی عناصر ضروری و نیز میزان فعالیت برخی از آنزیم‌ها در جایگاه عملکردشان موجب اختلال در متابولیسم گیاهان می‌شود. از سوی دیگر، دستگاه فتوسنتزی در دو بخش فتوشیمیایی و تثبیت کربن در مقابل فلزات سنگین آسیب‌پذیر است. مکانیسم اثر تخریبی فلز روی بر دستگاه فتوسنتزی به صورت جانشینی فلز سنگین در ساختار کلروفیل می‌باشد که به صورت Zn-Chls درمی‌آید. فلز روی به جای منیزیم در ساختار کلروفیل قرار می‌گیرد؛ در نتیجه عملکرد صحیح کمپلکس جمع‌کننده نور (LHCs: Light Harvesting Complex) دچار اختلال می‌شود. جایگزینی عنصر روی به جای منیزیم، اجازه باندشدن کلروفیل را به لیگاندهای مهم نمی‌دهد؛ در نتیجه ساختار فضایی مناسب کمپلکس کلروفیل- پروتئین ایجاد نمی‌شود (۲۳). دلیل دیگر این امر، این است که کلروفیل تغییر نموده Zn-Chls در حالت تحریک شده، الکترونی بسیار ناپایدار می‌باشد که به سرعت به حالت پایدار می‌رسد؛ به طوری که فلورسانس در محیط آزمایشگاهی انجام نمی‌شود و در شرایط طبیعی نیز نمی‌تواند الکترون‌هایی را به مرکز واکنش بفرستد؛ در نتیجه فتوسنتز مهار می‌گردد (۲۴). از دلایل دیگر کاهش کلروفیل در شرایط تنش فلزات سنگین، تغییر مسیر متابولیسمی به سمت تولید پرولین می‌باشد؛ زیرا گلوتامات که پیش‌ساز سنتز کلروفیل و پرولین است، به سوی تولید پرولین پیش می‌رود (۲۵).

در پژوهش حاضر غلظت کربوهیدرات گیاه اسفناج تا تیمار ۵۰۰ میکرومولار غلظت روی، افزایش اندکی داشت؛ اما از تیمار ۲۰۰۰-۵۰۰ میکرومولار، غلظت کربوهیدرات با کاهش مواجه شد که این کاهش در غلظت ۱۵۰۰ میکرومولار معنادار بود. وجود عنصر روی در سیتوسول سلول‌های اندام‌های هوایی گیاه می‌تواند باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده قندهای غیرمحلول و اسید اینورتاز و سوکروز سنتتاز شود؛ از این رو در پژوهش حاضر در غلظت‌های پایین روی بر مقدار قندهای محلول اضافه شده است؛ اما علت کاهش غلظت‌های بالاتر، احتمالاً کاهش فتوسنتز یا تحریک سرعت تنفس می‌باشد.

Mishra و Tripathi در پژوهشی در مورد گیاه Eichhornia crassipes گزارش نمودند که پارامترهای بیوشیمیایی نظیر پروتئین، کربوهیدرات و کلروفیل در اثر انباشت کروم و روی با کاهش مواجه می‌شوند (۹). در مطالعه اثر غلظت‌های مختلف سرب بر گیاه بادمجان نیز کاهش محتوای کلروفیل مشاهده شد که این امر منجر به نکروز برگی می‌گردد (۲۲). این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر در مورد کاهش غلظت کلروفیل همسو می‌باشند. کاهش کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی در پژوهشی در ارتباط با بررسی سمیت و دفع فلزات سنگین (کادمیوم، مس و روی) در گیاه Lemnagibba تحت تنش کادمیوم، مس و روی (۲۵) نیز با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد.

در پژوهش حاضر اسمولیت پرولین تا غلظت ۱۰۰۰ میکرومولار کاهش یافت؛ اما در غلظت‌های بالای روی (۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار) افزایش معناداری را نشان داد. افزایش میزان پرولین در پژوهشی در مورد بررسی اثر کادمیوم بر گیاه Eucalyptus occidentalis (۲۶) و افزایش پرولین در مطالعه‌ای در ارتباط با سمیت و دفع فلزات سنگین (کادمیوم، مس و روی) توسط Lemnagibba تحت تنش کادمیوم، مس و روی (۲۵) با نتایج پژوهش حاضر همسو می‌باشد. از سوی دیگر در بررسی فیزیولوژیک گیاه آفتابگردان تحت تنش کروم، تجمع بیشتر پرولین در گیاهان تحت تیمار با غلظت‌های بالای کروم می‌تواند بیانگر استراتژی‌های سازگار گیاه برای مقابله با سمیت کروم باشد (۲۷) که این مهم با یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر همسویی دارد.

