[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]

ارزیابی تجمع و جابجایی کادمیم در گیاه *Jatropha curcas* رشد یافته در یک خاک آلوده

پریسا احمدپور[۱] و محسن سلیمانی[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۰۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۳۰)

چکیده

گیاه‌پالایی یک فناوری کم هزینه و سازگار با محیط زیست است که در آن از پتانسیل گیاهان برای پالایش محیط‌های آلوده به آلاینده‌های آلی و معدنی استفاده می‌کنند. این مطالعه جهت بررسی پتانسیل گیاه *Jatropha curcas* برای پالایش یک خاک آلوده به کادمیم (در غلظت‌های صفر، ۲۵ ،۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک) در یک دوره ۵ ماهه انجام شد. شاخص تجمع زیستی (نسبت غلظت فلز در ریشه گیاه به‌میزان غلظت آن در خاک)، شاخص جابجایی (نسبت غلظت فلز در شاخساره گیاه به‌میزان غلظت آن در خاک) و درصد کارایی برداشت (درصد مقدار فلز در کل زیست‌تودهٔ خشک گیاه به‌مقدار فلز موجود در محیط خاک) تعیین شد. میزان انباشت فلز کادمیم در ریشه بیشتر از ساقه و در ساقه بیشتر از برگ گیاه بود. بیشترین میزان غلظت کل کادمیم (حدود ۱۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) و بیشترین درصد کارایی برداشت کادمیم به‌ترتیب در تیمارهای ۱۵۰ و ۲۵ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک مشاهده شد. شاخص تجمع زیستی گیاه بیشتر از یک و شاخص جابجایی آن کمتر از یک بود. اگرچه نتایج بیانگر پتانسیل این گونه برای تثبیت کادمیم در خاک‌های آلوده به این فلز بود؛ با این وجود انجام پژوهش‌های بیشتر در عرصه نیز نیاز است.

کلمات کلیدی: گیاه‌پالایی، *Jatropha curcas*، فلزات سنگین، آلودگی خاک

۱. اداره کل بنادر و دریانوردی استان بوشهر

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.soleimani@cc.iut.ac.ir

مقدمه

رهاسازی آلاینده‌های آلی و معدنی به محیط زیست از طریق فرایندهای طبیعی (هوادیدگی سنگ‌ها و یا خاکسترهای آتشفشانی) و فعالیت‌های انسان (کشاورزی، صنعتی و شهری) انجام می‌شود. در بین آلاینده‌های محیط زیست فلزات سنگین به علت سمیت بالا، تجزیه ناپذیری و تجمع در بافت‌های گیاهی و جانوری حایز اهمیت هستند.

کادمیم فلز سنگینی است که به‌عنوان یک آلایندهٔ مهم در خاک شناخته شده است و اثرات سمیت زیادی بر موجودات زنده دارد. براساس گزارش آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا، کادمیم یکی از ۱۲۶ آلایندهٔ مهم شناخته شده است (۲۴) . این فلز به‌عنوان یک عنصر غیر ضروری می‌تواند در غلظت‌های خیلی کم نیز بر رشد گیاه تأثیر گذاشته و زندگی گیاه را به خطر اندازد(۲۸). غلظت معمول کادمیم درخاک بین ۰/۰۱ تا ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد، اما در خاک‌های شهری و کشاورزی، غلظت این فلز می‌تواند از حد آستانهٔ تحمل نیز تجاوز کند (۵). غلظت بحرانی کادمیم در خاک بین ۳ تا ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم یاست که باتوجه به ویژگی‌های خاک یتعیین می‌شود (۱۴). براساس گزارش آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده، آلودگی کادمیم در بیش از ۸ درصد مناطق آلوده خطرساز در ایالت متحده آمریکا وجود داشته است (۱۶).

روش‌های متداول پالایش خاک‌ها و آب‌های آلوده به فلزات سنگین، نیاز به زمان طولانی و نیروی کار زیاد داشته و در عین حال باعث تخریب ساختمان و ساختار گیاهی خاک می‌شود (۲۹). روش‌های پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، برای مناطق آلودهٔ وسیع، از نظر تکنیکی و اقتصادی قابل اجرا نمی‌باشد (۷). بنابراین، ترویج فناوری‌های جدید جهت پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین که جنبه اقتصادی داشته باشد، اجتناب‌ناپذیر است (۳).گیاه‌پالایی، یک فناوری سبز، با صرفهٔ اقتصادی و سازگار با محیط زیست است که در آن از گیاهان و یا ریزجانداران و یا ترکیبی از هر دو جهت پالایش مناطق آلوده استفاده می‌شود (۱۹). این فناوری شامل گیاه‌استخراجی (Phytoextraction)، گیاه‌تثبیتی (Phytostabilization)، گیاه‌تبخیری (Phytovolatilization) و گیاه‌تخریبی (Phytodegradation) است (۱۱، ۱۸، ۳۰ و ۳۴).

