

Phytoremediation Potential of *Camelina* (*Camelina sativa*) in Pb and Cd Polluted Soil

Zeinab Azadbakht¹, Ali Beheshti Ale Agha^{*2}, Fatemeh Rakhsh³, Danial Kahrizi⁴, Mahin Karami⁵

Received: 30 April 2022 Accepted: 24 November 2022

1-MSc in Soil Biology and Biotechnology, Dept. of Soil Science, Razi University, Kermanshah, Iran.

2-Associ.Prof., Dept. of Soil Science, Razi University, Kermanshah, Iran.

3-Research Assistant, Dept. of Soil Science, Razi University, Kermanshah, Iran.

4-Prof., Dept. of Production Engineering and Plant Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.

5-Ph.D. in Soil Sciences, Department of Soil Science, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*Corresponding Author Email: beheshtiali97@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Heavy metals enter the environment directly and indirectly with the development of various industries of metal smelting, mining, and chemical industries. Physical and chemical methods of soil purification from heavy metals are used due to high costs and less time-consuming. Phytoremediation is a low-cost and relatively fast solution to soil pollution and increases biodiversity, reduces erosion, and increases soil fertility.

Materials and Methods: In this study, the phytoremediation potential of the *Camelina* plant in removing heavy metals Pb and Cd from soil was investigated. The experiment was conducted in a completely randomized design with Cd (0, 3, 5, and 10 mg.kg⁻¹) and Pb (0, 100, 300, and 600 mg.kg⁻¹) treatments with 3 replications in the greenhouse of Razi University in Kermanshah.

Results: The results showed that with increasing the concentration of Pb and Cd, the accumulation of these elements in the roots of the *Camelina* plant increased significantly. Most soil biological properties at the highest concentrations of Cd and Pb were significantly reduced compared to the control.

Conclusion: The high concentration of Pb and Cd in the roots of the plant and the low transfer factor of these elements, indicate the greater efficiency of this plant for use in plant stabilization techniques, and we cannot be used to extract heavy metals lead and cadmium from soil.

Keywords: Heavy Metals, Plant Stabilization, Soil Pollution, Soil Quality, Transfer Factor

پتانسیل گیاه پالایی کاملینا (*Camelina sativa*) در خاک آلوده به سرب و کادمیم

زینب آزادبخت^۱، علی بهشتی آل آقا^{۲*}، فاطمه رخس^۳، دانیال کهریزی^۴، مهین کرمی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۳

۱- کارشناس ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۳- دستیار تحقیق گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۴- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۵- دکتری علوم خاک، گروه علوم خاک دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: beheshtiali97@gmail.com

چکیده

اهداف: با پیشرفت صنایع مختلف ذوب فلزات، معدن‌کاوی و صنایع شیمیایی، فلزات سنگین به‌طور مستقیم و غیرمستقیم وارد محیط‌زیست می‌شوند. روش‌های فیزیکی و شیمیایی پاک‌سازی خاک از فلزات سنگین به دلیل هزینه‌های بالا و زمان‌بر بودن کمتر کاربرد دارند، گیاه‌پالایی راه‌حلی کم‌هزینه و نسبتاً سریع در رفع آلودگی خاک است و موجب افزایش تنوع زیستی، کاهش فرسایش و افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه پتانسیل گیاه‌پالایی گیاه کاملینا در حذف فلزات سنگین سرب و کادمیم از خاک بررسی شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با تیمارهای کادمیم (صفر، ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سرب (صفر، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش غلظت سرب و کادمیم، میزان انباشت این عناصر در ریشه گیاه کاملینا به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. اکثر ویژگی‌های بیولوژیک خاک در بالاترین غلظت به‌کاررفته کادمیم و سرب به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: بالا بودن غلظت سرب و کادمیم در ریشه گیاه کاملینا مورد مطالعه و اندک بودن فاکتور انتقال این عناصر، بیانگر کارایی بیشتر این گیاه جهت استفاده در تکنیک تثبیت گیاهی می‌باشد و نمی‌توان از این گیاه برای استخراج فلزات سنگین سرب و کادمیم از خاک استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، تثبیت گیاهی، فاکتور انتقال، فلزات سنگین. کیفیت خاک

مقدمه

زیرزمینی، رسوبات و آب‌های سطحی می‌شوند (بهره‌مند و همکاران ۲۰۰۳). برخلاف سایر آلاینده‌ها، دفع فلزات از محیط بسیار مشکل می‌باشد زیرا این فلزات به‌طور

فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی منجر به انتشار فلزات سنگین در محیط و آلودگی خاک، آب‌های

شناسايي شده که در گياهپالايي مورد استفاده قرار مي‌گيرند (دوشنکوي ۲۰۰۳؛ گوش و سينگ ۲۰۰۵؛ لاست ۲۰۰۰).

جذب مقادير بالای سرب در گياه مي‌تواند به کاهش درصد جوانه‌زني، زرد شدن گياه، ممانعت از رشد ريشه و فعاليت آنزيم‌ها، اختلال در تغذيه معدني و تعادل آب گياه، تغيير در وضعيت هورمون‌ها و ساختار و نفوذپذيري غشاء، کاهش ميزان فتوسنتز، جلوگیری از فعاليت آنزيم‌های چرخه کالوين، کاهش شاخص تحمل و کاهش توده خشک گياه منجر شود (مهدويان و همکاران ۲۰۱۶). همچنين وجود مقادير بالای کادميم در گياه موجب کاهش و توقف رشد ريشه، چوب‌پنبه‌اي شدن، صدمه به ساختمان ريشه، کاهش هدايت هيدروليكي آب در ريشه، تداخل با جذب و انتقال طبيعي عناصر غذايي، کاهش ميزان کلروفيل، کلروز برگ و اختلال در فعاليت‌های آنزيمي به‌ويژه آنزيم‌های دخیل در فتوسنتز مي‌شود (ملکوتي و همکاران ۲۰۱۶).