علاوه‌براین، در پی بررسی اثر کادمیوم بر برخی از پارامترهای فیزیولوژی در Eucalyptus occidentalis مشاهده شد که افزایش غلظت کادمیوم ابتدا بر غلظت قندهای محلول اضافه می‌کند؛ اما در غلظت‌های بالاتر، آن را کاهش می‌دهد (۲۶) که این مهم با نتایج پژوهش حاضر در ارتباط با تأثیر غلظت‌های مختلف روی بر غلظت کربوهیدرات محلول در گیاه اسفناج همسو می‌باشد.

لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر با افزایش غلظت روی در محیط، انباشت روی در ریشه و ساقه اسفناج افزایش معناداری را نشان داد که بیشترین انباشت مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار بود (در ریشه ۳۵۵/۴۶ و در ساقه ۳۲۴/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم).

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-19]
[DOI: 10.48305/hsr.2020.15.3.104]

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بسیار دشوار بوده و برای پالایش آن‌ها، حذف کامل این فلزات از خاک لازم نمی‌باشد، در شرایطی که شدت آلودگی فراتر از تحمل گیاه نباشد، پالایش گیاهی روش مناسبی برای آلودگی‌زدایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین است. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان دادند که با افزایش غلظت روی در خاک، غلظت تجمع‌یافته در گیاه نیز افزایش پیدا می‌کند که مقدار این افزایش در ریشه به مراتب بیشتر از افزایش غلظت روی در اندام هوایی است. با توجه به توانایی گیاه اسفناج در جذب مقادیر زیاد روی، عملکرد گیاهی بالا، توانایی انتقال و تجمع روی در اندام‌های قابل برداشت و دوره رشد نسبتاً کوتاه، این گیاه مورد مناسبی برای پالایش سبز خاک‌های آلوده به روی تا غلظت ۲۰۰۰ میکرومولار به شمار می‌آید و برای پاکسازی روی از اعماق سطحی خاک، کارآیی بهتری دارد. علاوه‌براین، با توجه به اینکه اسفناج یکی از سبزی‌های خوراکی رایج در ایران می‌باشد، چنانچه با هدف استخراج گیاهی مورد استفاده قرار بگیرد می‌بایست مانند زباله‌های خطرناک، بلافاصله پس از برداشت، اقدام به سوزاندن و دفن آن نمود.

تشکر و قدردانی

مقاله حاظر برگرفته از طرح دانشگاه پیام نور کرمانشاه با کد طرح ک.س/۳۵۵ تاریخ ۹۷،۱۲،۲۲ می‌باشد. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از زحمات تمامی افراد مورد مطالعه و نیز افرادی که در راستای اجرای این پژوهش با پژوهشگران همکاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

تضاد منافع

سهم تمامی نویسندگان در این مطالعه یکسان است و هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله بخشی از طرح پژوهشی دانشگاه پیام نور کرمانشاه با کد طرح ک.س/۳۵۵ می‌باشد.