گیاهان مناسب جهت گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به‌روش گیاه‌استخراجی، باید ظرفیت تجمع فلزات سنگین را بیشتر از میزان معمول برای سایر گیاهان به‌ویژه در شاخساره خود داشته باشند. گیاهان مذکور باید دارای میزان تولید بالای زیست‌توده، سرعت رشد بالا، دارای قدرت جذب و انتقال مؤثر فلزات به بخش‌های هوایی خود باشند (۴ و ۲۹). برای گیاه‌پالایی فلزات سنگین به گیاهان دارای تحمل و توان انباشتهٔ زیاد مواد مذکور نیاز است که به گیاهان بیش‌انباشتگر (Hyperaccumulator) معروف هستند و میزان جذب فلزات سنگین در شاخساره آنها نسبت به ریشه بیشتر از ۱ است (۶). بیش‌انباشتگرها، می‌توانند حداقل ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک کادمیم (۳۲)، ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مس، کروم، سرب و کبالت، ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیوه و ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک نیکل و روی (۱۷) انباشت کنند. تا کنون بیش از ۵۰۰ گونه گیاهی از ۱۰۰ خانواده، به‌عنوان گیاهان بیش‌انباشتگر شناسایی شده‌اند (۲۹).

بعضی از گونه‌های گیاهی مانند *Jatropha curcas* ، *Dodonaea viscose* و *Cassia auriculata*، دارای پتانسیل زیادی برای پالایش خاک‌های آلوده به انواع فلزات سنگین هستند (۲۴). در این مطالعه گیاه *Jatropha curcas* به‌دلیل رشد سریع و استقرار آسان، تقاضای کم مواد مغذی، توانایی رشد در خاک‌های فقیر به‌دلیل داشتن بوته ستبر و همچنین به‌عنوان یک گونهٔ شناخته شده تأمین سوخت زیستی، انتخاب شد (۲۱ و ۲۷). این گیاه به‌عنوان یکی از بهترین گونه‌های بیش‌انباشتگرگرمسیری شناخته شده (۱۰) و نیز به‌عنوان گونه مناسب جهت گیاه‌پالایی هیدروکربن‌ها در خاک معرفی شده است (۱).

جاتروفا، یک درخت کوچک از خانوادهٔ Euphorbiaceae

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]

می‌باشد که ارتفاع آن به ۵ متر و در شرایط ایده‌ال بـه ۱۰ متـر و عمر متوسط آن به ۵۰ سال می‌رسد (۳۱). این گونه به‌دلیل رشد سریع، استقرار ساده، توانایی رشد در شرایط مختلف با تقاضـای کم مواد مغذی، می تواند دارای پتانسیل گیاه پالایی باشد کـه در پژوهش‌های مختلـف بـه آن اشـاره شـده اسـت (۹، ۲۱ و ۳۶). هدف این مطالعه، ارزیابی پتانسیل گیاه پـالایی و عملکـرد رشـد این گیاه در یک خاک آلوده شده به کادمیم بوده است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در گلخانـهٔ دانشـکدهٔ جنگـل‌داری دانشـگاه پـوترای مالزی ("۲۴.۱۸ '۵۹ °۲۰ عرض جغرافیایی شمالی و"۴۵.۴۵ '۴۲ °۱۰۱ طول جغرافیایی شرقی) به‌مدت ۵ ماه از بهمـن مـاه ۸۸ تـا خرداد ۸۹ صورت گرفت. متوسط دما در گلخانه در طول صبح، بعدازظهر و غروب به‌ترتیب ۲۷، ۳۶ و ۳۲ درجه سـانتی‌گـراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصـد بـود. نهـال هـای سـالم و همسـن، از مؤسسـه تحقیقـات کشـاورزی (مـردی) واقـع در شهرسـتان سردانگ، استان سلانگور جمع‌آوری شد.