مظفري و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که در بين گونه‌های زراعي مختلف، کلزا با ۸۴/۵۳ ميلي‌گرم کادميم در کيلوگرم وزن خشک و ماشک با 53/28 ميلي‌گرم کادميم در کيلوگرم وزن خشک به ترتيب بالاترين و کمترین ميزان انباشت کادميم در اندام‌های هوايي را به خود اختصاص دادند. صارمي و همکاران (۲۰۱۴) به‌منظور بررسی اثر کادميم بر برخی پارامترهای فيزيولوژيک ژنوتیپ‌های گلرنگ گزارش کردند که اعمال ۴/۱ ميلي‌گرم کادميم در ليتر باعث کاهش ۵۲/۲، ۸۱/۱ و ۱۵/۳ درصدی در طول ريشه، تعداد برگ و حجم ريشه و افزايش حدود ۱۲ و ۵۱۲ برابری ميزان غلظت کادميم در شاخساره و ريشه نسبت به تیمار شاهد شد. همچنين بيان داشتند که کادميم سبب تغيير جدی در ويژگی‌های فيزيولوژيک و رشد گلرنگ شده و بين ژنوتیپ‌های گلرنگ از اين نظر تفاوت وجود دارد.

حيدري و همکاران (۲۰۰۵) با انجام آزمايشی، اثرهای فيزيولوژيک و بيوشيميائي ناشی از آلودگی سرب در دانه ذرت نشان داند که مسموميت سرب در درجه اول

شيميائي يا بيولوژيک تخریب نمی‌شوند و غيرقابل تجزيه هستند اما می‌توانند اکسيد، احيا و يا به‌وسيله مواد آلی کمپلکس شوند (گله‌دار و يونسي ۲۰۰۸). انباشت فلزات سنگين در خاک نه تنها باروري خاک و کيفيت محصولات زراعي را کاهش می‌دهد، بلکه به‌طور هم‌زمان نقش اکولوژيک خاک و تأثير آن بر ساير اجزا محيط‌زيست را مختل می‌کند (مهاجر و همکاران ۲۰۱۰). زمانی که ظرفيت خاک برای نگه‌داشتن فلزات سنگين، به دليل افزايش سطح آن‌ها در خاک کاهش می‌يابد، فلزات سنگين به‌صورت محلول‌های قابل استفاده برای جذب گياهی، آزاد و منتشر می‌شوند. يون‌های فلزات سنگين زمانی که به مقادير زياد در محيط وجود داشته باشند به‌وسيله ريشه گياهان جذب و به اندام‌های هوايي منتقل شده و موجب اختلال در سوخت‌وساز گياه و کاهش رشد می‌شوند (ليو و همکاران ۲۰۱۰). علاوه بر اين، وجود غلظت بالای فلزات سنگين در خاک یک تهديد جدی است، زيرا سبب تخریب ساختمان خاک، کاهش فعاليت‌های زيستی و حاصلخيزی خاک، کاهش عملکرد، افت کيفيت محصولات کشاورزی، افزايش غلظت آن‌ها در فرآورده‌های کشاورزی و آسیب به سلامت انسان از طريق ورود به زنجيره غذايي شود (شرما و اگراول ۲۰۰۴)؛ بنابراین بايد از روش‌های قابل اعتمادی برای تصفيه مکان‌های آلوده به اين فلزات استفاده کرد (گله‌دار و يونسي ۲۰۰۸). غلظت بالای فلزات سنگين در انسان باعث پوکی استخوان، عدم کارایی ريه، صدمه به کبد و ايجاد تنش بالا در بدن می‌شود (عرفان منش و افیونی ۲۰۱۲). آلودگی خاک به فلزات سنگين با روش‌های مختلف فيزيکی، شيميائي و بيولوژيکی به‌صورت درجا و غيردرجا پالایش می‌شود ولی روش گياهپالايي از روش‌های بيولوژيکی ساده، ارزان و دوست‌دار محيط‌زيست است (محمدي پور و اسدي کپورچال ۲۰۱۳). در اين روش از گياهان مقاوم جهت حذف يا کاهش غلظت آلاينده‌های آلی و معدني و ترکيبات خطرناک در مکان‌های کم‌عمق، خاک‌های آلوده و آب‌های سطحی و زیرسطحی آلوده استفاده می‌شود (داشي ۲۰۰۹). تاکنون تقريباً ۴۰۰ گونه گياهی از ۲۲ خانواده

گیاه کاملینا ساتیوا یک گیاه بیش انباشتگر و از خانواده براسیکاسه است و مقدار بالایی از فلزات سنگین را جذب می‌نماید و از آن به منظور تولید سوخت زیستی استفاده می‌شود و مصرف خوراکی ندارد. این گیاه دوره رشد کوتاه بین ۸۵ تا ۱۰۰ روز دارد و ارتفاع آن بین ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر متغیر است. این گیاه در آب و هوای معتدل و خاک سبک و متوسط رشد خوبی دارد. با توجه به ویژگی این گیاه، پژوهش حاضر به منظور بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی کاملینا در خاک آلوده به سرب و کادمیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی کاملینا در خاک آلوده به سرب و کادمیم دو آزمایش مجزا در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل سطوح کادمیم (صفر (شاهد)، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از منبع نیترات کادمیم و سطوح سرب (صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از منبع نیترات سرب با سه تکرار به صورت مجزا بر روی گیاه کاملینا اعمال شدند.

برای شروع آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر خاک در اراضی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، نمونه برداری مرکب صورت گرفت و پس از هوا خشک شدن کردن و عبور از الک (۲ میلی‌متر) نمونه‌ها به دو بخش تقسیم شدند، یک بخش از نمونه به عنوان خاک شاهد و بخش دیگر به منظور آلوده سازی فلزات سرب و کادمیم، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اعمال تیمارها در جدول ۱ ارائه شده است. برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن از قبیل pH و EC در عصاره گل اشباع (کارتر و گروجی ۲۰۰۷)، درصد کربن آلی به روش واکلی و بلک (۱۹۳۴) مقدار فسفر خاک به روش اولسن و سومرس (۱۹۸۲)، نیتروژن کل به روش کجدال (برمنز و مولونسی ۱۹۸۲)، پتاسیم به روش استات آمونیوم (چاپمن ۱۹۶۵)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون (لوپرت و سوارز ۱۹۹۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش

روی ریشه اثر کرده و موجب کاهش طول و وزن تر و خشک ریشه می‌شود. نقوی و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند تنش حاصل از مصرف سرب موجب کاهش وزن زی‌توده گیاه سویا شد. میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در مقایسه با گیاه شاهد کاهش معنی‌دار را نشان داد. افزایش محتوای قند به جز در غلظت ۰/۱ میلی مولار سرب نسبت به گیاه شاهد در سایر غلظت‌ها (۲/۱، ۴/۱ و ۲/۱ میلی مولار سرب) معنی‌دار بود. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که گیاه سویا در شرایط تنش سرب مقاومت می‌کند. نجیمی و داوود (۲۰۰۹) در مطالعه بر روی گیاه آتریپلکس، مشاهده کردند که تیمار ۴۰۰ میکرو مولار کلرید کادمیم نسبت به سطح شاهد سبب کاهش وزن خشک ریشه به میزان 21 درصد و کاهش ۱۴ درصدی وزن خشک شاخساره شد.

