



مقایسه کار آبی برخی پارامترها در افزایش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه پالایی توسط شاهی (*Lepidum Sativum*)

*شیرین جهانبخشی^۱، محمدرضا رضایی^۲ و محمدحسن سیاری زهان^۳

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه محیط زیست، دانشگاه بیرجند، آستادیار گروه محیط زیست، دانشگاه بیرجند،

^۲آستادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۳۱

چکیده

گیاه پالایی یکی از روش های آلودگی زدایی خاک است که از گیاهان سبز برای از بین بردن آلودگی خاکها استفاده می شود. میزان کم دستیابی فلزات سنگین در خاکها، کارایی گیاه را برای گیاه پالایی با محدودیت مواجه می کند. بنابراین در این پژوهش به منظور افزایش قابلیت دسترسی فلز سنگین کادمیوم در گیاه شاهی، از چهار متغیر کود گاوی، کود کمپوست، کود اوره و باکتری های مقاوم به فلزات سنگین با سه سطح مختلف در خاک آلوده به کادمیوم (۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) با استفاده از نمک کلرید کادمیوم ($CdCl_2 \cdot H_2O$) آلوده شده بود، استفاده شد. غلظت کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد و برای طراحی آزمایشها از روش تاگوچی استفاده شد. نتایج نشان داد که کود گاوی، کود اوره، باکتری های مقاوم و کمپوست به ترتیب اهمیت در غلظت کادمیوم در اندام هوایی گیاه شاهی و فاز محلول خاک تأثیر معنی داری نشان دادند. همچنین نتایج نشان داد که شرایط بهینه برای جذب کادمیوم توسط اندام هوایی در تیمارهای کود گاوی ۴۰ گرم بر کیلوگرم، کود اوره ۰/۰۵ گرم بر کیلوگرم، تلقیح باکتری های CC_3 ، CC_4 ، CC_5 و کود کمپوست ۱۰ گرم بر کیلوگرم و در فاز محلول خاک، در تیمارهای کود گاوی ۱۰ گرم بر کیلوگرم، کود اوره ۰/۱۵ گرم بر کیلوگرم، تلقیح

*مسئول مکاتبه: jahanbakhshish@yahoo.com

باکتری‌های CC_1 , CC_2 و کود کمپوست ۲۰ گرم بر کیلوگرم اتفاق افتاد. بنابراین با توجه به نتایج، کود گاوی بیشترین سهم را در بالابردن کارایی گیاه‌پالایی در گیاه شاهی داشته است.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های مقاوم، کادمیوم، روش تاگوچی، گیاه‌پالایی

مقدمه

یکی از مشکلات جدی زیست‌محیطی، آلودگی خاک با فلزات سنگین می‌باشد و بر سلامتی انسان و زمین‌های زراعی تأثیرات منفی بر جا می‌گذارد (نایس و همکاران، ۲۰۱۱). کادمیوم از فلزات سنگین موجود در خاک می‌باشد. غلظت بالای کادمیوم در زنجیره غذایی برای انسان خطرناک است و باعث بیماری‌های کلیوی و کبدی، مشکلات استخوانی و بیماری‌های عصبی می‌شود (شریفی و همکاران، ۲۰۱۰). سازمان بهداشت جهانی (WHO) حداکثر میزان روزانه قابل تحمل کادمیوم در بدن انسان را ۶۰ ppb تعیین کرده است.

حد استاندارد کادمیوم در مواد غذایی ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم توصیه شده است (سوربک، ۱۹۹۱). حداکثر مقدار مجاز کادمیوم در گیاه جهت مصرف انسان نباید از ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم تجاوز کند. در این صورت خاک‌ها نباید بیش از ۱/۵ تا ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم این عنصر را دارا بوده که این مقدار در خاک‌های شنی کمتر می‌باشد (تالین و رزلت، ۱۹۹۷). گیاهان ابزار ارزشمندی برای احیای خاک‌های آلوده از طریق گیاه‌پالایی می‌باشند. این تکنولوژی باعث افزایش کیفیت خاک، اصلاح مجدد آن و استقرار دوباره فعالیت‌های زیستی می‌شود (رحمانیان و همکاران، ۲۰۱۱). زیست‌فراهمی کادمیوم در خاک به‌ویژه خاک‌های آهکی و جوان در مناطق خشک و نیمه‌خشک اندک است و بنابراین افزودن برخی مواد می‌تواند زیست‌فراهمی و جذب آن توسط گیاهان را تغییر دهد (خداوردی‌لو و صمدی، ۲۰۱۱). بررسی پتانسیل دستیابی زیستی فلزات و جذب آن‌ها توسط گیاهان به چند علت دارای اهمیت می‌باشد. اول این‌که این فرآیند، سریع و کم‌هزینه است و پتانسیل خطر انتقال فلزات به محصولات زراعی رشد یافته در خاک‌های غنی از فلزات سنگین را مورد بررسی قرار می‌دهد. و همچنین از همبستگی بین میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین و جذب آن‌ها در گیاه می‌توان برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تکنیک‌های متفاوت گیاه‌پالایی که به‌عنوان یکی از استراتژی‌های مؤثر در پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین است استفاده کرد (کامنو و واندرلیلی، ۲۰۰۰). میزان کم دستیابی زیستی فلزات

سنگین در خاک‌ها، کارایی گیاه‌پالایی را با محدودیت مواجه می‌کند (نایس و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین در این پژوهش به منظور افزایش قابلیت دسترسی فلز سنگین، از چهار متغیر کود گاوی، کود کمپوست، کود اوره و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین با سه سطح مختلف در خاک آلوده به کادمیوم (۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که با نمک کلرید کادمیوم ($CdCl_2 \cdot H_2O$) آلوده شده بود، استفاده شد. طراحی آزمایش‌ها با استفاده از روش تاگوچی صورت گرفت. روش تاگوچی، یک روش طراحی قوی است که با استفاده از طرح فاکتوریل جزئی، پارامترهای زیادی را با تعداد آزمایش‌های محدودی مورد بررسی قرار می‌دهد. اصل اساسی و بنیادی روش تاگوچی بهبود بخشیدن به کیفیت محصول با کاهش دادن عوامل ایجاد کننده ناپایداری، بدون حذف نمودن آن عوامل می‌باشد (خسلا و همکاران، ۲۰۰۶). از روش تاگوچی جهت بررسی امکان‌پذیری تکنیک زیست‌درمانی - در محل به منظور کاهش آلودگی اراضی پالایشگاه شیراز (مولا و طاهری‌ابهری، ۲۰۰۴)، بهینه‌سازی حذف زیستی ۲ و ۴ و ۶ تری‌نیترو تولوئن (TNT) از خاک آلوده در مقیاس آزمایشگاهی (رضایی و همکاران، ۲۰۰۹)، بهینه‌سازی شرایط و محیط کشت باکتری زانتوموناس آمپستریس (صالحین و شاه‌حسینی، ۲۰۰۵) و حذف کروم (VI) (اسدی‌حیب و همکاران، ۲۰۱۱) استفاده شده است.