خاک مورد مطالعه و اندازه‌گیری ویژگی‌های آن

خاک مورد استفاده در این مطالعه، رس شنی از سری مانچونـگ بود. این خاک از دانشکدهٔ کشـاورزی دانشـگاه پـوترای مـالزی جمع‌آوری شد. خاک پس از هواخشک شدن، خرد و از الـک ۴ میلی‌متری عبور داده شد. خاک الک شده بـه‌عنـوان بسـتر رشـد مورد استفاده قرار گرفت. الک ضد زنـگ جهـت تهیـه مخلـوط خاک یکپارچه به عنوان بستر رشد مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت. کـادمیم در غلظـت‌هـای مختلـف ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلـی‌گـرم در کیلـوگرم (Cd_0، Cd_{25}، Cd_{50}، Cd_{75}، Cd_{100} و Cd_{150}) به خاک اضافه گردید و پس از ۱۵ روز نهال‌هـا کشـت شـدند. در طـول ایـن مـدت بـرای ایجـاد تعـادل فراینـد مرطوب‌سازی خاک در حد ظرفیت زراعی انجام شد. برای تهیهٔ غلظت‌های مختلف کادمیم ، از نمـک کلریـد کـادمیم ($CdCl_2.5H_2O$) استفاده گردید. بخشی از خـاک از الـک ۲ میلـی متـری عبور داده شده و جهـت انـدازه‌گیـری خصوصـیات فیزیکـی و شیمیایی به آزمایشگاه فرستاده شـد. بافـت خـاک بـا اسـتفاده از روش پیپـت، تعیـین گردیـد (۲). پ- هـاش خـاک، در سوسپانسیون ۲/۵:۱ (خاک:مایع) اندازه‌گیری شـد (۲). ظرفیـت تبادل کاتیونی و کاتیون‌های تبادلی (کلسیم،منیزیم و پتاسـیم) بـا استفاده از روش لیچینگ و با به‌کار بردن استات آمونیوم ۱ مولار در پ- هاش ۷ انـدازه‌گیـری شـد (۲). آلومینیـوم و هیـدروژن تبـادلی بـه‌روش تیتراسـیون هیدروکسـید سـدیم و فسـفر قابـل دسـترس بـا اسـتفاده از روش بـری (مخلـوطی شـامل فلوریـد آمونیـوم ۰/۰۳ مـولار و اسـید هیـدروکلریک ۰/۱ مـولار) اندازه‌گیری گردید (۲). کربن و نیتروژن کـل بـه‌وسـیلهٔ دسـتگاه اندازه‌گیـری کـربن- نیتـروژن- گـوگرد (USA و ۲۰۰۰ . Leco CNS) اندازه‌گیری شد.

کشت گیاه

نهال‌ها در گلدان‌های پلاستیکی بـا ارتفـاع ۳۲ سـانتی‌متـر، قطـر بالایی۱۰۶ سانتی‌متر و قطر پایینی ۶۹ سانتی‌متر حاوی خـاک بـا مقادیر مختلف کادمیم به آرامی بدون آسیب رساندن به سیسـتم ریشه، کاشـته شـدند. در هـر گلـدان یـک نهـال کاشـته شـد و نهال های اولیهٔ مورد استفاده از نظر خصوصیات ظـاهری تقریبـاً یکسان بودنـد. قطـر، ارتفـاع و تعـداد بـرگ نهـال‌هـا، هـر مـاه اندازه‌گیری شد. نهال‌ها بعد از ۵ ماه جهت تعیـین وزن خشـک (ریشه، ساقه و برگ) و میـزان فلـزات سـنگین جـذب شـده در اندام‌های مختلف گیاه، برداشت شدند. روش آکـوا رجیـا بـرای هضم نمونه های گیاه و خاک، مورد استفاده قـرار گرفـت (۱۵). غلظت کادمیم در اندام‌های مختلف گیـاه و نمونـه‌هـای خـاک به‌وسیلهٔ دستگاه جذب اتمی مجهـز بـه کـوره گرافیتـی (پـرکین المر) اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی پتانسیل گونه گیـاهی، سـه شاخص شامل شاخص تجمع زیسـتی (نسـبت غلظـت فلـز در ریشه گیاه بـه‌میـزان غلظـت آن در خـاک)، شـاخص جابجـایی (نسبت غلظت فلـز در شاخسـارهٔ گیـاه بـه‌میـزان غلظـت آن در خاک) و درصـد کـارایی برداشـت (درصـد مقـدار فلـز در کـل

