دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره دوم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۴
http://arpe.gonbad.ac.ir

بررسی تأثیر قارچ تریکودرما و نیترات کادمیوم بر قابلیت جذب، انتقال و تجمع کادمیوم در گندم (*Triticum aestivum* L.)

فاطمه تقوی قاسمخیلی[۱]، همت‌اله پیردشتی[۲]*، محمدعلی تاجیک قنبری[۳]، محمدعلی بهمنیار [۴]

[۱]دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
[۲]دانشیار، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
[۳]استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
[۴]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر *Trichoderma harzianum* بر قابلیت جذب کادمیوم در گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو سطح تلقیح و عدم تلقیح قارچ و چهار سطح نیترات کادمیوم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم، حضور تریکودرما تجمع کادمیوم در اندام هوایی و ضریب انتقال را به‌ترتیب ۳۰ و ۲۳ درصد کاهش داد. در تیمار عدم حضور تریکودرما، افزایش کادمیوم تا غلظت حدود ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش فاکتور انتقال از ۱/۲۹ تا ۰/۵۲ درصد شد و غلظت‌های بالاتر افزایش آن را به‌همراه داشت. با این وجود، در حضور تریکودرما با افزایش غلظت کادمیوم، فاکتور انتقال از روند کاهشی برخوردار بود. در مجموع، به‌نظر می‌رسد کاربرد قارچ تریکودرما در غلظت‌های متوسط تا بالای نیترات کادمیوم موجب تجمع کادمیوم در ریشه و کاهش انتقال آن از ریشه به اندام هوایی گیاه گندم گردد.

***واژه‌های کلیدی*: شاخص جذب، ضریب انتقال، فاکتور انتقال، قارچ تریکودرما**

*نویسنده مسئول: h.pirdashti@sanru.ac.ir

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

مقدمه

آلودگی خاک با فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، کارخانجات و تجمع آن‌ها در زنجیره غذایی یکی از معضلات زیست‌محیطی و بهداشتی جوامع بشری است (Naderi and Danesh Shahraki, 2012; Mojiri, 2011; Khosravi *et al.*, 2009). امروزه انتقال این عناصر از خاک و تجمع آن در گیاه مورد توجه قرار گرفته و در این میان، کادمیوم به‌دلیل تحرک و پویایی زیاد در خاک، نیمه عمر بیولوژیکی حدود ۲۰ سال، سمیت قابل توجه و هم‌چنین سهولت جذب و تجمع در گیاه از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد (Mojiri, 2011; Kuklova *et al.*, 2010; Khosravi *et al.*, 2009). در سال‌های آتی با توجه به روند رو به رشد آلودگی‌های زیست‌محیطی، سطح زمین‌های قابل کشت رو به کاهش بوده و از آنجا که قوانین زیست‌محیطی، تولید مواد غذایی در زمین‌های آلوده را محدود می‌کند لذا، پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله کادمیوم برای بهره‌گیری پایدار از زمین‌های کشاورزی امری ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد (Lorestani and Astani, 2012; Khosravi *et al.*, 2009).

اخیراً روش‌های بسیاری جهت پاک‌سازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین گسترش یافته‌اند. زیست‌پالایی از جمله روش‌هایی است که در آن از پتانسیل ریزموجوداتی همچون جلبک‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و باکتری‌ها به‌عنوان جاذب‌های زیستی برای حذف و جذب فلزات سنگین استفاده می‌شود (Sun *et al.*, 2010; Sarkar *et al.*, 2010; Sivasamy and Sundarabal, 2010). گزارش‌هایی نیز در رابطه با جذب زیستی عناصری همچون مس، کروم و کادمیوم توسط این میکروارگانیسم‌ها وجود دارد (Sivasamy and Sundarabal, 2010; Yien Ting and Choong, 2009; Vankar and Bajpai, 2008). در سال‌های اخیر فرآیند جذب زیستی با استفاده از قارچ‌های رشته‌ای به‌خاطر آسانی کشت و عدم بیماری‌زایی برای انسان و حیوانات به‌کار رفته است (Kavamura and Esposito, 2010). در این میان، گونه‌های تریکودرما (*Trichoderma* spp.) که به‌طور معمول در همه خاک‌ها حضور دارند و جزء متداول‌ترین قارچ‌های قابل کشت هستند از اهمیت خاصی برخوردارند (Sun *et al.*, 2010; Kaewchai *et al.*, 2009). مطالعه‌ای در این زمینه نشان داد که تریکودرما از مقاوم‌ترین قارچ‌ها در برابر عناصر سنگین به‌ویژه کادمیوم بوده و دارای ظرفیت بالایی در جذب این عنصر می‌باشد (Levinskaite, 2001). پژوهش‌هایی در این زمینه نشان داده است که تلقیح گیاه با برخی از گونه‌های تریکودرما می‌تواند ضمن تجزیه زیستی آلاینده‌ها و بهبود حاصلخیزی خاک، شرایط را برای پالایش خاک‌هایی با آلودگی‌های متعدد فراهم آورد (Cao *et al.*, 2008; Anand *et al.*, 2006; Wang and Zhou, 2005). بررسی‌های انجام شده نشان داد که این میکروارگانیسم‌ها توانایی حذف فلزات سنگین را دارند و نسبت به روش‌های قدیمی (روش‌های فیزیکی و شیمیایی) ارزان‌تر و کارآمدتر