کاربرد کودهای آلی (کمپوست و کود گاوی) در خاک‌های سنگین می‌تواند دانه‌بندی، تخلخل، نفوذپذیری و تهویه را بهبود بخشد و در خاک‌های شنی به نگهداری آب و مواد غذایی کمک می‌کند (ابوشارر، ۱۹۹۶). مطالعات مختلف نشان داده است که ضایعات آلی مانند، کمپوست زباله و کود گاوی به‌علت وجود مواد آلی زیاد به‌صورت کلات‌های آلی درآمده و باعث افزایش حلالیت و قابلیت جذب این عناصر در خاک می‌شوند (رضوی توسی، ۲۰۰۰). نتایج مطالعات خدیوی بروجنی (۲۰۰۷) نیز نشان داد که کاربرد کودهای آلی سبب افزایش روی قابل جذب در خاک می‌شود که علت این پدیده، تجمع زیاد روی در حضور کودهای آلی در شکل‌های محلول یونی و کمپلکس‌های آلی محلول و تبدیلی می‌باشد. پژوهش‌های کالا و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان داد که غلظت مس در اندام هوایی رزماری با کاربرد کمپوست افزایش یافت. در پژوهش دیگری پژوهش‌گران به این نتیجه رسیدند که کاربرد کودهای سولفات آمونیوم و فسفات آمونیوم با کاهش pH دستیابی زیستی کادمیوم را افزایش می‌دهد (سرور و همکاران، ۲۰۱۰). پژوهش‌های پژوهشگران بیانگر آن است که کارایی گیاه‌پالایی تحت تأثیر زیست‌فراهمی فلزات سنگین در خاک قرار دارد و باکتری‌ها می‌توانند فلزات سنگین را به‌صورت قابل جذب در اختیار ریشه قرار دهند (یان-د و همکاران، ۲۰۰۷). سنگ و زیا (۲۰۰۶) با

استفاده از زاد مایه باکتری‌های مقاوم به کادمیوم، رشد گیاه کلزا و جذب کادمیوم را بررسی نمودند. نتایج به دست آمده نشان داد کاربرد زاد مایه سبب افزایش رشد کلزا و بالا رفتن جذب کادمیوم گردید. در پژوهش دیگری در هند، گزارش شد که باکتری‌های جدا شده از خاک مربوط به جنس‌های ایترو باکتر و سودوموناس برای پالایش فاضلاب کارخانه‌ها از فلزات کادمیوم، روی، نیکل و سرب با موفقیت آزمایش شد (انصاری و مالیک، ۲۰۰۷). در بررسی سمیت کادمیوم در گیاه، تنها توجه به توزیع کادمیوم در بافت‌های گیاهی کافی نیست، بلکه تجمع کادمیوم در قسمتی از گیاه که توسط انسان و دام مصرف می‌شود، اهمیت بیشتری دارد که باید مورد توجه قرار گیرد بنابراین در گیاه شاهی غلظت کادمیوم در اندام هوایی که بخش خوراکی این گیاه است مورد بررسی قرار گرفت. از این رو هدف اصلی از این پژوهش، افزایش کارایی گیاه‌پالایی با بررسی تأثیر کود کمپوست، کود گاوی، کود اوره و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین (کادمیوم- کروم) بر قابلیت دسترسی کادمیوم و تجمع آن در اندام هوایی گیاه شاهی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، به صورت کشت گلدانی در قالب طراحی آزمایش‌ها به روش تاگوچی و با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۰ انجام شد. نمونه‌های خاک مورد استفاده در این طرح، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک‌های منطقه (از مزرعه دانشکده کشاورزی بیرجند) به طور تصادفی تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از نمونه‌برداری، pH عصاره اشباع خاک با استفاده از pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج (رودز، ۱۹۸۲)، میزان مواد آلی با استفاده از روش والکلی بلک (نلسون و سومر، ۱۹۸۶)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم نرمال در عصاره اشباع (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (کو، ۱۹۹۶)، نیتروژن کل خاک به روش کج‌لدال (برمر، ۱۹۹۶) و تعیین بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری (گی و بودر، ۱۹۸۶) انجام شد. خاک در دمای اتاق خشک شد و از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد (سیاری‌زهان و همکاران، ۲۰۰۹). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آمده است. از کادمیوم (۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با استفاده از نمک کلرید کادمیوم ($CdCl_2 \cdot H_2O$) و چهار تیمار شامل کود گاوی، کود کمپوست، کود اوره و تلقیح باکتری‌های خالص شده مقاوم به فلزات سنگین ($Cd-Cr$) در سه سطح (جدول ۳) استفاده شد. باکتری‌های خالص شده مقاوم به فلزات کادمیوم و