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]

جدول ۱. خصوصیات اندازه‌گیری شده فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

بافت	رس شنی
شن (درصد)	۵۷/۹±۱/۹
سیلت (درصد)	۵/۳ ±۰/۴
رس (درصد)	۳۶/۹±۱/۹
رطوبت ظرفیت مزرعه (درصد)	۲۸/۹±۰/۵
ازت کل (درصد)	۰/۰۳±۰/۰۳
کربن کل (درصد)	۰/۷±۰/۱
فسفر کل (درصد)	۰/۰۳۰±۰/۰۰۲
پتاسیم کل (درصد)	۰/۱۰۰±۰/۰۰۳
پ- هاش (۱ به ۲/۵ خاک به آب)	۴/۶±۰/۲
فسفر قابل دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۹/۲±۱/۱
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بر کیلوگرم)	۱۴/۰۳±۱/۷۷
هدایت الکتریکی(دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۳۰±۰/۱۳
کادمیم کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲/۶±۰/۲
مس کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۹/۹± ۰/۳
روی کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۴۶/۷± ۰/۶
آهن کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۴۷۹±۲۳
منگنز کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳۰/۶±۳/۰

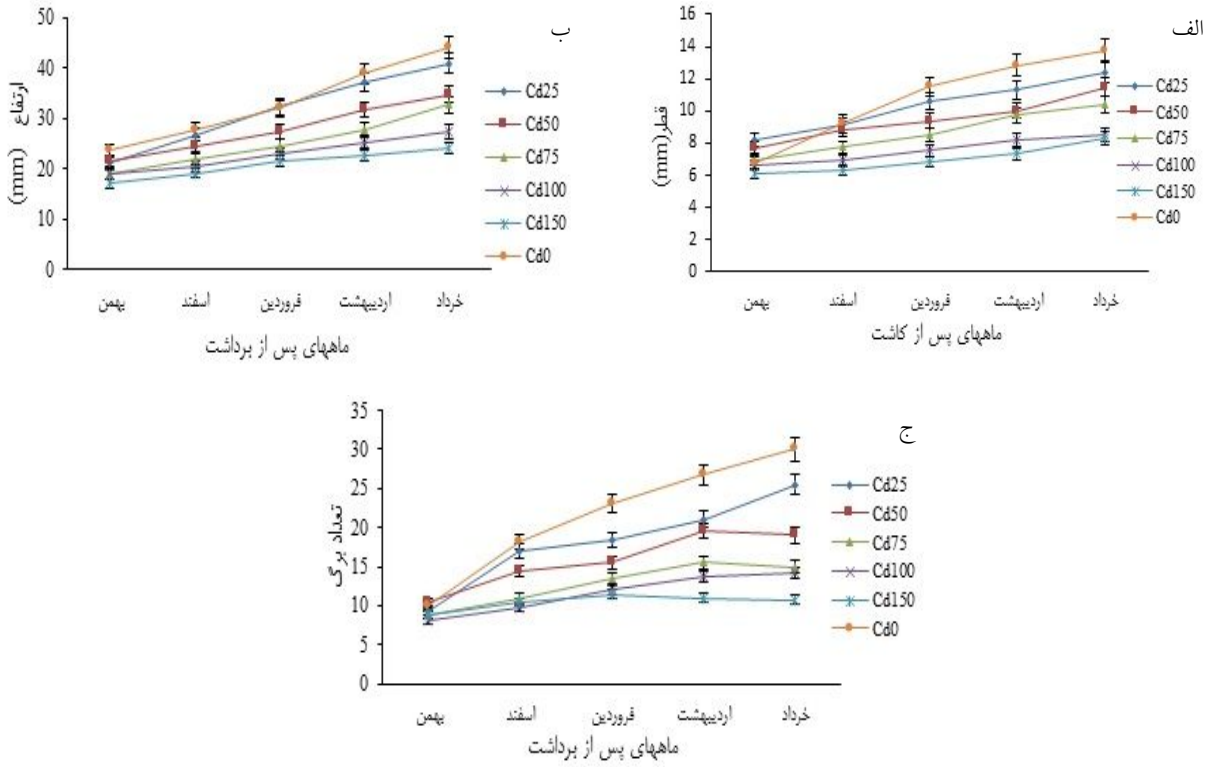
مقادیر، میانگین ± انحراف معیار است.