افزایش آلودگی کادمیم موجب افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم شاخساره و بهره متابولیکی (qCO_2) گردید. همچنین، کادمیم موجب کاهش معنی‌دار عملکرد شاخساره، کربن زی‌توده میکروبی، تنفس میکروبی، تنفس برانگیخته یا سوبسترا، جمعیت باکتری‌های محرک رشد گیاه و همزیستی میکروبی شد (کاظم علیلو و همکاران ۲۰۱۳). یزدان پناه و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی تأثیر فلزات سنگین کادمیم و روی را بر فرایند تنفس میکروبی در دو خاک آهکی و غیرآهکی بررسی و مشاهده کردند که کادمیم و روی باعث ایجاد فاز تأخیر در تنفس حاصل از سوبسترا شده و تنفس در هر دو خاک آهکی و غیرآهکی با یکرودند کاهشی مواجه شد. بروکس (۱۹۹۵) و مک گرات و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که آلودگی خاک با فلزات سنگین، باعث کاهش نسبت کربن میکروبی به کربن آلی خاک می‌شود، آنان این نسبت را به عنوان کمیت سودمند برای نشان دادن آلودگی خاک با فلزات سنگین گزارش کردند. خان و اسکالین (۲۰۰۰) گزارش کردند بین غلظت قابل عصاره گیری فلزات سنگین با تنفس میکروبی همبستگی معنی‌داری وجود داشت و با افزایش یا کاهش غلظت عناصر سنگین خاک، میزان تنفس میکروبی خاک افزایش یا کاهش نشان داد.

همان فلز در ریشه گیاه تعریف می‌شود (فیتز و ونزل ۲۰۰۲). معدنی شدن کربن آلی خاک از روش اندرسون (۱۹۸۲) و کربن زی‌توده میکروبی (هورس و پاول ۱۹۹۴) ضریب بازیافت یا راندمان تجزیه کربن میکروبی معادل ۰/۴۵ در نظر گرفته شد) اندازه‌گیری شدند. از آنجا که مقدار مطلق کربن آلی و توده زنده میکروبی در یک زمان مشخص نمی‌تواند گویای بهبود یا کیفیت مواد آلی خاک باشد، از این رو بهره متابولیکی (qCO_2) از تقسیم مقدار کربن متصاعد شده از نمونه‌های تدخین نشده طی یک روز (تنفس پایه) بر کربن توده زنده میکروبی به دست آمد (نانی پیری و الف ۱۹۹۵). کسر متابولیکی در واقع فعالیت میکروبی را به جمعیت (توده میکروبی) ارتباط می‌دهد یا در واقع عملکرد فیزیولوژیکی توده زنده میکروبی کل در واحد زمان است و برحسب $\mu g C^{-1} day^{-1}$ گزارش شد. تنفس برانگیخته (SIR) یا تنفس ناشی از سوبسترا شامل اندازه‌گیری تنفس میکروبی نمونه‌ها پس از اصلاح آن‌ها با مقدار بیش‌ازحد منبع مغذی آسان، معمولاً گلوکز، برای تحریک فعالیت میکروبی است و به روش نانی پیری و الف (۱۹۹۵) و برحسب $\mu g C-CO_2 / kg soil.day$ تعیین شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد مقایسه شدند. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

باور (لوپرت و سوارز ۱۹۹۶)، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون (دیویس و فریتاس ۱۹۷۰) و درصد بافت خاک به روش هیدرومتری (گی و بادر ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شدند.

برای آلوده کردن خاک، غلظت آلاینده‌ها با توجه به محدوده غلظت مجاز کادمیم و سرب در خاک انتخاب شدند (قاسمی فر و همکاران ۲۰۲۱؛ توکلی و همکاران ۲۰۲۰). خاک‌ها به روش محلول پاشی به سرب و کادمیم آلوده شدند. برای یکسان سازی شیب غلظت نیترات در تیمارهای مختلف کادمیم و سرب از نیترات آمونیوم استفاده شد. نمونه‌های خاک به‌منظور تثبیت فلزات سنگین، به مدت ۱۴ روز در شرایط نزدیک به رطوبت زراعی با آب مقطر آبیاری شدند. خاک به‌صورت کامل مخلوط شده و در هر گلدان ۳ کیلویی تعداد بذر یکسانی (۲ گرم) از گیاه کاملینا کشت شد و گلدان‌ها به‌صورت یکنواخت آبیاری شدند. گیاهان در دمای ۱۲-۲۵ درجه سانتی‌گراد و طول روشنایی ۱۴-۱۲ ساعت در روز رشد کردند. پس از سپری شدن ۲ ماه، اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان برداشت و مقدار جذب عناصر سنگین، مقدار ماده خشک و ارتفاع گیاه تعیین شدند. غلظت کادمیم و سرب در عصاره استخراج شده از خاک توسط دستگاه جذب اتمی قرائت (مدل ساخت AA220 شرکت Varian استرالیا) شد (توزن ۲۰۰۳). فاکتور انتقال به‌طور عموم به‌عنوان نسبت غلظت فلز در بخش هوایی گیاه به غلظت

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اعمال تیمارها

کادمیم سرب	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	آهک	کربن آلی	هدایت الکتریکی	pH	بافت خاک
$mg.kg^{-1}$			%			$dS.m^{-1}$		-
۹/۵	۰/۳۸	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۱/۵	۵/۹۵	۰/۳	۷/۵	لومی رسی شنی