References

1. Dalalian M, Homaee M. Simulating of phytoremediation time of cadmium and copper spiked soils by salvia sclarea. Water Soil Sci 2011; 20(4): 129-41. [In Persian].
2. Amouei AI, Mahvi AH, Naddafi K. Comparison of heavy metals (Pb, Cd, Zn) concentrations in the industrial, agricultural areas and highway soils of Amol and Babol Towns (Mazandaran, Iran 2008). J Babol Univ Med Sci 2011; 14(1): 77-82.
3. Jiang X, Wang C. Zinc distribution and zinc-binding forms in Phragmites australis under zinc pollution. J Plant Physiol 2008; 165(7): 697-704.
4. Jafarnejadi AR, Homaee M, Sayyad GA, Bybordi M. Evaluation of main soil properties affecting cd concentrations in soil and wheat grains on some calcareous soils of Khuzestan Province. J Water Soil Conservat 2012; 19(2): 149-64. [In Persian].
5. Nouri M, Homaee M, Bybordi M. Comparing petroleum and water hydraulic properties in soil. J Water Soil Sci 2014; 17(66): 123-34. [In Persian].
6. Khellaf N, Zerdaoui M. Phytoaccumulation of zinc by the aquatic plant, Lemna gibba L. Bioresour Technol 2009; 100(23): 6137-40.
7. Babaeian E, Homaei M, Rahnemaie R. Enhancing phytoextraction of lead contaminated soils by carrot (Daucus carrota) using synthetic and natural chelates. J Water Soil 2012; 26(3): 607-18.
8. Jafarnejadi AR, Sayyad G, Homaee M, Davamei AH. Spatial variability of soil total and DTPA-extractable cadmium caused by long-term application of phosphate fertilizers, crop rotation, and soil characteristics. Environ Monit Assess 2013; 185(5): 4087-96.
9. Mishra VK, Tripathi BD. Accumulation of chromium and zinc from aqueous solutions using water hyacinth (Eichhornia crassipes). J Hazard Mater 2009; 164(2-3): 1059-63.
10. Tang YT, Qiu RL, Zeng XW, Ying RR, Yu FM, Zhou XY. Lead, zinc, cadmium hyperaccumulation and growth stimulation in Arabis paniculata Franch. Environ Exper Bot 2009; 66(1): 126-34.
11. Jafarnejadi AR, Homaee M, Sayyad G, Bybordi M. Large scale spatial variability of accumulated cadmium in the wheat farm grains. Soil Sediment Contam 2011; 20(1): 98-113.
12. Hoagland DR. Optimum nutrient solutions for plants. Science 1920; 52(1354): 562-4.
13. Arnon DI. Copper enzyme polyphenoloxides in isolated chloroplast in beta vulgaris. Plant Physiol 1949; 24(1): 1-15.
14. Bates LS, Waldren RP, Teare ID. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 1973; 39(1): 205-7.
15. Lari Yazdi H, Ghorbanli M, Mirzaei M, Hashemi AR. Study the effect different concentrations of lead on proline, soluble sugar, starch and antioxidant enzymes activity catalase and peroxidase in cultivar Pishtaz of (Triticum aestivum L.). Proceedings of the 1st National Conference on New Concepts in Agriculture, Saveh, Iran; 2011. [In Persian].
16. Zare DS, Asrar Z, Mehrabani M. Biochemical changes in terpenoid compounds of Mentha spicata essential oils in response to excess zinc supply. Iran J Plant Biol 2010; 2(3): 25-34. [In Persian].
17. An ZZ, Huang ZC, Lei M, Liao XY, Zheng YM, Chen TB. Zinc tolerance and accumulation in Pteris vittata L. and its potential for phytoremediation of Zn- and As-contaminated soil. Chemosphere 2006; 62(5): 796-802.
18. Dehabadi SZ, Asrar Z. Effect of excess zinc on the concentration of some mineral element and antioxidant responses of spearmint (Mentha spicata L.). Iran J Med Aromatic Plants 2009; 24(4): 530-40. [In Persian].
19. Ghorbanli M, Meyghani F, Asad Elahi B. Effect of copper chloride stress on chlorophyll, carbohydrate accumulation, and some growth parameters in two canola (Brassica napus L.) cultivars. Pajouhesh Sazandegi 2007; 20(3): 134-41. [In Persian].
20. Malea P, Haritonidis S. Local distribution and seasonal variation of Fe, Pb, Zn, Cu, Cd, Na, K, Ca, and Mg concentrations in the seagrass cymodocea nodosa (ucria) aschers in the antikyra gulf, greece. Marine Echol 1995; 16(1): 41-56.
21. Behtash F, Tabatabaei SJ, Malakouti MH, Sorour Aldin MH, Oustan S. Effect of zinc and cadmium on growth, chlorophyll content, photosynthesis, and cadmium concentration in red beet. Iran J Soil Res 2010; 24(1): 31-41. [In Persian].
22. Tavakoli M, Chehregani RA, Lariyazdi H, Pakdel A. Study on the effects of different concentrations of Pb and salicylic acid on some growth factors in eggplant (Solanum melongena L.). Iran J Plant Biol 2011; 3(7): 29-40. [In Persian].
23. Rout GR, Das P. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. Agronomie 2003; 23(1): 3-11.
24. Candan N, Tarha L. Changes in chlorophyll-carotenoid

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-19]
[DOI: 10.48305/hsr.2020.15.3.104]

contents, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels in Zn-stressed Mentha pulegium. Turk J Chem 2003; 27(1): 21-30.
25. Megateli S, Semsari S, Couderchet M. Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by Lemna gibba. Ecotoxicol Environ Saf 2009; 72(6): 1774-80.
26. Shariat A, Assareh MH, Ghamari-Zare A. Effects of cadmium on some physiological characteristics of Eucalyptus occidentalis. Water Soil Sci 2010; 14(53): 145-54. [In Persian].
27. Pirooz PS, Manoocheri Kalantari K, Nasibi F. A Physiological analysis of sunflower under chromium stress: Impact on plant growth, bioaccumulation and oxidative stress induction on sunflower (Helianthus annuus). Iran J Plant Biol 2012; 4(11): 73-86. [In Persian].

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-19]

[DOI: 10.48305/hsr.2020.15.3.104]