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

هستند (Sun *et al.*, 2010; Vankar and Bajpai, 2008) به‌طوری‌که در پژوهشی گزارش شده‌که گونه‌های تریکودرما می‌توانند به‌عنوان جاذب زیستی برای جذب و حذف عناصر سنگینی همچون مس مورد استفاده قرار گیرند و جایگزین جاذب‌های باکتریایی شوند. هم‌چنین بیان شده که ساختار پلی‌ساکاریدی این قارچها تأثیر زیادی در جذب فلزات سنگین دارد به‌طوری‌که با گذشت زمان، میزان تجمع فلز توسط تریکودرما افزایش یافته است (Yien Ting and Choong, 2009). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که گونه‌های قارچی تریکودرما، توانایی همزیستی غیربیماری‌زایی با گیاه را دارند و قادر به جذب عناصر سنگین هستند. به‌گونه‌ای که *T. atroviride* باعث افزایش جذب کادمیوم توسط گیاه خردل و کلزا شده، مقاومت و تحمل گیاه را در خاک آلوده به کادمیوم افزایش داد (Wang *et al.*, 2009). از *T. viride* می‌توان به‌عنوان جاذب زیستی برای حذف و کاهش غلظت کروم در محیط آلوده استفاده کرد (Bishnoi *et al.*, 2007). گونه *harzianum* به‌دلیل رشد سریع، قدرت تکثیر بالا، تحمل به شرایط نامطلوب، توانایی رشد و کلونی شدن در ارتباط با ریشه گیاه و القای رشد گیاه به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است (Kaewchai *et al.*, 2009). بنابراین، بعضی از گونه‌های تریکودرما توانایی پاک‌سازی محیط آلوده را داشته و می‌توانند به‌عنوان یکی از منابع میکروارگانیسمی برای پاک‌سازی شیمیایی فلزات سنگین موجود در محیط به‌کار روند (Wang and Zhou, 2005). پژوهشی در این زمینه نشان داد که حضور میکروارگانیسم‌ها، نقش مهمی در افزایش قابلیت دسترسی و جذب عناصر سنگین توسط گیاه را دارد (Cao *et al.*, 2008). علاوه بر این، گونه‌های گیاهی خاصی که غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین را در خود ذخیره می‌کنند دارای توانایی احیای مجدد محیط زیست می‌باشند (Naderi and Danesh Shahraki, 2012). به‌طوری‌که سرعت زیست پالایی متناسب با سرعت رشد گیاه و زیست‌توده کل گیاه است (Naderi and Danesh Shahraki, 2012). در اراضی کشاورزی آلوده به فلزات سنگین، انتخاب گیاهان زراعی متحمل به فلزات سنگین، جهت برداشت آلاینده‌ها از خاک می‌تواند یک راهکار جدید برای مدیریت اراضی زراعی باشد (Lotfolahi and Hoodji, 2011). با توجه به گسترش آلودگی‌های زیست‌محیطی در کشور، پالایش خاک‌های آلوده به عناصر سنگین امری ضروری جهت تولید پایدار، سلامت و امنیت غذایی به‌شمار می‌رود، لذا، به‌نظر می‌رسد با استفاده هم‌زمان از عوامل قارچی و گیاهی می‌توان راه حلی مناسب جهت رشد و ترقی در این زمینه در آینده ارائه کرد (Khosravi *et al.*, 2009; Vafadar and Zare Mayvan, 2006). با توجه به مشکل آلودگی خاک به کادمیوم، سطح زیر کشت گیاه گندم و توانایی ریزموجوداتی همچون قارچ تریکودرما به‌عنوان عوامل زیستی در جذب عناصر سنگین از خاک، این پژوهش با هدف بررسی توانایی قارچ تریکودرما در جذب و انتقال کادمیوم در گیاه گندم طراحی و اجرا شد.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز سال ۱۳۸۹ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل نیترات کادمیوم[1] در چهار سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار قارچ تریکودرما با دو سطح تلقیح و عدم تلقیح بودند. سویه *T. harzianum* از مجموعه قارچ‌های زنده آزمایشگاه قارچ‌شناسی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه گردید. برای شروع آزمایش، ابتدا در محیط کشت PDA (عصاره سیب‌زمینی، دکستروز و آگار) به‌مدت یک هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سویه مزبور تکثیر و پس از پنج روز اسپورزایی به محیط کشت سبوس گندم استریل شده (به‌مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو) منتقل گردید (Yazdani *et al.*, 2008). قبل از انجام آزمایش، خاک مورد استفاده با فرمالین پنج درصد ضدعفونی و به‌مدت ۱۰ روز هوادهی شد (Harender and Sharma, 2009). سپس مقدار ۵۰ گرم از محیط کشت سبوس و اسپورهای تریکودرما (به‌تعداد 10^8 واحد کلونی‌ساز در هر گرم) به خاک هر گلدان ده کیلوگرمی (به ارتفاع ۳۰ با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر) افزوده و کاملاً با آن مخلوط گردید (Yazdani *et al.*, 2008). قبل از انجام آزمایش، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم نمونه خاک مورد استفاده تعیین شد (جدول ۱). در هر گلدان ۲۰ عدد بذر گندم (رقم مروارید) کشت گردید و پس از جوانه‌زنی به شش بوته کاهش یافت. بر اساس نتایج تجزیه خاک معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در سه نوبت (کاشت، اوایل پنجه‌زنی و اوایل ساقه‌دهی) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل (در مرحله کاشت) استفاده شد. محلول نیترات کادمیوم همراه آب آبیاری در اوایل دوره رشد به خاک اضافه گردید. در طول دوره رشد، رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه (۳۱/۶ درصد) به روش توزین حفظ شد. بوته‌ها پس از رسیدگی فیزیولوژیک، برداشت و سپس ریشه از سایر قسمت‌های گیاه تفکیک شد. اندازه‌گیری غلظت کادمیوم موجود در ریشه و اندام هوایی گیاه به روش هضم مرطوب (Wet digesting) (Page *et al.*, 1982) توسط دستگاه جذب اتمی (مدل Varian Spectra AA-10) قرائت و فرم قابل جذب آن محاسبه شد. در این پژوهش، پارامترهایی همچون فاکتور جذب زیستی ریشه (رابطه ۱)، فاکتور انتقال (رابطه ۲)، ضریب انتقال (رابطه ۳) و شاخص جذب (رابطه ۴) به‌عنوان یک معیار نسبی برای تعیین پتانسیل پالایش عناصر فلزی در خاک (Karimi *et al.*, 2012) و توانایی گیاه برای تحمل و تجمع فلزات

1. Cd (NO3)2.4H2O, Scharlau, Spain

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

سنگین در اندام‌های خود (Rafati *et al.*, 2013; Karimi *et al.*, 2012; Nazir *et al.*, 2011) محاسبه شدند.