کروم پس از انجام مراحل جداسازی، خالص سازی و شناسایی در آزمایشگاه به خاک آلوده به کادمیوم اضافه شدند که خصوصیات آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است (جهانبخشی و همکاران، ۲۰۱۱). وزن خاک برای کاشت در هر گلدان، یک کیلوگرم در نظر گرفته شد. از گونه شاهی به منظور کاهش غلظت فلز کادمیوم استفاده شد (جهانبخشی، ۲۰۱۱) و آبیاری گلدان‌ها تا حد رطوبت ظرفیت مزرعه با استفاده از روش وزنی با آب مقطر انجام شد. بعد از سپری نمودن طول دوره رشد (حدود چهار هفته)، اندام‌های هوایی شاهی برداشت و با آب مقطر شستشو داده شد. نمونه‌ها، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا خشک شوند. سپس وزن خشک اندام‌های هوایی ثبت شد. اندام‌های هوایی، به وسیله هاون چینی کوبیده و آسیاب شد. به منظور هضم شیمیایی نمونه‌ها، از اسید نیتریک (HNO_3) ۶۵ درصد و اسیدپرکلریک (HClO_4) ۷۰ تا ۷۲ درصد به نسبت ۵ به ۱/۵ استفاده شد و نمونه‌ها روی حمام شن با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. حرارت دادن تا زمانی که رنگ نمونه‌ها زلال و شفاف شدند ادامه یافت (ابراهیم پور و مشرفا، ۲۰۰۸). پس از هضم، نمونه‌ها در هوای محیط قرار داده شدند تا سرد شوند (باناساوی و همکاران، ۲۰۰۹). سپس نمونه‌ها، با آب دو بار تقطیر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد و کاغذ صافی واتمن ۹۰ میلی‌متر صاف گردید سرانجام قرائت عصاره‌های آماده شده برای سنجش میزان فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی شعله انجام شد.

برای تهیه عصاره از فاز محلول خاک، خاک هر گلدان که تحت کشت شاهی قرار گرفته بود به‌طور کامل با هم مخلوط و یکنواخت گردید. سپس از همگن شدن خاک ۲۵۰ گرم از آن برداشته و در داخل استوانه مدرج ریخته شد که در انتهای استوانه مدرج یک منفذ تعبیه شده بود. برای تهیه عصاره محلول صاف و عاری از هر نوع ناخالصی در انتهای استوانه مدرج از کاغذ صافی واتمن ۹۰ میلی‌متر استفاده گردید. عصاره‌گیری فلز کادمیوم به کمک آب مقطر انجام پذیرفت. نمونه‌ها به محض آماده شدن در داخل یخچال نگهداری شدند، سپس سنجش میزان فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی صورت گرفت.

طراحی آزمایش‌ها: اولین قدم در روش تاگوچی، شناسایی فاکتور و یا متغیرهای مختلف است که دارای ویژگی یا ویژگی‌های برجسته‌ای می‌باشند. در این روش برای طراحی و اجرای آزمایش‌ها مجموعه‌ای از جداول را با عنوان آرایه متعامد تهیه کرده است. آرایه متعامد ماتریکسی با سطر و

ستون‌های منظم است که هر سطر بیانگر سطوح متغیرهای موجود در هر ردیف و هر ستون بیانگر سطوح خاص برای یک متغیر است. استفاده از این جدول‌ها، طراحی آزمایش‌ها را خیلی آسان و موثق می‌کند و به مشخص نمودن حداقل تعداد آزمایش‌ها کمک می‌کند.

نتایج

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از استفاده نمودن تیمارها در جدول ۱ آورده شده است. براساس نتایج به دست آمده از پژوهش‌های یان-د و همکاران (۲۰۰۷) مقاومت به چند فلز در باکتری‌ها دارای اثر بیشتری از مقاومت به یک فلز است به همین علت از باکتری‌های خالص شده مقاوم به کادمیوم و کروم استفاده شد. خصوصیات باکتری‌های خالص شده مقاوم به فلزات کادمیوم و کروم پس از انجام مراحل جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی در جدول ۲ درج شده است. همچنین کود کمپوست، کود گاوی و کود اوره از نظر دارا بودن کادمیوم مورد آزمون قرار گرفتند، نتایج به دست آمده، عدم وجود این عنصر را نشان داد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه
۷/۵	pH	لومی-شنی	کلاس بافت خاک
۰/۰۴	نیتروژن کل (درصد)	۱۲	درصد رس
۱۰	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۵۶	درصد شن
۲۵۰	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳۲	درصد سیلت
۰/۰۲	Cd در فاز محلول خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۴	درصد مواد آلی
۳/۲	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	۱۵	درصد ظرفیت زراعی

جدول ۲- مشخصات باکتری‌های خالص شده مقاوم به کروم و کادمیوم.

شماره میکروب	واکنش گرم	مرفولوژی	حالت کلونی	رنگ کلونی	اندازه کلونی
CC ₁	منفی	کوکوباسیل	نرم	سفید متمایل به کرم	نقطه‌ای
CC ₂	منفی	کوکوسی	نرم	سفید متمایل به کرم	نقطه‌ای
CC ₃	منفی	کوکوسی	نرم	سفید متمایل به کرم	نقطه‌ای
CC ₄	منفی	کوکوسی	نرم	سفید متمایل به کرم	نقطه‌ای
CC ₅	مثبت	کوکوباسیل	نرم	سفید متمایل به کرم	نقطه‌ای

شیرین جهانبخشی و همکاران

در این مطالعه، به منظور بالا بردن کارایی فرآیند گیاه‌پالایی (بهینه‌سازی) و افزایش قابلیت دسترسی کادمیوم، چهار متغیر کود گاوی، کود اوره، کود کمپوست و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین در سه سطح مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). چون چهار متغیر کود گاوی، کود اوره، کود کمپوست و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین در سه سطح آزمایش می‌شوند، بنابراین بهترین آرایه برای این منظور I_4 است (جدول ۴). در این آزمایش‌ها ترتیب انجام آزمایش‌ها به‌طور اتفاقی تعریف شده تا شرایط متفاوت بر نتیجه هر آزمایش مؤثر نباشد. لازم به ذکر است که برای هر آزمایش ۳ تکرار در نظر گرفته شد.

جدول ۳- متغیرها و سطوح تغییر آن‌ها برای یک کیلوگرم خاک آلوده.

متغیرها	سطح تغییر		
	۱	۲	۳
کود کمپوست	۱۰ (گرم)	۲۰ (گرم)	۴۰ (گرم)
باکتری‌های مقاوم	-	CC ₁ , CC ₂	CC ₃ , CC ₄ , CC ₅
کود اوره	۰/۵ (گرم)	۰/۱ (گرم)	۰/۱۵ (گرم)
کود گاوی	۱۰ (گرم)	۲۰ (گرم)	۴۰ (گرم)

جدول ۴- آرایه متعامد $I_4(3^4)$ برای فرآیند بهینه‌سازی گیاه‌پالایی خاک آلوده به کادمیوم.