نتایج و بحث

تأثیر سطوح مختلف کادمیم و سرب بر صفات مورفولوژیک و غلظت فلزات سرب و کادمیم در گیاه نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که طول ساقه و ریشه، فاکتور انتقال و غلظت فلزات سرب و کادمیم در

اندام هوایی و ریشه گیاه کاملینا در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۲). وزن تر بخش هوایی و ریشه گیاه کاملینا در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر تیمار سرب معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر صفات مورفولوژیک، فاکتور انتقال و غلظت فلزات سرب و کادمیم در بخش هوایی و ریشه گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	طول ساقه	طول ریشه	وزن تر بخش هوایی	وزن تر ریشه	وزن کل دانه	میانگین مربعات		فاکتور انتقال	
							غلظت سرب			غلظت کادمیم
							بخش هوایی	بخش ریشه		بخش هوایی
کادمیم	۳	۱۸/۲۰*	۸/۲۴*	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۴۶ ^{ns}	-	-	۶۴۱۸/۱۴**	۰/۳۰۵۴**
خطا	۸	۳/۵۵	۱/۶۸	۰/۴۳	۰/۱۰	۰/۱۳	-	-	۲۵/۴۴	۰/۰۰۳۹
ضریب تغییرات (%)	-	۴/۴۴	۷/۹۷	۲۳/۱۰	۱۰/۴۳	۲۹	-	-	۹/۵۸	۱۸/۹۶
سرب	۳	۵۴/۹۷*	۶/۱۸*	۲/۲۲*	۰/۴۲*	۰/۱۳ ^{ns}	۴۹۲۱/۸۵**	۳۴۷/۱۷**	-	۰/۰۶۱۹**
خطا	۸	۱۴/۰۰	۲/۰۶	۰/۴۳	۰/۰۸	۰/۱۰	۲۰/۲۵	۴/۲۵	-	۰/۰۰۲۲
ضریب تغییرات (%)	-	۸/۲۰	۸/۲۶	۱۰/۲۳	۱۱/۲۳	۲۵/۲	۸/۶۵	۹/۵۲	-	۹/۵۱

ns, * و ** به ترتیب به مفهوم معنی‌دار نبودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

آب و آسیب به غشای سلولی ریشه و نشت یونی می‌باشد (سلطانی و همکاران ۲۰۰۶؛ ماهلر و همکاران ۲۰۰۶). بررسی نتایج نشان داد که افزایش غلظت کادمیم و سرب در خاک موجب افزایش غلظت این عناصر در بخش هوایی و ریشه گیاه کاملینا شد (جدول ۳). بیشترین غلظت کادمیم بخش هوایی و ریشه در تیمار ۱۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک به ترتیب به میزان ۱۳/۳۳ و ۱۰۴/۵۸ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم به دست آمد همچنین بیشترین غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه گیاه در تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک به ترتیب به میزان ۳۰/۳۳ و ۱۰۷/۶۶ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم اندازه‌گیری گردید (جدول ۳). در بخش هوایی و ریشه غلظت سرب بیشتر از کادمیم بود و ریشه میزان انباشت بیشتری از فلزات سنگین را نشان داد (جدول ۳). کاباتا پندیاس (۲۰۰۱) بیان کردند که کادمیم جذب شده توسط گیاه بیشتر در ریشه تجمع می‌یابد. آنان همچنین اظهار داشتند که تجمع کادمیم در ریشه ممکن است به علت تشکیل پیوند بین کادمیم و سولفیدریل و پروتئین‌هایی به نام فیتولکتین باشد. ليو و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کردند که با مصرف سرب و ایجاد آلودگی در خاک میزان جذب و انتقال سرب به دانه در ارقام مختلف برنج بسیار اندک می‌باشد و سرب عمدتاً در ریشه تجمع می‌یابد.

در شرایط تنش کادمیم طول ساقه و ریشه در بالاترین غلظت به کار رفته نسبت به شاهد به ترتیب ۱۳ و ۲۱ درصد کاهش یافتند. در شرایط تنش سرب، طول ساقه و ریشه در بالاترین غلظت به کار رفته نسبت به شاهد به ترتیب ۱۵ و ۱۶ درصد کاهش یافتند. نتایج نشان می‌دهد که کادمیم و سرب در گیاه کاملینا به‌عنوان یک عامل بازدارنده بر روی رشد طول ساقه و ریشه مؤثر بوده‌اند. این یافته‌ها با نتایج بسیاری از تحقیقات انجام شده در رابطه با اثر کادمیم و سرب بر محدودیت و کاهش رشد ساقه و ریشه مطابقت دارد. شانکر و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند؛ عناصر سنگین که به بخش هوایی گیاه منتقل می‌شوند، با ایجاد اختلال در سوخت‌وساز سلولی بخش هوایی، ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهند. میهاسکو و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که تجمع کادمیم باعث کاهش ارتفاع در گیاه ذرت می‌شود. به‌علاوه آن‌ها استنباط کردند که این کاهش به‌طور مستقیم متناسب با افزایش تجمع فلزات در گیاه می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت سرب، وزن تر بخش هوایی و ریشه کاهش یافت و بیشترین مقدار بخش هوایی و ریشه در تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۸/۰۶ و ۲/۹۳ گرم در بوته بود (جدول ۳). احتمالاً کاهش وزن در اندام هوایی و ریشه به دلیل اختلال در جذب عناصر غذایی و

جدول ۳- تأثیر تیمارها بر صفات مورفولوژیک، فاکتور انتقال و غلظت فلزات سرب و کادمیم در بخش هوایی و ریشه گیاه