آزمون نرمال بودن داده‌ها به‌روش کولموگروف – اسمیرنوف با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام گرفت. تجزیه واریانس استاندارد داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. در سطوح نیترات کادمیوم نیز از تجزیه رگرسیونی و برازش معادله درجه ۱ و ۲ استفاده گردید. ترسیم منحنی‌ها در نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

رابطه ۱ $$\text{فاکتور جذب زیستی ریشه} = \frac{\text{غلظت فلز در ریشه}}{\text{غلظت فلز در خاک}}$$ (Nazir *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2008)

رابطه ۲ $$\text{فاکتور انتقال} = \frac{\text{غلظت فلز در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز در ریشه}}$$ (Sun *et al.*, 2008)

رابطه ۳ $$\text{ضریب انتقال} = \frac{\text{غلظت فلز در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز در خاک}}$$ (Rafati *et al.*, 2013; Karimi *et al.*, 2012)

رابطه ۴ ماده خشک تولیدی × غلظت عنصر در اندام هوایی = شاخص جذب (Karimi *et al.*, 2012)

جدول ۱- نتایج تجزیه نمونه خاک اولیه قبل از اجرای آزمایش

بافت خاک	شن	رس	سیلت	نیتروژن	ماده آلی	فسفر	پتاسیم	کادمیوم	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
	درصد					قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
رسی‌لومی	۹/۶	۴۷/۴	۴۳	۰/۰۷	۱/۳۰	۵/۹۶	۱۳۰	۰/۲۲	۷/۶۵	۲/۴۸

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تریکودرما تنها بر شاخص جذب اثر معنی‌داری داشت در حالی‌که بین سطوح مختلف نیترات کادمیوم از نظر تمامی صفات مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) به‌دست آمد. بین تلقیح تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم در میزان غلظت کادمیوم در اندام هوایی، فاکتور انتقال، ضریب انتقال و شاخص جذب برهم‌کنش معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۲).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

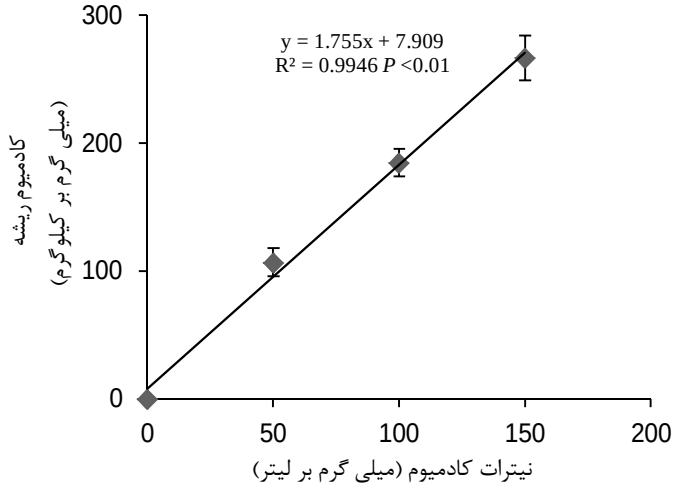
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نیترات کادمیوم و تریکودرما بر صفات مرتبط با جذب کادمیوم در گندم

منبع تغییرات	درجه آزادی	تجمع کادمیوم در ریشه	تجمع کادمیوم در اندام هوایی	فاکتور جذب زیستی	فاکتور انتقال	ضریب انتقال	شاخص جذب
تریکودرما (A)	۱	۱۲۶/۲^{ns}	۰/۰۲۶^{ns}	۰/۱۱۶^{ns}	۰/۰۴۵^{ns}	۰/۷۵۰^{ns}	۱۸/۵۹**
نیترات کادمیوم (B)	۳	۷۷۴۱۳**	۵۱۲۹۶**	۱۶/۲۳**	۰/۲۷۶**	۶/۰۶۴**	۳۷/۵۳**
A×B	۳	۱۹۳۶^{ns}	۴۹۳۱**	۱/۵۱۴^{ns}	۰/۳۱۰**	۱/۴۶۱**	۴/۰۱۵**
خطای آزمایش	۱۶	۶۵۸/۳	۱۳۲/۷	۰/۶۴۵	۰/۰۱۵	۰/۲۴۳	۰/۱۶۵
ضریب‌تغییرات(درصد)		۱۸/۳۸	۱۰/۶۳	۲۲/۶۵	۱۳/۶۶	۱۷/۳۷	۱۳/۱۴

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود تفاوت معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

نتایج تجزیه رگرسیون اثر سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر تجمع کادمیوم در ریشه (شکل ۱) نشان داد که عکس‌العمل این صفت به افزایش غلظت نیترات کادمیوم از یک رابطه خطی (R^2=۰/۹۹) تبعیت کرده است، بدین معنی که به‌ازای هر واحد افزایش نیترات کادمیوم با شیب ۱/۷۵ تجمع کادمیوم در ریشه افزایش نشان داد و بیش‌ترین میزان تجمع کادمیوم در ریشه در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. در این زمینه، در مطالعه‌ای که بر روی گیاه گوجه‌فرنگی انجام شد نشان داد که غلظت کادمیوم در ریشه نسبت به اندام هوایی بیش‌تر بود. این موضوع، نشان‌دهنده جذب و ذخیره‌سازی بیش‌تر این عنصر توسط ریشه در شرایط آلودگی به نیترات کادمیوم بود و علت آن سهولت جذب ترکیبات نیتراته و در نتیجه سازگاری گیاهان با این ترکیبات به‌عنوان یکی از منابع اصلی تأمین نیتروژن بیان شد (Eshghi Malayeri, 2005). هم‌چنین، در بررسی دیگری در گیاه یونجه گزارش شد که بین جذب کادمیوم و غلظت آن در خاک ارتباط مثبتی وجود دارد بدین معنی که جذب کادمیوم توسط ریشه با افزایش غلظت آن در خاک (از صفر تا غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر) افزایش یافت (Mohammadi *et al.*, 2011). نتایج مشابهی نیز در گیاه برنج (Bahmanyar, 2008)، ذرت (Kurtyka *et al.*, 2008)، خیار (Abu Murefah, 2008) و درخت سپیدار (Nikolic *et al.*, 2008) گزارش شد.