شماره آزمایش	متغیرها و سطوح تغییر آن‌ها				پاسخ (فاز محلول خاک)	
	کود کمپوست	باکتری‌های مقاوم	کود اوره	کود گاوی	پاسخ (اندام هوایی) (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پاسخ (میلی‌گرم بر لیتر)
۱	۱	۱	۱	۱	۳۲۴/۳۴	۱۴/۸۶
۲	۱	۲	۲	۲	۳۳۰/۴۵	۱۵/۳
۳	۱	۳	۳	۳	۳۲۵/۲۵	۱۲/۶
۴	۲	۱	۲	۳	۳۴۵/۱۶	۱۳/۱۳
۵	۲	۲	۳	۱	۲۵۶	۲۰/۱۳
۶	۲	۳	۱	۲	۳۶۷/۴۵	۱۱/۷
۷	۳	۱	۳	۲	۳۲۹/۶	۱۶/۱۳
۸	۳	۲	۱	۳	۳۳۱/۹	۹/۴
۹	۳	۳	۲	۱	۳۱۳/۳۷	۱۸/۲

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۱) ۱۳۹۳

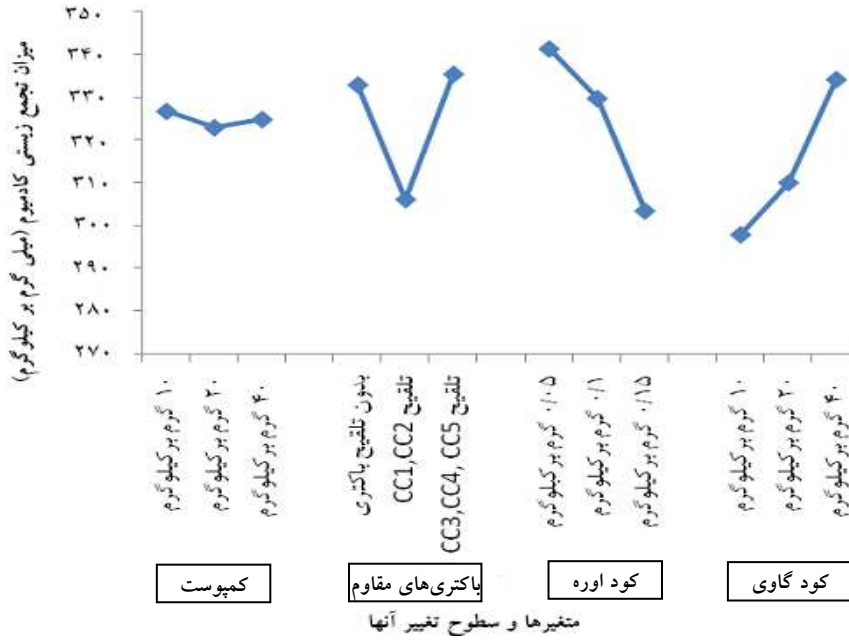
پس از انجام آزمایش‌ها مطابق آرایه متعامد، باید تجزیه و تحلیل نتایج انجام شود. تجزیه و تحلیل به منظور دستیابی به یک یا چند هدف انجام می‌شود. ۱- تعیین شرایط بهینه برای رسیدن به مقدار بهینه کیفیت هدف ۲- تخمین سهم هر یک از متغیرها و ۳- تخمین پاسخ در شرایط بهینه. پاسخ هر آزمایش با محاسبه میانگین پاسخ هر متغیر در هر سطح به دست می‌آید (جدول ۵ و ۶) و از روی آن نمودارهای خطی پاسخ رسم می‌گردد (نمودار شکل ۱ و ۲).

جدول ۵- میانگین پاسخ هر متغیر در سطوح مختلف در اندام هوایی شاهی میلی‌گرم بر کیلوگرم (جدول پاسخ).

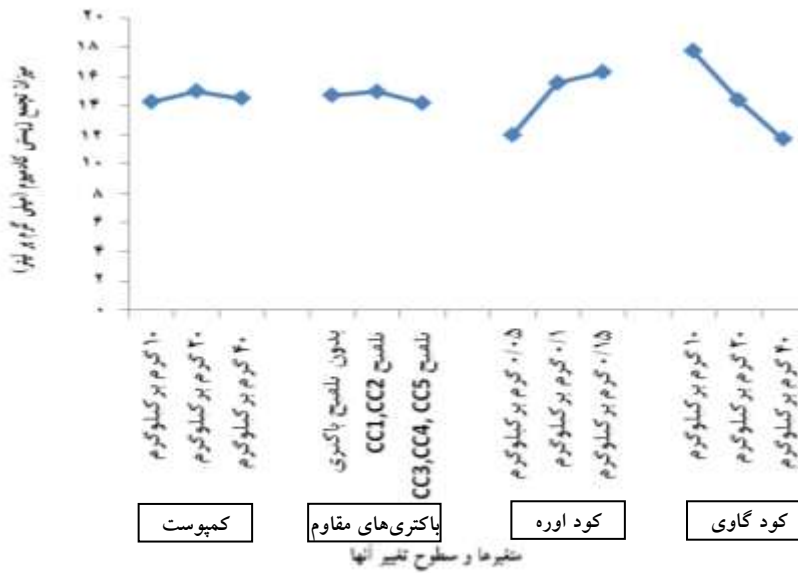
متغیر	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
کود کمپوست	۳۲۶/۶۸	۳۲۲/۸۷	۳۲۴/۷۷
باکتری‌های مقاوم	۳۳۲/۸۵	۳۰۶/۱۱	۳۳۵/۳۵
کود اوره	۳۴۱/۲۳	۳۲۹/۶۶	۳۰۳/۴۳
کود گاوی	۲۹۷/۹۰	۳۱۰	۳۳۴/۱۰

جدول ۶- میانگین پاسخ هر متغیر در سطوح مختلف فاز محلول خاک میلی‌گرم بر لیتر (جدول پاسخ).

متغیرها	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
کود کمپوست	۱۴/۲۵	۱۴/۹۸	۱۴/۵
باکتری‌های مقاوم	۱۴/۷۰	۱۴/۹۴	۱۴/۱۶
کود اوره	۱۱/۹۸	۱۵/۵۴	۱۶/۲۸
کود گاوی	۱۷/۷۳	۱۴/۳۷	۱۱/۷۱



شکل ۱- آثار اصلی متغیرها در تجمع زیستی کادمیوم در اندام هوایی شاهی (میلی گرم بر کیلوگرم).