فاکتور انتقال	غلظت کادمیم		غلظت سرب		وزن تر ریشه	وزن تر بخش هوایی	طول ریشه	طول ساقه	غلظت mg.kg ⁻¹
	بخش هوایی		بخش هوایی						
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg					
۰/۸۰ ^a	۰/۲۵ ^d	۰/۲۱ ^d	-	-	-	-	۱۸/۱۶ ^a	۴۵/۶۵ ^a	صفر
۰/۲۴ ^b	۲۹/۸۳ ^c	۶/۸۶ ^c	-	-	-	-	۱۷/۰۰ ^{ab}	۴۲/۸۰ ^{ab}	۳
۰/۱۵ ^c	۷۵/۳۱ ^b	۱۱/۴۵ ^b	-	-	-	-	۱۵/۶۴ ^{bc}	۴۱/۳۴ ^b	۵
۰/۱۲ ^c	۱۰۴/۵۸ ^a	۱۳/۳۳ ^a	-	-	-	-	۱۴/۳۳ ^c	۳۹/۸۸ ^b	۱۰
۰/۵۹ ^a	-	-	۷/۸۷ ^c	۵/۳۱ ^d	۲/۹۳ ^a	۸/۰۶ ^a	۱۸/۸۳ ^a	۴۵/۸۷ ^a	صفر
۰/۵۷ ^b	-	-	۴۲/۰۰ ^b	۲۲/۳۳ ^c	۲/۸۶ ^a	۷/۱۰ ^{ab}	۱۸/۳۳ ^{ab}	۴۳/۰۲ ^{ab}	۱۰۰
۰/۵۳ ^b	-	-	۴۸/۱۶ ^b	۲۷/۶۶ ^b	۲/۶۳ ^b	۶/۸۶ ^b	۱۶/۵۰ ^{ab}	۳۹/۶۷ ^b	۳۰۰
۰/۲۸ ^c	-	-	۱۰۷/۶۶ ^a	۳۰/۳۳ ^a	۲/۱۰ ^c	۴/۸۰ ^c	۱۵/۸۳ ^b	۳۹/۰۶ ^b	۶۰۰

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

هفته اول تا هشتم انکوباسیون در گیاه کاملینا به ترتیب ۱۳، ۲۳، ۲۱، ۲۷، ۲۸، ۱۵، ۳۸ و ۴۷ درصد کاهش یافت. همچنین در شرایط تنش سرب کاهش تنفس پایه از غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب شروع شد و در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب به کمترین مقدار خود رسید. در هفته دوم و سوم، در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب، تنفس پایه در برابر هفته اول افزایش نشان داد که ممکن است وابسته به از بین رفتن گونه‌های میکروبی حساس و افزایش منابع کربن قابل بهره‌گیری در اثر رها شدن اندوخته یاخته‌ای آن‌ها برای گونه‌های مقاوم باشد (شیرزاده و همکاران ۲۰۱۳).

از آنجایی که سرعت معدنی شدن کربن به حضور فلزات سنگین و به میزان دسترسی سوبسترا برای ریزجانداران تجزیه‌کننده ماده آلی بستگی دارد. با افزایش میزان کادمیم در خاک این سوبسترا از دسترس ریزجانداران خارج شده و در نتیجه معدنی شدن کربن کاهش می‌یابد (دیانی و رئیسی ۲۰۱۱). نتایج این یافته با نتایج سایر محققان که در این زمینه فعالیت کرده‌اند مطابقت دارد. دای و همکاران (۲۰۰۴) اظهار کردند در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین مانند کادمیم، میزان کربن معدنی شده با افزایش غلظت فلز کاهش می‌یابد. آن‌ها گزارش کردند که تنفس خاک با کادمیم کل و کادمیم

فاکتور انتقال با افزایش غلظت کادمیم و سرب کاهش یافت. این امر نشان می‌دهد که بیشترین تجمع این فلزات در ریشه گیاه بوده و کادمیم و سرب به بخش هوایی منتقل نشده‌اند (جدول ۳). گیاه مورد مطالعه در این پژوهش به‌طور معمول از قابلیت مناسبی جهت استخراج فلزات سنگین کادمیم و سرب از خاک آلوده برخوردار نیست. بالا بودن غلظت سرب و کادمیم ریشه گیاه مورد مطالعه و اندک بودن فاکتور انتقال این دو عنصر بیانگر کارایی بیشتر این گیاه جهت استفاده در تکنیک تثبیت گیاهی می‌باشد.

تأثیر سطوح مختلف کادمیم و سرب بر شاخص‌های کیفیت بیولوژیک خاک

نتایج تجزیه واریانس در خاک تحت کشت گیاه کاملینا (جدول ۴) نشان داد که سطوح مختلف کادمیم و سرب خاک باعث کاهش معنی‌دار (سطح احتمال ۵ و ۱ درصد) تنفس میکروبی طی دوره انکوباسیون می‌شوند و با افزایش غلظت کادمیم و سرب، تنفس میکروبی طی دوره انکوباسیون کاهش می‌یابد.

نتایج مقایسه میانگین در گیاه کاملینا (جدول ۵) نشان داد که در شرایط تنش کادمیم اختلاف بین تیمارهای شاهد و سطح ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم معنی‌دار نبود. در شرایط تنش کادمیم میانگین تنفس میکروبی از

تنفس میکروبی می‌شود. علت کاهش تنفس میکروبی در حضور فلزات سنگین را می‌توان به کاهش بیشتر زیست‌توده ریشه گیاه نسبت داد.

قابل جذب همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. کاظم علیلو و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی با بررسی آلودگی کادمیم و تأثیر آن بر کیفیت بیولوژیک خاک و رشد گیاه بنگدانه به این نتیجه دست یافتند که کادمیم باعث کاهش معنی‌دار

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر تنفس میکروبی خاک تحت کشت گیاه کاملینا در ۸ هفته انکوباسیون