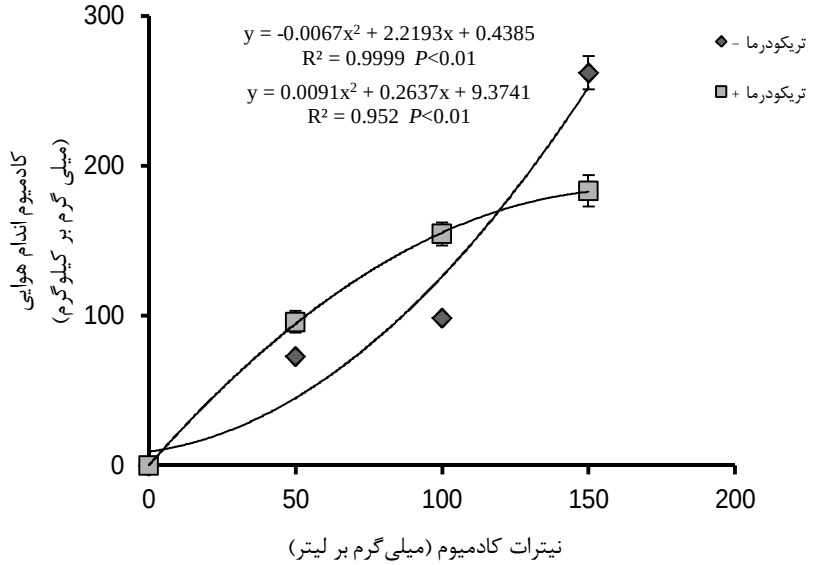
[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]



شکل ۱- اثر سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر میزان تجمع کادمیوم در ریشه

تجمع کادمیوم در اندام هوایی: روند تجمع کادمیوم در اندام هوایی در دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح قارچ *T. harzianum* در برابر سطوح مختلف نیترات کادمیوم به‌صورت منحنی درجه دوم (به‌ترتیب با ضرب تبیین ۰/۹۵ و ۱) بود (شکل ۲). در حضور و عدم حضور *T. harzianum* میزان تجمع عنصر کادمیوم در اندام هوایی با افزایش سطح نیترات کادمیوم از یک روند افزایشی برخوردار بود؛ ولی از نظر میزان این تغییرات و بیشینه تجمع کادمیوم در اندام هوایی بین تیمارهای قارچی در سطوح مختلف نیترات کادمیوم اختلاف وجود داشت و با توجه به معادلات برازش یافته در این تیمارها، حداکثر میزان کادمیوم در اندام هوایی در تیمار عدم کاربرد تریکودرما و در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد؛ در حالی‌که در سطوح پایین‌تر، میزان تجمع کادمیوم در تیمار کاربرد تریکودرما بیش‌تر از تیمار عدم کاربرد بود (شکل ۲). مطالعه‌ای در این زمینه نشان داد که کاربرد *T. atroviride* باعث افزایش غلظت کادمیوم در ساقه گیاه خردل شد (Cao *et al.*, 2008). از آنجایی‌که فعالیت این میکروارگانیسم‌ها تحت تأثیر غلظت عناصر سنگین موجود در محیط قرار می‌گیرد (Kredics *et al.*, 2003; Wyszkowska and Wyszkowski, 2002) لذا در سطح بالای کادمیوم، تریکودرما قادر به افزایش جذب کادمیوم نمی‌باشد. آزمایشی در این زمینه نشان داد که توانایی جذب کادمیوم توسط گونه‌های تریکودرما در غلظت‌های بالا (۶۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر) کاهش می‌یابد (Khan *et al.*, 2005). هم‌چنین، در مطالعه‌ای که روی گیاه گوجه‌فرنگی انجام شد افزایش غلظت کادمیوم باعث افزایش تجمع آن در ساقه گیاه گردید (Ghasemi and Shahabi, 2010).

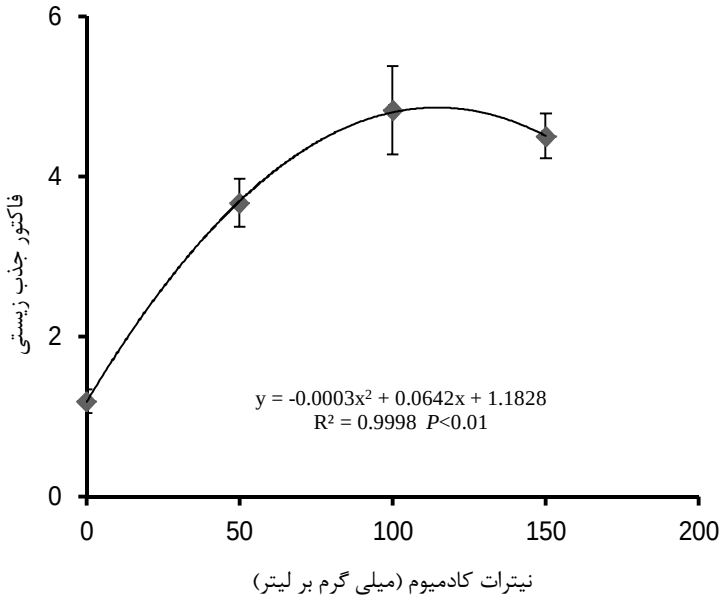
[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]



شکل ۲- اثر تریکودرما بر میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی تحت سطوح مختلف نیترات کادمیوم