شکل ۲- آثار اصلی متغیرها در فاز محلول خاک (میلی گرم بر لیتر).

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۱) ۱۳۹۳

در این پژوهش سطح بهینه سطحی است که بیشترین میزان را داشته باشد. با توجه به جدول پاسخ و نمودار پاسخ، سطح بهینه هر متغیر را می‌توان نتیجه گرفت. جدول ۷ و ۸ آنالیز واریانس نتایج به‌دست آمده را نشان می‌دهد. برای تعیین شرایط بهینه با توجه به نمودار تأثیر متغیرها و جدول ANOVA تمام متغیرها با تأثیر معنی‌دار در سطوحی انتخاب می‌شوند که متغیر پاسخ در بالاترین مقدار باشد. شرایط بهینه و مقدار غلظت کادمیوم در نقطه بهینه در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۷- آنالیز واریانس حاصل از فرآیند گیاه پالایی در اندام هوایی شاهی.

متغیرها	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	نسبت واریانس	جمع خالص مربعات	درصد سهم
	f	S	V	F	S'	P
کود کمپوست	۲	۲۱/۷۶	۱۰/۸۸	۰/۰۲	ناچیز	۰/۳۲
باکتری‌های مقاوم	۲	۱۵۷۶/۰۹	۷۸۸/۰۴	۱/۸۴	۷۰۵/۶۹	۲۱/۸۹
کود اوره	۲	۲۲۴۹/۸۶	۱۱۲۴/۹۳	۲/۵۸	۱۳۷۹/۴۶	۳۱/۲۵
کود گاوی	۲	۳۳۵۰/۷۹	۱۶۷۵/۳۹	۳/۸۴	۲۴۸۰/۳۹	۴۶/۵۴
خطا	۱۸	۰	۴۳۵/۲	۱	.....	۰
کل	۲۶	۷۱۹۸/۵	.....	.....	۳۴۸۱/۶	۱۰۰

جدول ۸- آنالیز واریانس حاصل از فرآیند گیاه پالایی در فاز محلول خاک.

متغیرها	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	نسبت واریانس	جمع خالص مربعات	درصد سهم
	f	S	V	F	S'	P
کود کمپوست	۲	۰/۸	۰/۴	۴۰	۰/۷۸	۰/۹۱
باکتری‌های مقاوم	۲	۰/۹۴	۰/۴۷	۴۷	۰/۹۲	۱/۰۷
کود اوره	۲	۳۱/۶۸	۱۵/۸۴	۱۵۸۴	۳۱/۶۶	۳۶
کود گاوی	۲	۵۴/۵۸	۲۷/۲۹	۲۷۲۹	۵۴/۵۶	۶۲/۰۱
خطا	۱۸	۰/۰۲	۰/۰۱	۱	.....	۰/۰۱
کل	۲۶	۸۸/۰۲	.....	.....	۰/۱	۱۰۰

شیرین جهانبخشی و همکاران

جدول ۹- شرایط بهینه و مقدار غلظت کادمیوم در نقطه بهینه (جدول پاسخ).

متغیرها	اندام هوایی شاهی میلی گرم بر کیلوگرم	
	سطح- میزان بهینه	میزان بهینه- سطح
کود کمپوست	۱-۳۲۶/۶۸	۲-۱۷/۹۸
باکتری‌های مقاوم	۳-۳۳۵/۳۵	۲-۱۴/۹۴
کود اوره	۱-۳۴۱/۲۳	۳-۱۶/۲۸
کود گاوی	۳-۳۳۴/۱۰	۱-۱۷/۷۳

نتایج به دست آمده از میزان غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک و اندام هوایی شاهی نشان داد که گیاه شاهی از پتانسیل خوبی برای جذب کادمیوم برخوردار است. به نحوی که با آلوده نمودن خاک به فلز کادمیوم میزان غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک و متعاقباً در اندام هوایی در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد. به همین ترتیب هنگامی که به خاک آلوده به کادمیوم کود گاوی، کود کمپوست، کود اوره و باکتری‌های مقاوم اضافه شد میزان غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک و اندام هوایی گیاه به طور قابل توجه و چشمگیری افزایش نشان داد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- روند تغییرات میزان غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک و اندام هوایی شاهی در بهینه ترین سطح.

شاهد	نمونه آلوده به کادمیوم		کود		کود	
	بدون کود و باکتری	باکتری	گاوی	اوره	کمپوست	کود
فاز محلول میلی گرم بر لیتر	۰/۰۲	۰/۰۹	۱۷/۷۳	۱۶/۲۸	۱۴/۹۸	۱۴/۹۴
اندام هوایی میلی گرم بر کیلوگرم	۳۰	۱۶۷/۳۳	۳۳۴/۱۰	۳۴۱/۲۳	۳۲۶/۶۸	۳۳۵/۳۵

بحث و نتیجه گیری

در جدول یک خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قبل از اضافه کردن کادمیوم و اعمال تیمارها درج شده است. نتایج تجزیه خاک نشان داد که خاک مورد نظر دارای بافت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مناسبی برای استفاده در کشت گلدانی گیاه شاهی بود.

از نمودار تأثیر متغیرها و جدول ANOVA می‌توان نتایج زیر را استنباط کرد:

نتایج به‌دست آمده از جدول ۵ و شکل ۱ نشان داده است که شرایط بهینه با این خصوصیت که هر چه کیفیت هدف بالاتر باشد بهتر است، کود کمپوست (۲)، کود گاوی (۱)، کود اوره (۳)، تلقیح باکتری‌های (CC_1, CC_2) می‌باشد. بنابراین ترکیب متغیرهای یاد شده شرایط بهینه را برای غلظت کادمیوم در اندام هوایی شاهی ارایه می‌دهد. با توجه به کارایی فرایند در شرایط بهینه ($Y_{opt}=371/27$) چون با شرایط بهینه یکی از آزمایش‌ها مطابقت ندارد پس باید با انجام آزمایش تأیید کننده ارزیابی شود زیرا در روش تاگوجی تعداد کمی از ترکیب‌های ممکن بین متغیرها آزمایش می‌شود.