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم	هفته ششم		
۱۳۴/۹۸*	۲۱۷/۶۶**	۲۲۲/۱۰*	۲۰۲/۷۴**	۲۰۳/۶۸**	۲۶۴/۰۷**	۳	کادمیم
۲۸/۷۳	۲۶/۲۱	۵۵/۶۶	۲۶/۶۲	۲۱/۷۸	۸/۱۶	۸	خطا
۵/۵۸	۶/۰۸	۱۰/۱۷	۷/۹۰	۷/۹۳	۹/۰۹	-	ضریب تغییرات
۹۰/۴۴**	۲۲/۸۵**	۹/۲۴**	۲۸۶/۵۰**	۲۶۱/۷۹**	۴۰۱/۸۸**	۳	سرب
۳/۷۳	۰/۸۰	۰/۶۰	۶/۸۵	۱۲/۵۰	۱۱/۲۹	۸	خطا
۱/۹۳	۰/۷۹	۰/۸۰	۴/۱۶	۶/۳۲	۷/۳۰	-	ضریب تغییرات (%)

ns, * و ** به ترتیب به مفهوم معنی‌دار نبودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۵- تأثیر تیمارها بر تنفس میکروبی خاک تحت کشت گیاه کاملینا در ۸ هفته انکوباسیون

mg C-CO ₂ /kg							غلظت
هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم	هفته ششم	هفته هشتم	mg/kg
۱۰۳/۰۳ ^a	۹۷/۱۶ ^a	۸۶/۱۶ ^a	۷۵/۹۰ ^a	۶۷/۸۳ ^a	۵۵/۷۳ ^a	۵۲/۴۳ ^a	صفر
۱۰۲/۳۰ ^a	۹۵/۷۰ ^a	۸۴/۷۰ ^a	۷۵/۱۶ ^{ab}	۶۴/۹۰ ^{ab}	۵۵ ^a	۵۱/۷۰ ^a	۳
۱۰۱/۵۶ ^a	۹۴/۲۳ ^a	۸۳/۹۶ ^a	۷۱/۵۰ ^b	۶۴/۱۶ ^b	۵۳/۹۰ ^b	۵۰/۹۶ ^a	۵
۸۹/۸۳ ^b	۷۵/۱۶ ^b	۶۷/۸۳ ^b	۵۵/۳۶ ^c	۴۹/۵۰ ^c	۴۷/۳۰ ^c	۳۲/۶۳ ^b	۱۰
۱۰۴/۵۰ ^a	۱۰۲/۳۰ ^a	۹۸/۲۶ ^a	۷۱/۵۰ ^a	۶۴/۹۰ ^a	۵۶/۸۳ ^a	۵۱/۷۰ ^a	صفر
۱۰۲/۳۰ ^b	۱۰۱/۲۰ ^b	۸۷/۱۶ ^b	۶۸/۵۶ ^b	۶۰/۵۰ ^b	۵۰/۲۳ ^b	۴۸/۰۳ ^b	۱۰۰
۱۰۱/۲۰ ^b	۱۰۰/۸۳ ^b	۹۵/۷۰ ^c	۶۱/۹۶ ^c	۵۸/۳۰ ^c	۴۸/۰۳ ^c	۴۶/۵۶ ^c	۳۰۰
۹۲/۰۳ ^c	۹۶/۰۶ ^c	۹۴/۲۳ ^d	۴۹/۵۰ ^d	۳۹/۹۶ ^d	۲۸/۹۶ ^d	۲۶/۰۳ ^d	۶۰۰

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

پارامترهای بیولوژیک خاک به این نتیجه دست‌یافت که با افزایش آلودگی خاک تنفس برانگیخته کاهش می‌یابد. لندی و همکاران (۲۰۰۰)، دای و همکاران (۲۰۰۴)، دیانی و رئیسی (۲۰۱۱) نیز دریافتند که تنفس برانگیخته در خاک آلوده به کادمیم کاهش می‌یابد و این روند در سطوح بالای کادمیم آشکارتر است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در خاک تحت کشت گیاه کاملینا در شرایط تنش کادمیم و سرب، کربن زی‌توده میکروبی و بهره متابولیک، اختلاف معنی‌داری در

تجزیه واریانس تأثیر تیمارها نشان داد که اثرات سطوح کادمیم و سرب بر میزان تنفس برانگیخته خاک در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۶). نتایج نشان داد که با افزایش غلظت عناصر کادمیم و سرب در خاک، تنفس برانگیخته کاهش می‌یابد (جدول ۷). فلزات سنگین از طریق تشکیل کمپلکس با سوبسترا قابلیت فراهمی آن را کاهش داده و یا این‌که ریزجانداران را از بین می‌برند و بدین ترتیب تنفس کاهش می‌یابد. بروکس (۱۹۹۵) با بررسی اثر فلزات سنگین بر

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر تنفس برانگیخته، کربن زی توده میکروبی و بهره متابولیک در خاک تحت کشت گیاه کاملینا

منابع تغییر	درجه آزادی	تنفس برانگیخته	کربن زی توده میکروبی	بهره متابولیک
کادمیم	۳	۶۹/۲۳**	۶۰۶/۹۹*	۰/۰۰۵*
خطا	۸	۱۰/۸۹	۸/۱۴	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات	-	۲/۳۱	۱/۹۶	۲/۰۳
سرب	۳	۱۷۴/۷۷**	۱۰۹۰/۸۲**	۰/۰۱۰۵**
خطا	۸	۶/۸۵	۱۶/۲۹	۰/۰۰۰۳
ضریب تغییرات(%)	-	۱/۸۳	۲/۸۵	۲/۲۹

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم معنی دار نبودن و معنی دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

سطح احتمال ۱ و ۵ دارند (جدول ۶) و با افزایش غلظت کادمیم و سرب، کربن زی توده میکروبی کاهش ولی بهره متابولیک افزایش می یابد. جوز و همکاران (۲۰۰۲) نیز کاهش زی توده میکروبی در غلظت های بالای کادمیم را گزارش کرده اند. در خاک های آلوده به عناصر سمی فعالیت متابولیکی و راندمان مصرف کربن توسط ریزجانداران تغییر می کند. در این خاک ها کارایی متابولیکی در تبدیل سوبسترای آلی به زی توده کاهش می یابد و قسمت اعظم کربن برای تولید انرژی مصرف می گردد (دای و همکاران ۲۰۰۴)؛ اما شاخص بهره متابولیکی در شرایط تنش های محیطی افزایش می یابد زیرا در این شرایط، فعالیت متابولیکی و بازده مصرف کربن توسط میکروب ها تغییر می کند (بنمون و همکاران ۲۰۰۶). در این پژوهش نیز با افزایش غلظت کادمیم و سرب در خاک، بهره متابولیک افزایش یافت. از این رو چنین می توان گفت که در خاک های آلوده کارایی

متابولیکی در تبدیل سوبسترای آلی به زی توده کاهش می یابد و قسمت اعظم کربن برای تولید انرژی مصرف می گردد. احتمالاً اضافه کردن عناصر سمی به خاک سبب از بین رفتن بخش زیادی از ریزجانداران خاک می شود و در نتیجه باعث افزایش تنفس ناشی از تجزیه سلول های ریزجانداران کشته شده توسط ریزجانداران باقیمانده می شود. نتایج این یافته با نظریه محققانی همچون کاظم علیلو و همکاران (۲۰۱۳) و کارمو (۲۰۰۱) مطابقت داشت؛ اما هاتوری (۱۹۹۱ و ۱۹۹۲) کاهش مقادیر بهره متابولیک در خاک های آلوده را این گونه توضیح داد که ریزجانداران در خاک های آلوده از سوبستراهای مختلف استفاده می کنند که این باعث افزایش کربن زی توده میکروبی می شود.