فاکتور جذب زیستی: همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود روند تغییرات فاکتور جذب زیستی در برابر سطوح مختلف نیترات کادمیوم به‌صورت منحنی درجه دوم (R^2=۱) بود. پاسخ فاکتور جذب زیستی به افزایش غلظت نیترات کادمیوم ابتدا از یک روند افزایشی و سپس کاهشی تبعیت کرد؛ به‌گونه‌ای که با افزایش غلظت نیترات کادمیوم از سطح صفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر روند افزایشی داشته و پس از آن به‌حالت کاهشی در آمد. بیش‌ترین میزان این فاکتور (۴/۶۲) در غلظت ۱۰۷ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم مشاهده شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تجمع کادمیوم در ریشه گیاه (شکل ۱) نسبت به تجمع آن در خاک بیش‌تر می‌باشد؛ که نشان‌دهنده توانایی انتقال کادمیوم از خاک به ریشه است (داده‌ها نشان داده نشده است). بر اساس بررسی‌های به‌عمل آمده در این زمینه، گیاهی که فاکتور جذب زیستی آن در ریشه بیش‌تر از یک باشد قادر به انتقال عنصر از خاک به سیستم ریشه‌ای است و می‌تواند برای زیست پالایی در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین مورد استفاده قرار گیرد (Rafati *et al.*, 2013; Nazir *et al.*, 2011). با این وجود، فاکتور جذب زیستی به‌میزان جذب عنصر، تحرک آن و ذخیره در ریشه گیاه نیز بستگی دارد (Zhuang *et al.*, 2007). هم‌چنین، به‌نظر می‌رسد مقدار جذب کادمیوم از خاک به ریشه به توانایی گیاه در انتقال فلز در سطح بین خاک و ریشه و مقدار کل کادمیوم موجود در خاک وابسته است (Mohammadi *et al.*, 2011; Lasat, 2000).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

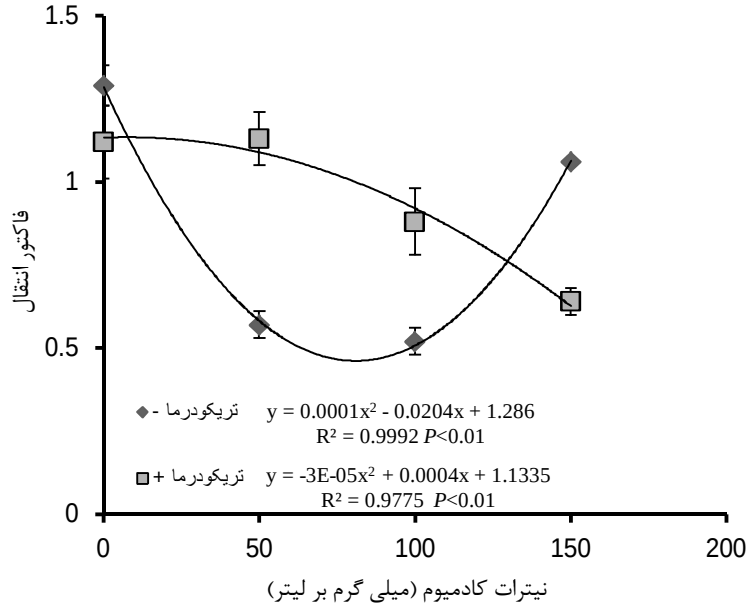


شکل ۳- اثر سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر فاکتور جذب زیستی

فاکتور انتقال: روند پاسخ فاکتور انتقال در دو سطح تیمار قارچی در برابر سطوح مختلف نیترات کادمیوم بیانگر پیروی روند پاسخ این صفت از معادله درجه دوم بود. در تیمار عدم کاربرد *T. harzianum* با افزایش سطوح آلودگی، فاکتور انتقال روند کاهشی داشته و در غلظت حدود ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم به حداقل میزان خود رسید ولی پس از آن با افزایش آلودگی، میزان آن افزایش یافت (شکل ۴). نتایج حاصله حاکی از توان گیاه گندم در انتقال بیش‌تر کادمیوم از ریشه به اندام هوایی می‌باشد. در واقع، این مشاهدات با ماهیت این عنصر و میزان تحرک آن‌ها و قابلیت انتقال از ریشه به اندام هوایی ارتباط دارد. مطالعه‌ای در این راستا در گیاه خردل نشان داد که با افزایش سطوح آلودگی به کادمیوم، میزان فاکتور انتقال که نشان‌دهنده توانایی گیاه جهت انتقال عنصر از ریشه‌ها به اندام هوایی است افزایش می‌یابد (Karimi *et al*, 2012). همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است؛ فاکتور انتقال در حضور *T. harzianum* به‌طور معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد تریکودرما پاسخ نشان داد و با افزایش سطح نیترات کادمیوم این فاکتور در حضور تریکودرما از یک روند کاهشی برخوردار بود و با افزایش شدت آلودگی شیب کاهش آن افزایش نشان داد؛ به‌طوری‌که این فاکتور در تیمار کاربرد *T. harzianum* در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم نسبت به عدم کاربرد تریکودرما حدود ۴۰ درصد کاهش داشت. به‌نظر می‌رسد تریکودرما با غیرمتحرک‌سازی فلز در

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

خاک و تثبیت آن در ریشه‌های گیاه سبب کاهش انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی گیاه در سطوح بالای آلودگی شد. در گیاهانی که ضریب جذب زیستی در ریشه بزرگ‌تر از یک و فاکتور انتقال کم‌تر از یک باشد می‌توانند برای گیاه، جذبی مناسب باشند (Rafati *et al.*, 2013) لذا، با توجه به شکل ۳ و ۴، حضور تریکودرما در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم توانست شرایط را برای گیاه تثبیتی فراهم آورد و توانست مانع انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی شود.