نتایج به‌دست آمده از جدول ۶ و شکل ۲ نشان داد که ترکیب کود کمپوست (۱)، کود گاوی (۳)، کود اوره (۱)، تلقیح باکتری‌های (CC_3, CC_4, CC_5) بهترین پاسخ و در نتیجه شرایط بهینه را برای غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک می‌باشد. این شرایط، همان شرایط آزمایشی موجود در اجرای پنجم آرایه است. نتیجه به‌دست آمده از کارایی فرایند در شرایط بهینه ($Y_{opt}=13/20$) همان نتیجه‌ای است که در آزمایش پنجم به‌دست آمده است.

آخرین ستون در جدول ANOVA درصد سهم متغیرها را نشان می‌دهد. در این پژوهش با توجه به جدول ۸ سهم کود گاوی بالاترین سهم یعنی $67/54$ درصد، کود اوره، $31/25$ درصد، باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین $21/89$ درصد بوده و کود کمپوست نیز اهمیت چندانی را در بین متغیرهای مربوط به بهینه‌سازی غلظت کادمیوم در اندام هوایی شاهی نداشته است. بنابراین به ترتیب اهمیت می‌توان پارامترهای مؤثر بر فرایند گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به کادمیوم توسط گیاه شاهی را به‌صورت زیر خلاصه نمود.

کود کمپوست > باکتری‌های مقاوم > کود اوره > کود گاوی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول ۹ مشخص می‌شود، سهم کود گاوی بالاترین سهم یعنی $62/01$ درصد، کود اوره، 36 درصد، باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین و کود کمپوست سهم تقریباً یکسانی را در بین متغیرهای مربوط به بهینه‌سازی غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک داشته است که می‌توان این پارامترها را براساس میزان تأثیرگذاری و اهمیت به‌صورت زیر خلاصه نمود.

کود کمپوست = باکتری‌های مقاوم > کود اوره > کود گاوی

میزان غلظت کادمیوم در اندام هوایی شاهی با کاهش سطح کمپوست و کود اوره و با افزایش سطح کود گاوی و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین افزایش نشان داد.

میزان غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک با افزایش سطح اوره، کاهش سطح کود گاوی و سطوح میانه کود کمپوست و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین افزایش نشان داد.

با توجه به شرایط بهینه و مقدار غلظت کادمیوم در نقطه بهینه (جدول ۹) چهار متغیر مذکور به‌میزان نزدیک و متشابهی غلظت کادمیوم در اندام هوایی و فاز محلول خاک را افزایش داده‌اند. عوامل مختلفی بر غلظت کادمیوم در گیاه تأثیر دارند، از جمله این عوامل می‌توان به غلظت کادمیوم در خاک و کودهای آلی، پاسخ خاک، نوع گیاه، شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اشاره کرد. اگر غلظت کادمیوم خاک افزایش یابد، احتمال آلودگی زنجیره غذایی به این عنصر وجود دارد (لی و همکاران، ۲۰۰۹).

در اغلب اوقات نشان داده شده که اضافه نمودن اصلاح‌کننده‌های آلی به خاک ظرفیت تبادل کاتیونی را افزایش می‌دهد. بنابراین باعث جذب فلزات یا شبه فلزات می‌شود (بلان و همکاران، ۲۰۱۰). دلکاستیو و همکاران (۱۹۹۳) ملاحظه کردند که حلالیت روی و کادمیوم، در خاک لومی تیمار شده با کود حیوانی، تا حدود ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد. آن‌ها دلیل افزایش حلالیت و جذب عناصر سنگین را به کاهش pH خاک در اثر نیترات‌سازی، افزایش قدرت یونی و مواد آلی محلول ذکر کردند. از طرفی ایجاد کمپلکس فلزات مذکور با مواد آلی را می‌توان از دیگر دلایل دانست که همین امر می‌تواند دلیلی بر افزایش توان جذب نیز باشد که نتایج این بررسی با این پژوهش مطابقت دارد.

به‌کار بردن کودهای طبیعی (کمپوست و ورمی کمپوست) در خاک‌ها به افزایش تحرک فلزات از طریق تشکیل کمپلکس‌های محلول فلز- مواد آلی کمک می‌کند. تجمع فلزات سنگین در اندام‌های هوایی گیاهان، به مقدار قابل جذب آن‌ها در خاک بستگی دارد (میرلز و همکاران، ۲۰۰۴).

کاوه و همکاران (۲۰۱۱) اثر کمپوست و کود گاوی را بر مقدار سرب موجود در اندام هوایی رزماری مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که غلظت سرب در گیاه با افزایش سطح کود، روند افزایشی می‌گیرد که نتایج این بررسی با این پژوهش مطابقت دارد.

افزایش کارایی استخراج و تثبیت گیاهی فلزات سنگین توسط باکتری‌ها در مطالعات متعدد گزارش شده است (هی و همکاران، ۲۰۰۹). مکانیسم‌هایی که میکروارگانیسم بر روی فلزات سنگین انجام می‌دهند شامل جذب زیستی (جذب فلز توسط سطح سلول به کمک مکانیسم‌های فیزیکوشیمیایی)،

تصفیه زیستی (تحرك فلزات سنگین از طریق ترشح اسیدهای آلی یا واکنش‌های متیلاسیون)، معدنی کردن زیستی (عدم تحرك فلزات سنگین از طریق تشکیل سولفیدهای غیرمحلول یا ترکیبات پلیمر)، تجمع درون سلولی و انتقال آنزیم کاتالاز (واکنش‌های اکسیداسیون) می‌باشد (لیود، ۲۰۰۲). میکروارگانیسم‌های خاک بر روی تحرك فلزات سنگین و دستیابی زیستی آن‌ها در گیاهان تأثیر می‌گذارند به‌عنوان مثال در حضور باکتری‌های ریزوسفری جذب نیکل در *Alyssum murale* افزایش نشان داد (ابو- شهاب و همکاران، ۲۰۰۳).