جدول ۷- تأثیر تیمارها بر تنفس برانگیخته، کربن زی توده میکروبی و بهره متابولیک در خاک تحت کشت گیاه کاملینا

غلظت	تنفس برانگیخته	کربن زی توده میکروبی	بهره متابولیک
mg/kg	µg C-CO ₂ / kg soil. day	mg/kg	µg C-CO ₂ /g MBC. day
صفر	۱۴۵/۹۳ ^a	۱۵۵/۰۱ ^a	۰/۶۷۴ ^b
۳	۱۴۵/۲۰ ^a	۱۵۲/۰۳ ^a	۰/۶۸۰ ^b
۵	۱۴۴/۴۶ ^a	۱۵۰/۰۴ ^a	۰/۶۸۱ ^b
۱۰	۱۳۵/۶۶ ^b	۱۲۴/۲۱ ^b	۰/۷۶۷ ^a
صفر	۱۴۷/۴۰ ^a	۱۵۷/۰۰ ^a	۰/۷۳۵ ^c
۱۰۰	۱۴۶/۶۶ ^{ab}	۱۵۴/۰۲ ^a	۰/۷۴۰ ^b
۳۰۰	۱۴۵/۲۰ ^b	۱۳۹/۱۱ ^b	۰/۷۹۳ ^a

۶۰۰

۱۳۱/۲۶^c۱۱۵/۲۶^c۰/۸۶۲^a

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

نتیجه‌گیری

تنفس برانگیخته و کربن زی‌توده میکروبی در بالاترین غلظت به‌کاررفته کادمیم و سرب (به ترتیب ۱۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌طور معناداری نسبت به شاهد کاهش یافتند، ولی بهره متابولیک افزایش یافت. غلظت بالای کادمیم و سرب در ریشه گیاه کاملینا و میزان کم این عناصر در اندام هوایی حاکی از پایین بودن میزان فاکتور انتقال در این گیاه است. بدین ترتیب گیاه مورد مطالعه در این آزمون از قابلیت مناسبی جهت استخراج گیاهی کادمیم و سرب از خاک آلوده برخوردار نمی‌باشد. از سوی دیگر بالا بودن غلظت سرب و کادمیم در ریشه

گیاه کاملینا بیانگر کارایی مناسب آن‌ها جهت استفاده در تکنیک تثبیت گیاهی است. به نظر می‌رسد انجام پژوهش‌های جدید با فلزات سنگین دیگر می‌تواند تأییدکننده کارایی گیاه کاملینا در استفاده از آن در تثبیت گیاهی فلزات سنگین باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت مالی دانشگاه رازی کرمانشاه در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع مورد استفاده

- Afyuni M and Erfanmanesh M. 2012. Environmental Pollution: Water, Soil and Air. Arkan Danesh Press. (In Persian).
- Anderson JP. 1982. Soil respiration. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. pp. 831-871.
- Bahreman MR, Afyuni M, Hajabbasi MA and Rezayi Nezhad Y. 2003. Effect of sewage sludge on some physical properties of soil. Journal of Water and Soil Science, 6 (4): 1-10. (In Persian).
- Bremner JM and Mulvaney CS. 1982. Nitrogen total. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. pp. 595-624.
- Brookes PC. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biology and Fertility of Soils, 19 (4): 269-279.
- Bünemann EK, Schwenke GD and Van Zwieten, L. 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms-a review. Soil Research, 44 (4): 379-406.
- Carmo JB. 2001. Impacto da aplicação de biossólidos nas atividades microbianas solo, M.Sc. Dissertation, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agriculture Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil. (In English).
- Carter MR and Gregorich EG. 2007. Soil Sampling and Methods of Analysis. CRC press.
- Chapman HD. 1965. Total exchangeable bases. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. pp. 902-904.
- Dai J, Becquer T, Rouiller JH, Reversat G, Bernhard-Reversat F and Lavelle P. 2004. Influence of heavy metals on C and N mineralization and microbial biomass in Zn, Pb, Cu, and Cd contaminated soils. Applied Soil Ecology, 25 (2): 99-109.
- Dashi M. 2009. Feasibility Study of Ammonia Nitrogen and Phosphate Removal from Municipal Wastewater Using Blue Lentil Floating Plant, M.Sc. Thesis, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences. (In Persian).