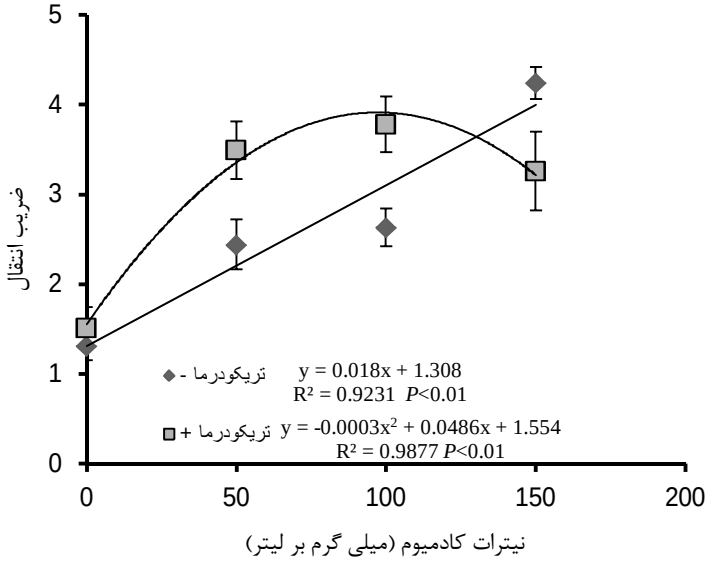


شکل ۴- اثر تریکودرما بر فاکتور انتقال تحت سطوح مختلف نیترات کادمیوم

ضریب انتقال: با توجه به شکل ۵ روند تغییرات ضریب انتقال در تیمار *T. harzianum* و تیمار بدون قارچ در پاسخ به سطوح مختلف نیترات کادمیوم مشابه نبود به‌گونه‌ای که روند تغییرات آن در تیمار عدم کاربرد قارچ تریکودرما به‌صورت خطی (R^2=۰/۹۲) بود و با شیب ۰/۰۱۸ افزایش یافت. در حالی‌که این روند در تیمار کاربرد تریکودرما به‌صورت تابع درجه دوم (R^2=۰/۹۹) بوده و از غلظت صفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم افزایش یافت و پس از آن کاهش نشان داد (شکل ۵). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود اگرچه حضور *T. harzianum* در سطوح پایین آلودگی به نیترات کادمیوم نسبت به عدم حضور تریکودرما باعث افزایش انتقال کادمیوم از خاک به اندام هوایی شده اما این انتقال در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم در حضور تریکودرما نسبت به عدم حضور آن کاهش نشان داد به‌طوری‌که کاهش فاکتور انتقال (شکل ۴) و کاهش تجمع کادمیوم در اندام هوایی (شکل ۲)

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

در این غلظت از نیترات کادمیوم این مسئله را تأیید می‌کند. بررسی در این زمینه در گیاه خردل نشان داد که با کاربرد *T. atroviride*، ضریب انتقال کادمیوم در خاک آلوده به کادمیوم افزایش یافت (Cao *et al.*, 2008). هم‌چنین، پژوهشی در گیاه کلزا نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، حضور تریکودرما باعث افزایش انتقال کادمیوم از خاک به گیاه و تجمع آن در اندام هوایی شد (Wang *et al.*, 2009). در مطالعه‌ای دیگر در گیاه خردل گزارش شد که با افزایش سطح آلودگی به کادمیوم ضریب انتقال کادمیوم در گیاه افزایش می‌یابد که نشان از توان گیاه در انتقال کادمیوم از خاک به اندام هوایی است. بنابراین، به‌نظر می‌رسد کادمیوم به‌دلیل جذب و تحرک زیاد به‌راحتی از خاک به گیاه و از ریشه به اندام هوایی انتقال می‌یابد (Karimi *et al.*, 2012).



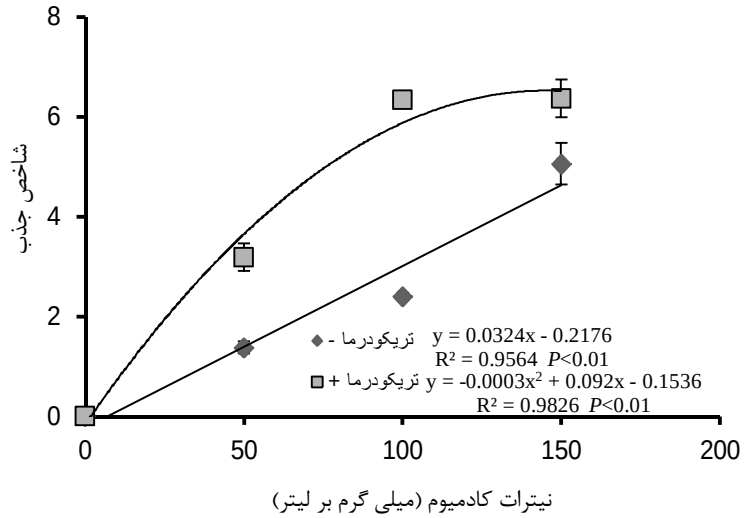
شکل ۵- اثر تریکودرما بر ضریب انتقال تحت سطوح مختلف نیترات کادمیوم

شاخص جذب: یکی دیگر از معیارهایی که در فرآیند جذب زیستی بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد، شاخص جذب است. این شاخص نشان‌دهنده فرآیند استخراج گیاهی است و بیانگر انتقال کادمیوم از خاک به ریشه و اندام هوایی بوده و به‌عنوان کارآمدترین و مناسب‌ترین روش در پالایش خاک از فلزات سنگین شناخته شده است (Babaeian *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2011; Zhuang *et al.*, 2007; Kos *et al.*, 2003). از سوی دیگر، هدف از استخراج گیاهی کاهش غلظت عنصر در خاک و رسیدن به حد مطلوب آن می‌باشد (Zhuang *et al.*, 2007). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شاخص جذب کادمیوم با افزایش سطح آلودگی، از یک روند افزایشی برخوردار بود. با این وجود،