مکانیسم‌های غیرمستقیم ریزو باکتريا شامل جلوگیری از فعالیت پاتوژن‌های گیاهی است که از رشد و نمو گیاه ممانعت به‌عمل می‌آورند. در حالی که مکانیسم‌های مستقیم شامل تثبیت نیتروژن، سنتز سیدروفور که باعث محلول شدن و یا جدا شدن آهن از خاک می‌شود، تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها که باعث افزایش رشد گیاه می‌شود و حل کردن مواد معدنی نظیر فسفات‌ها می‌باشند (یان- د و همکاران، ۲۰۰۷). ریزوسفر واسطه مهمی برای خاک و گیاه است و نقش مهمی در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین دارد. جمعیت‌های میکروبی موجود در ریزوسفر بر تحرك و دستیابی زیستی فلزات سنگین به گیاهان از طریق انتشار عوامل کلات کننده، اسیدی کردن، حل کردن فسفات‌ها و تغییر در اکسیداسیون تأثیر می‌گذارد بنابراین پتانسیل فرآیند گیاه‌پالایی را افزایش می‌دهند (نایس و همکاران، ۲۰۱۱).

بیکر و بروکس (۱۹۸۹) بیان کردند که در گیاهان بیش تجمع‌دهنده، غلظت فلز کادمیوم در اندام‌های هوایی باید بیشتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک باشد. بنابراین براساس نتایج جدول ۵ گیاه شاهی از نظر تجمع کادمیوم در اندام هوایی جز گیاهان بیش تجمع‌دهنده می‌باشد و به‌عنوان گیاهی که پتانسیل مناسبی در حذف کادمیوم از محیط دارد معرفی می‌گردد. لذا براساس این نتایج می‌توان دریافت که گونه شاهی در جذب کادمیوم موجود در خاک می‌تواند فعال باشد و در کاهش غلظت این عنصر در خاک مثمرالثرم واقع شود. بر این اساس در مناطقی که هدف از کاشت شاهی مصرف خوراکی آن است بایستی به توان جذب بالای کادمیوم در بافت این گیاه توجه ویژه گردد.

منابع

1. Abou-Shanab, R.A., Angle, J.S., Delorme, T.A., Chaney, R.L., Van Berkum, P., Moawad, H., Ghanem, K., and Ghazlan, H.A. 2003. Rhizobacterial effects on nickel extraction from soil and uptake by *Alyssum murale*. *J. New Phytologist*. 158: 1.219–224.
2. Abusharer, T.M. 1996. Modification of hydraulic properties of a semiarid soil in relation to seasonal application of sewage sludge and electrolyte producing compounds. *J. Soil Technology*. 9: 1-13.
3. Ansari, M.I., and Malik, A. 2007. Biosorption of nickel and cadmium by metal resistant bacterial isolates from agricultural soil irrigated with industrial wastewater. *J. Bioresource Technology*. 98: 3149-3153.
4. Assadi Habib, M., Alavi Moghaddam, S.M.R., Arami, M., and Hashemi, S.H. 2011. Optimization of electric coagulation process to removal of chromium (VI) with Taguchi method. *Isfahan, J. Water and Wastewater*. 4: 2-8.
5. Bahnasawy, M., Khidr, A.A., and Dheina, N. 2009. Seasonal Variations of Heavy Metals Concentrations in Mullet, *Mugil Cephalus* and *Liza Ramada* (Mugilidae) from Lake Manzala, Egypt. *J. Applied Sciences Research*. 5: 7.845-852.
6. Baker, A.J.M., and Brooks, R.R. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements and review of their distribution, Ecology and Phytochemistry. *J. Biorecovery*. 1: 81-126.
7. Bolan, N., Navid, R., Choppala, G., Park, J., Mora, M.L., Budianta, D., and Panneerselvam, P. 2010. Solute interactions in soils in relation to the bioavailability and environmental remediation of heavy metals and metalloids. *J. Pedologist*. 53: 1-18.
8. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. P. 1085-1122. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
9. Cala, V., Cases, M.A., and Walter, I. 2005. Biomass production and heavy metal content of *Rosmarinus officinalis* grown on organic waste amended soil. *J. Arid Environments*. 62: 401-412.
10. Del Castilho, P., Chardon, W.J., and Salomons, W. 1993. Influence Of cattle-manure slurry application on Solubility Of Cd, Cu and Zn in a manured acidic soil, loamy-sand soil. *J. Environmental Quality*. 11: 413-431.
11. Ebrahimpour, M., and Mushrifah, I. 2008. Heavy metal concentrations (Cd, Cu and Pb) in five aquatic plant species in Tasik Chini, Malaysia. *J. Environmental Geology*. 54: 689-698.
12. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. In Klute (Editor) Methods of soil analysis Part 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison, WI. Pp: 383-409.
13. He, L.Y., Chen, Z.J., Ren, G.D., Zhang, Y.F., Qian, M., and Sheng, X.F. 2009. Increased Cadmium and lead uptake of a cadmium hyperaccumulator tomato by cadmium-resistant bacteria. *J. Ecotoxicology and Environmental Safety*. 72: 5.1343-1348.

14. Jahanbakhshi, Sh. 2011. Evaluation of phytoremediation of heavy metal in contaminated soil by *Spinacia Oleracea* and *Lepidium Sativum*. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Birjand University. Iran.
15. Jahanbakhshi, Sh., Rezaei, M.R., and Sayyari-Zohan, M.H. 2011. Isolation and identity of resistant microorganisms to heavy metals in order to improvement of Phytoremediation process. first congress of monitoring technologies in environment. Tehran, Iran.
16. Kamnev, A.A., and Van Der Lelie, D. 2000. Chemical and Biological Parameters as Tools to Evaluate and Improve Heavy Metal Phytoremediation. J. Plenum Publishing Corporation. 20: 239-258.
17. Kaveh, S., Fekri, M., Mahmoodabadi, M., and Boromand, N. 2011. Evolution the effect of different amounts of municipal solid waste, compost and cow manure on a dry weight and heavy metals in (*Rosmarinus Officinalis L.*). Shahrekord, J. Plant Protection. 11-18.
18. Khadivi Borougeny, A. 2007. Effect of organic fertilizers on the chemical forms of heavy metals in the soil and absorption of them by wheat. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Isfahan University. Iran.
19. Khodaverdiloo, H., and Samadi, A. 2011. Batch equilibrium study on sorption, desorption, and immobilization of cadmium in some semiarid-zone soils as affected by soil properties. J. Soil Research. 49: 5.444-454.
20. Khosla, A., Kumar, S., and Aggarwalk, K. 2006. Identification of strategy parameters for particle swarm optimizer through Taguchi method, J. Zhejiang University Science. 7: 12.1989-1994.
21. Kuo, S. 1996. Phosphorus. P. 869-920. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
22. Li, N.Y., Li, Z.A., Zhuang, P., Zou, B., and Mc Bride, M. 2009. Cadmium uptake from soil by maize whit intercrops. J. Water, Air and Soil Pollution. 199: 45-56.
23. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America J. 42: 421-428.
24. Lloyd, J.R. 2002. Bioremediation of metals: The application of microorganisms that make and break minerals. J. Microbiology Today. 29: 67-69.
25. Mireles, A., Soils, C., Andrade, E., Lagunas-Solar, M., Pia, C., and Flocchini, R.G. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico City. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 219-200: 187-190.
26. Mola, D., and Taheri Abhari, E. 2004. Study the feasibility of biological treatment in situ technique to reduce contaminated lands of Shiraz refinery using the Taguchi method. The first conference of prevention the loss of national resources. Tehran, Iran.