- Dayani L and Raiesi F. 2011. The role of compost in alleviating cadmium effects on microbial respiration and biomass, and phosphatase activity in the soil. *Journal of Water and Soil*, 25 (1): 161-173. (In Persian).
- Devis J and Freitas A. 1970. Calcium plus Magnesium and Calcium in Physical and Chemical Methods of Soil and Water Analysis. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. *Soil Bulletin*, 10: 212-217.
- Dushenkov D. 2003. Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant and Soil*, 249 (1): 167-175.
- Fitz WJ and Wenzel WW. 2002. Arsenic transformations in the soil rhizosphere plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *Journal of Biotechnology*. 99 (3): 259-278
- Gee GW and Bauder JW. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-411. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
- Geledar M and Younesi H. 2008. Bio absorption of heavy elements (cadmium, nickel, and cobalt) by the yeast *Saccaromyces cerevisia* in a compact column. M.Sc. Thesis, Faculty of Marine Science and Environment, Tarbiat Modares University. (In Persian).
- Ghosh M and Singh V. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(1): 1-18.
- Hattori H. 1991. Influence of cadmium on decomposition of glucose and cellulose in soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 37: 39-45
- Hattori H. 1992. Influence of Heavy Metals on Soil Microbial Activities. *Soil Science and Plant Nutrition*. 38 (1): 93-100.
- Heidari R, Khayami M and Farboudnia T. 2005. Physiological and biochemical effects of lead contamination in corn grains (*zea mays* l.). *Iran Biology Journal*, 18 (3): 228-236. (In Persian).
- Horwath WR and Paul EA. 1994. Microbial biomass. In: Buxton DR (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- José LM, Hernández T, Pérez A and Garcia C. 2002. Toxicity of cadmium to soil microbial activity: effect of sewage sludge addition to soil on the ecological dose. *Soil Ecology*, 21: 149-158.
- Kabata Pendias A. 2001. *Trace Elements in Soil and Plants*. CRC Press, Bosa Raton, FL.
- Kazemalilou S and Rasouli-Sadaghiani M. 2013. An Evaluation of Some Soil Biological Indices in the Presence of Growth-Promoting Rhizobacteria and when Soil Contamination with Cd. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44 (1): 57-68. (In Persian).
- Khan M and Scullion J. 2000. Effect of soil on microbial responses to metal contamination. *Environmental Pollution*, 110 (1): 115-125.
- Landi L, Renella G, Moreno JL, Falchini L and Nannipieri P. 2000. Influence of cadmium on the metabolic quotient, glutamic acid respiration ratio and enzyme activity: microbial biomass ratio under laboratory conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 32 (1): 8-16.
- Lasat MM. 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soils: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, 2: 1-25.
- Liu J, Cao C, Wong M, Zhang Z and Chai Y. 2010. Variations between rice cultivars in iron and manganese plaque on roots and the relation with plant cadmium uptake. *Journal of Environmental Sciences*, 22 (7): 1067-1072.
- Loeppert RH and Suarez L. 1996. Carbonate and gypsum. In: *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. pp. 437-474. Sparks E (ed.) Soil Science Society of America: Madison, WI.

- MacFarlane G and Burch M. 2000. Cellular distribution of Cu, Pb and Zn in the Grey Mangrove *Avicennia marina*. *Aquatic Botany*, 68 (3): 45-59.
- Mahler BJ, Van Metre PC and Caliender E. 2006. Trends in metals in urban and reference lake sediments across the United States, 1970 to 2001. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25 (7): 1698-1709.
- Malakouti MJ, Shahabi AA and Bazargan K. 2016. Potassium in agriculture (role of potassium in healthy agricultural production). Preachers Publications, 2nd Edition, Tehran, Iran. (In Persian).
- Mihalescu LA, Mare-Rosca OE, Maria M and Bildar CF. 2010. Research on the growth intensity of the *Zea mays* L. plantlets aerial parts under cadmium treatment. *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Biologie*.147-151. (In English).
- Mohajer R, Salehi MH, Mohammadi J and Toumanian L. 2010. Fertilizers containing heavy metals on human health effects and transmission routes of these metals in the food chain. The 1st Iranian Fertilizer Challenges Congress: Half a Century of the Fertilizer Consumption. Iran. Tehran. pp. 1-9 (In Persian).
- Mohamadipour F and Asadi Kapourchal S. 2013. Assessing land cress potential for phytoextraction of cadmium from Cd contaminated soils. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 2 (2): 25-36. (In Persian)
- Muzaffari A, Habibi D, Maleki A and Babaei F. 2012. Evaluation ability of some crop Species for remediation of heavy metal cadmium in contaminated soils. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8 (33): 1-14. (In Persian).
- Naghavi F, Iranbakhsh A and Majd A. 2011. Investigation of the effect of zinc and lead toxicity on some physiological parameters of soybean (*glycine max.*). *Plants and Ecosystems*, 7 (28): 81-97. (In Persian)
- Nannipieri P and Alef K. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Netherlands: Elsevier Science.
- Nedjimi B and Daoud Y. 2009. Cadmium accumulation in *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* and its influence on growth, proline, root hydraulic conductivity and nutrient uptake. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 204 (4): 316-324.
- Olsen SR and Sommers LE. 1982. Phosphorus. pp. 403-430. In: Miller AL (ed.), *Methods of soil analysis*, part 2. Microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America. Madison.
- Qasemi far L, Golchin A and Rakhsh F. 2021. The Response of Berseem Clover to Inoculation of *Rhizobium trifolii* and *Arbuscular Mycorrhizal* Fungi in Cadmium Contaminated Soils. *Water and Soil*, 35(1): 1-18. (In Persian).
- Saremi Rad B, Esfandiari A, Shokrpour M, Sefalian O, Avans A and Mousavi B. 2014. Cadmium affects some morphological and physiological parameters in wheat at seedling stage. *Journal of Plant Research*, 27 (1): 1-11. (In Persian).
- Shanker AK, Cervantes C, Loza-Tavera H and Avudainayagam S. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (1): 21-34.
- Sharma RK, Agrawal M and Marshall FM. 2004. Effects of waste water irrigation on heavy metal accumulation in soil and plants. Paper presented at a National Seminar, Bangalore University, Bangalore.
- Shirzadeh N, AliAsgharzag N and Najafi N. 2013. Changes in Microbial Biomass Carbon, Ecophysiological indices, Basal Respiration and Substrate-Induced Respiration of Soil after Incubation with Different Lead Levels. *Water and Soil Science*, 23 (2): 111-124. (In Persian).
- Soltani IF, Ghorbanli ML and Manouchehr KK. 2006. Effect of cadmium on photosynthetic pigments, sugars and malonaldehyde content in (*Brassica napus* L.). *Iran Biology Journal*, 9 (2): 134-136. (In Persian).

- Tavakoli A, Golchin A and Abdollahi S. 2020. Study of Lead Uptake and Translocation from Heavy Metals Contaminated Soils to the Aerial Parts of Different Winter Wheat Cultivars. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(8): 1959-1969. (In Persian).
- Tüzen M. 2003. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry. Micro Chemical Journal, 74 (3): 289-297.
- Walkley A and Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37 (1): 29-38.
- Yazdan Panah N, Fotoot A, Lakzian A and Haghnia GH. 2008. The effect of heavy metals zinc and cadmium on microbial respiration process in both calcareous and non-calcareous soils. Journal of Water and Soil Science, 22 (1): 59-69. (In Persian).