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

روند پاسخ شاخص جذب در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح *T. harzianum* در برابر تغییر غلظت نیترات کادمیوم مشابه نبود. روند تغییرات شاخص جذب در تیمار عدم کاربرد تریکودرما به‌صورت خطی (R^2=۰/۹۶) بود و با افزایش هر میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم، شاخص جذب به‌میزان ۰/۰۳۴ واحد افزایش یافت. درحالی‌که پاسخ شاخص جذب در تیمار کاربرد *T. harzianum* به‌حالت تابع درجه دوم (با ضریب تبیین ۰/۹۸) بوده و در سطوح پایین آلودگی، شاخص جذب با شیب بالایی افزایش یافت. ولی در ادامه شیب افزایش آن ملایم‌تر بوده و در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم به‌حالت ثابت درآمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده بالاترین شاخص جذب در حضور *T. harzianum* در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم مشاهده شد، که نسبت به تیمار عدم کاربرد قارچ از افزایش ۵۳ درصدی برخوردار بود (شکل ۶). مطالعه‌ای در همین زمینه نشان داد که حضور ریزموجودات در ریزوسفر می‌تواند به جذب عناصر توسط گیاه کمک نموده و سبب افزایش پتانسیل استخراج گیاهی شود. هم‌چنین، این موجودات با ترشح مواد آلی، ضمن افزایش توانایی و سهولت در جذب عناصر ضروری و غیرضروری مثل کادمیوم، به‌طور مستقیم در حلالیت عناصر و افزایش جذب آن توسط گیاه نقش دارند (Lasat, 2000). در این راستا، نتایج مشابهی توسط کائو و همکاران (Cao *et al.*, 2008) مبنی بر بهبود استخراج گیاهی کادمیوم در گیاه کلزا در زمان تلقیح با *T. atroviride* و افزایش غلظت کادمیوم گزارش شده است. از سوی دیگر، مطالعات نشان داد که کارآیی استخراج گیاهی در جذب عناصر سنگین بستگی به دو عامل زیست‌توده و غلظت فلز در زیست‌توده دارد (Babaeian *et al.*, 2012; Zhuang *et al.*, 2007; Kos *et al.*, 2003; Lasat, 2000). آزمایشی در گیاه هویج نیز نشان داد که با افزایش غلظت سرب در خاک، پتانسیل استخراج گیاهی سرب در گیاه افزایش یافت (Babaeian *et al.*, 2012). در پژهشی دیگر گزارش شد که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک میزان استخراج گیاهی نیز افزایش یافت که علت آن را افزایش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک، با زیاد شدن غلظت آن دانستند (Mohammadi *et al.*, 2011). هم‌چنین، با مطالعه‌ای در گیاه خردل نشان داده شد که با افزایش سطح آلودگی، شاخص جذب کادمیوم افزایش یافت و این افزایش مربوط به قدرت و توانایی گیاه در جذب این عنصر بود (Karimi *et al.*, 2012).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]



شکل ۶- اثر تریکودرما بر شاخص جذب تحت سطوح مختلف نیترات کادمیوم

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که در خاک آلوده به نیترات کادمیوم با افزایش میزان آلودگی، فاکتور جذب زیستی ریشه بیش‌تر از یک بود که نشان‌دهنده توانایی گیاه گندم در انباشتگی کادمیوم در ریشه می‌باشد. از آنجایی‌که در روش زیست‌پالایی جهت سنجش کارآیی یک میکروارگانیسم و همراهی آن با گیاه برای حذف آلودگی عناصر سنگین از خاک، ضریب انتقال و فاکتور انتقال شاخصه‌های مهمی هستند بنابراین، در این پژوهش نشان داده شد که حضور *T. harzianum* در سطوح متوسط تا بالای آلودگی به کادمیوم، باعث کاهش فاکتور انتقال کم‌تر از یک شد که نشان از تأثیر مثبت تریکودرما در تجمع کادمیوم ریشه و عدم انتقال آن به اندام هوایی است. بنابراین می‌تواند به‌عنوان جاذب زیستی، گزینه مناسبی جهت پالایش خاک‌های آلوده به کادمیوم و تولید گیاه سالم باشد. با این وجود، شناخت دقیق مکانیسم‌های دخیل در این فرآیند نیاز به پژوهش‌های بیش‌تری دارد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از کارشناسان محترم آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری جهت کمک در اجرای پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

فهرست منابع

Abu Murefah S.S. 2008. Growth parameters and elemental status of cucumber (*Cucumus sativus*) seedlings in response to cadmium accumulation. International Journal of Agriculture and Biology, 10(3): 261-266.

Anand P., Isar J., Saran S., Saxena R.K. 2006. Bioaccumulation of copper by *Trichoderma viride*. Bioresource Technology, 97: 1018-1025.

Babaeian E., Homaee M., Rahnemaie R. 2012. Enhancing phytoextraction of lead contaminated soils by carrot (*Daucus carrota*) using synthetic and natural chelates. Journal of Water and Soil, 26(3): 607-618. (In Persian).

Bahmanyar M.A. 2008. Effect of wastewater for crop irrigation in the rate of heavy metals in soil and plants. Journal of Ecology, 33(44): 19-26. (In Persian)

Bishnoi N.R., Kunar R., Bishnoi K. 2007. Biosorption of Cr with *Trichoderma viride* immobilized fungal biomass and cell free Ca-alginate beads. Indian Journal of Experimental Biology, 45: 657-664.

Cao L., Jiang M., Zeng Z., Du A., Tan H., Liu Y. 2008. *Trichoderma atroviride* F6 improve phytoextraction efficiency of mustard (*Brassica juncea* (L.) Coss. var. *foliosa Bailey*) in Cd, Ni contaminated soils. Chemosphere, 71: 1769-1773.

Eshghi Malayeri B. 2005. Effect of different nitrate and chloride cadmium on plant growth, uptake and storage of cadmium in roots and shoots of tomatoes in hydroponics. Journal of Ecology, 35: 85-88. (In Persian).

Harender R., Sharma S.D. 2009. Integration of soil solarization and chemical sterilization with beneficial microorganisms for the control of white root rot and growth of nursery apple. Scientia Horticulturae, 119: 126–131.

Ghasemi Z., Shahabi A.A. 2010. Effect of cadmium on physiological indices, vegetative traits and nutrient concentration in tomato (*Lycopersicon esculentum*) in hydroponic cultivation. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 1(2): 55-64. (In Persian).

Kaewchai S., Soytong K., Hyde K.D. 2009. Mycofungicides and fungal biofertilizers. Fungal Diversity, 38: 25-50.

Karimi R., Chorom M., Solhi S., Solhi M., Safe A. 2012. Potential of *Vicia faba* and *Brassica arvensis* for phytoextraction of soil contaminated with cadmium, lead and nickel. African Journal of Agricultural Research, 7(22): 3293-3301.

Kavamura N.V., Esposito E. 2010. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. Biotechnology Advances, 28: 61-69.

Khan A.A., Sinha A.P., Rathi Y.P.S. 2005. Plant growth promoting activity of *Trichoderma harzianum* on rice seed germination and seedling vigour. Indian Journal of Agricultural Research, 39(4): 256 - 262.

Khosravi F., Savaghebi Firoozabadi Gh., Farahbakhsh H. 2009. The effect of potassium chloride on cadmium uptake by canola and sunflower in a polluted soil. Journal of Water and Soil, 23(3): 28-35. (In Persian).