27. Naees, M., Qurban, A., Shahbaz, M., and Fawad, A. 2011. Role of rhizobacteria in phytoremediation of heavy metals: An overview. *International Research. J. Plant Science*. 2: 8.220-232.
28. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: A.L. Page et al (Editor). *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. *Agron. Monogr*. 9. ASA. Madison, WI. Pp: 539-577.
29. Rahmanian, M., Khodaverdiloo, H., Rezaei Danesh, Y., and Rasouli Sadaghiani, M. 2011. Effects of heavy metal resistant soil microbes inoculation and soil Cd concentration on growth and metal uptake of millet, couch grass and alfalfa. *J. Microbiology Research*. 5: 4.403-410.
30. Razavi Toosi, A. 2000. Interaction effects of compost, compost leachate and Mn on growth and chemical composition of spinach and rice seedling. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Shiraz University. Iran.
31. Rezaei, M.R., Abdoli, M.A., Karbasy, A.R., and Baghvand, A. 2009. Optimization of bioremediation of 2, 4, 6 Trinitrotoluene (TNT) from contaminated soil in lab-scale with Taguchi statistical method. Third specialty conference of environmental engineering. Tehran, Iran.
32. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. In: A.L. Page (Editor). *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. *Agron. monogr*. 9. ASA and SSSA. Madison, WI. Pp: 167-179.
33. Salehin, H., and Shah Hosseini, S.H. 2005. Optimization of conditions and Medium of *Xanthomonas Mpstrys* bacteria. Fourth national biotechnology congress islamic republic of Iran. Kerman, Iran.
34. Sarwar, N., Saifullah Malhi, S.S., Zia, M.H., Naeem, A., Bibi, S., and Farid, G. 2010. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. *J. The Science of Food and Agriculture*. 90: 925-937.
35. Saurbeck, D.R. 1991. Uptake and Availability of Heavy Metals. *J. Water, Air and Soil pollution*. 57-58: 227-237.
36. Sayyari-Zahan, M.H., Sadana, U.S., Steingrobe, B., and Claassen, N. 2009. Manganese efficiency and manganese-uptake kinetics of raya (*Brassica juncea*), wheat (*Triticum aestivum*), and oat (*Avena sativa*) grown in nutrient solution and soil. *J. Plant Nutrition and Soil Science*. 172: 425-434.
37. Sharifi, M., Afuni, M., and Khoshgoftarmannesh, A.M. 2010. Effect of cow manure, sewage sludge and cadmium chloride on uptake of cadmium in shoots of maize. *Isfahan, J. Water and Wastewater*. 4: 98-103.
38. Sheng, X.F., and Xia, J.J. 2006. Improvement of rape (*Brassica Napus*) plant growth and cadmium uptake by cadmium-resistant bacteria. *J. Chemosphere*. 64: 1036-1042.
39. Tallinn, D., and Rosselot, K.S. 1997. *Pollution Prevention for Chemical Processes*- John Wiley and Sons. Pp: 258 -277.
40. Yan-de, J., Zhen-li, H., and Xiao, Y. 2007. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *J. Zhejiang University Science*. 8: 3.192-207.



Comparison of the efficiency of some parameters in increasing of cadmium availability to improve phytoremediation process in *Lepidum Sativum*

***Sh. Jahanbakhshi¹, M.R. Rezaei² and M.H. Sayyari Zahan³**

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Environmental, University of Birjand,

²Assistant Prof., Dept. of Environmental, University of Birjand,

³Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Birjand

Received: 08/05/2012 ; Accepted: 05/21/2013

Abstract

Phytoremediation is one the methods to decontaminate soil which uses green plants to remove of soil pollutants. Low availability of soil heavy metals limits plant efficiency for phytoremediation. Therefore, in order to increase the availability of cadmium (Cd) by *Lepidum Sativum*, an experiment was conducted in four variables including: cow manure, compost, urea fertilizer and resistant bacteria into heavy metals with three different levels in soils which is contaminated with cadmium using 50 mg kg⁻¹ as cadmium chloride (CdCl₂.H₂O). Cadmium concentration was analyzed by Atomic absorption and Taguchi method has been used in this experiment. Results showed that cow manure, urea fertilizer, Cd- resistant bacteria and compost in the order of importance had a significant effect on the cadmium shoot concentration of *Lepidum Sativum* and Cd soil solution concentration as well. Also results indicated that optimum Cd uptake by the shoots was observed in treatments of 40 g kg⁻¹ of cow manure, 0.05 g kg⁻¹ of urea fertilizer, inoculates of three types of bacteria (CC₃, CC₄, CC₅) and 10 g kg⁻¹ of compost fertilizer and in the soil solution resulted to: 10 g kg⁻¹ of cow manure, 0.15g kg⁻¹ of urea fertilizer, inoculates of two types of bacteria (CC₁, CC₂) and 20 g kg⁻¹ of compost fertilizer. So, according to the results, cow manure had the most contribution to increase phytoremediation efficiency in *Lepidum Sativum*.

Keywords: Cadmium, Phytoremediation, Resistant Bacteria, Taguchi method

* Corresponding Authors; Email: jahanbakhshish@yahoo.com