Kuklova M., Kukla J., Hnilicka F. 2010. Soil-to-herbs transfer of heavy metals in

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

spruce ecosystems. Polish Journal of Environmental Studies, 19(6): 1263-1268.
Kredics L., Antal Z., Manczinger L., Szekeres A., Kevei F., Nagy E. 2003. Influence of environmental parameters on *Trichoderma strains* with biocontrol potential. Food Technology Biotechnology, 41(1): 37–42.
Kos B., Grcman H., Lestan D. 2003. Phytoextraction of lead, zinc and cadmium from soil by selected plants. Plant, Soil and Environment, 49(12): 548–553.
Kurtyka R., Małkowski E., Kita A., Karcz W. 2008. Effect of calcium and cadmium on growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium and sodium in maize seedlings. Polish Journal of Environmental Studies, 17(1): 51-56.
Lasat M.M. 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil. A review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. Journal of Hazardous Substance Research, 2(5): 1-25.
Levinskaite L. 2001. Simultaneous effect of nickel, cadmium and chromium (VI) on Soil Micromycetes. Biologia, 4: 13-15.
Lorestani B., Astani S. 2012. Phytoremediation effective technique for the removal of heavy metals from soil: Case study compared hyperaccumulation plants in two mining Ahangaran and Hame kasi. In: The First National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Agriculture, 5 and 6 May, Payam-e-Noor Univesity, Ahvaz, Khouzestan, Pp: 1-29. (In Persian).
Lotfollahi B., Hoodji M. 2011. Cadmium phytoextraction from contaminated soil by sorghum and sunflower. In: The Fifth Conference on New Ideas in Agriculture, 26 Feb., Islamic Azad University, Khorasgan, Esfahan, Pp: 320-324. (In Persian).
Mohammadi M., Habibi D., Ardakani M.R., Asgharzadeh A. 2011. Evaluation of absorption and accumulation capacity of annual medics (*Medicago scutellata*) in cadmium contaminated soil. Crop Eco physiology, 2(3): 247-260. (In Persian).
Mojiri A. 2011. The potential of corn (*Zea mays*) for phytoremediation of soil contaminated with cadmium and lead. Journal of Biological and Environmental Sciences, 5(13): 17-22.
Naderi A.M., Danesh Shahraki A. 2012. Phytoremediation; Step towards improving the environmental health. In: The First National Conference on Strategies for Achieving Austainable Agriculture, 5 and 6 May, Payam Noor Univesity. Ahvaz, Khouzestan, Pp: 7-14. (In Persian).
Nazir A., Naseem Malik R., Ajaib M., Khan N., Siddiqui, M.F. 2011. Hyperaccumulators of heavy metals of industrial areas of Islamabad and Rawalpindi. Pakistan Journal of Botany, 43(4): 1925-1933.
Nikolic N., Kogic D., Pilipovic A., Pajivic S., Krstic B., Borisev M., Orlovic S. 2008. Responses of hybrid poplar to cadmium stress photosynthetic characteristics, cadmium and proline accumulation and antioxidant enzyme activity. Acta Biological Cracoviensla Series Botanical, 50(2): 95–103.
Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R. 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2 (2th Ed). Ponnamperuma, F.N, The chemistry of submerged soils. Advances in

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

Agronomy, 24: 26-92.
Rafati M., Khorasani N., Moraghebi F., Shirvany A. 2013. Phytoextraction and phytostabilization potential of cadmium, chromium and nickel by *Populus alba* and *Morus alba* species. Iranian Journal of Environment Natural Resources, 65(2): 181-191. (In Persian).
Sarkar S., Satheshkumar A., Jayanthi R., Premkumar R. 2010. Biosorption of nickel by live biomass of *Trichoderma harzianum*. Research Journal of Agricultural Sciences, 1(2): 69-74.
Sivasamy A., Sundarabal N. 2010. Biosorption of an Azo Dye by *Aspergillus niger* and *Trichoderma* sp. Fungal Biomasses Current Microbiology, 62: 351–357.
Sun Y., Qixing Z., Chunyan D. 2008. Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. Bioresource Technology, 99: 1103–1110.
Sun Y.M., Horng C.Y., Chang F.L., Cheng L.C., Tian W.X. 2010. Biosorption of lead, mercury and cadmium ions by *Aspergillus tereuss* immobilized in a natural matrix. Polish Journal of Microbiology, 59(1): 37-44.
Vafadar M., Zare Mayvan H. 2006. The comparison of the role of some herbaceous plants in absorption of some heavy metals: Case study in Ramsar forest region. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 13(4): 1-9. (In Persian).
Vankar P.S., Bajpai D. 2008. Phyto-remediation of chrome-VI of tannery effluent by *Trichoderma* species. Desalination, 222: 255-262.
Wang B., Liu L., Gao Y., Chen J. 2009. Improved phytoremediation of oilseed rape (*Brassica napus*) by Trichoderma mutant constructed by restriction enzyme-mediated integration (REMI) in cadmium polluted soil. Chemosphere, 74: 1400–1403.
Wang M., Zhou Q. 2005. Single and joint toxicity of chlorimuron-ethyl, cadmium, and copper acting on wheat *Triticum aestivum*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60: 169–175.
Wyszkowska J., Wyszkowski M. 2002. Effect of cadmium and magnesium on microbiological activity in soil. Polish Journal of Environmental Studies, 11(5): 585-591.
Yazdani M., Pirdashti H., Tajik M.A., Bahmanyar M.A. 2008. Effect of *Trichoderma* spp. and different organic manures on growth and development in soybean (*Glycine max* (L.) Merril.). Electronic Journal of Crop Production, 1(3): 65-82. (In Persian).
Yien Ting S., Choong C.C. 2009. Bioaccumulation and biosorption efficacy of *Trichoderma* isolate SP2F1 in removing copper (Cu(II)) from aqueous solutions. World Journal Microbiol Biotechnology, 25: 1431–1437.
Zhuang P., Yang Q.W., Wang H.B., Shu W.S. 2007. Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. Water, Air and Soil Pollution, 184: 235–242.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]