زیست‌تودهٔ خشک گیاه به‌مقدار فلز موجود در محیط خاک) مورد استفاده قرار گرفت (۳۷).

تجزیه و تحلیل آماری

در این مطالعه طرح کاملاً تصادفی با ۱ تیمار (غلظت کادمیم در خاک در ۶ سطح ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و ۴ تکرار مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه واریانس برای شاخص‌های رشد و میزان فلزات سنگین در خاک و اندام‌های مختلف گیاه و آزمون دانکن ($P<0/05$) جهت تعیین هر گونه تفاوت معنی‌دار بین میانگین نتایج به‌کار رفت. همچنین همبستگی جهت تعیین رابطهٔ غلظت کادمیم در بستر رشد با تولید وزن خشک با درنظر گرفتن ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد. از نرم‌افزار SAS برای بررسی تجزیه و تحلیل داده‌ها و از نرم‌افزار Excel برای رسم شکل‌ها استفاده گردید.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]



شکل ۱. الف) قطر گیاه ، ب) ارتفاع و ج) تعداد برگ گیاه در طول ماه‌های کاشت تحت تأثیر تیمارهای مختلف کادمیم میانگین ± انحراف معیار در هر ماه نشان داده شده است. $Cd_{۰}$، $Cd_{۲۵}$، $Cd_{۵۰}$، $Cd_{۷۵}$، $Cd_{۱۰۰}$ و $Cd_{۱۵۰}$ به‌ترتیب معرف ۰، ۲۵، ۵۰ ، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک است

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که آلومینیوم و هیدروژن تبادلی منبع اصلی اسیدیته خاک بوده است. باتوجه به‌محتوی نیتروژن کل خاک مقدار این عنصر برای رشد گیاه در سطح پایینی بود. همچنین باتوجه به‌مقدار هدایت الکتریکی خاک مورد استفاده در دسته خاک‌های غیرشور قرار دارد. غلظت کادمیم خاک قبل از کاشت و بعد از اضافه کردن این عنصر به خاک در تیمارهای مختلف بین ۲/۶ تا ۱۴۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و بیشترین غلظت مربوط به تیمار $Cd_{۱۵۰}$ و کمترین مقدار مربوط به خاک شاهد $Cd_{۰}$ بود. غلظت کادمیم در خاک بعد از کشت گیاه از ۱/۸ تا ۱۱۶/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب مربوط به تیمارهای $Cd_{۰}$ (شاهد) و $Cd_{۵۰}$ متفاوت بود.

رشد گیاه در غلظت‌های مختلف کادمیم خاک

شاخص‌های رشد گیاه در غلظت‌های مختلف کادمیم اضافه شده به خاک متفاوت بود و تفاوت معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بین تیمارها در قطر، ارتفاع و تعداد برگ در زمان برداشت وجود داشت. بیشترین میزان رشد قطری، ارتفاع و تعداد برگ مربوطه به تیمار شاهد (بدون کادمیم) و کمترین مقدار مربوط به تیمار $Cd_{۱۵۰}$ حاوی ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک بود (شکل‌های ا–الف تا ج). با وجود کاهش شاخص‌های اندازه‌گیری شده رشد گیاه در حضور کادمیم ، این شاخص‌ها با گذشت زمان در هر ماه در هر تیمار افزایش یافت. سلیمانی و همکاران (۳۲) به کاهش رشد گیاه فسکیو با افزایش کادمیم در محیط رشد گیاه اشاره کردند. نتایج مشابهی توسط یاداو و همکاران

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]

جدول ۲. وزن خشک برگ، ساقه و ریشه (گرم) گیاه بعد از ۵ ماه تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کادمیم

تیمار	ریشه	ساقه	برگ
Cd_{0}	۱۱/۲±۱/۲^{a}	۲۱/۸۵±۲/۱۶^{a}	۱۵/۶±۱/۹^{a}
Cd_{25}	۱۰/۴±۰/۳^{ab}	۲۱/۳±۱/۷^{a}	۱۴/۵±۱/۱^{ab}
Cd_{50}	۹/۹±۰/۲^{ab}	۱۲/۳±۰/۳^{b}	۱۱/۵±۰/۹^{bc}
Cd_{75}	۸/۹±۰/۴^{bc}	۱۱/۰±۰/۶^{b}	۱۰/۰±۰/۹^{c}
Cd_{100}	۸/۷±۰/۵^{bc}	۱۰/۳±۰/۴^{b}	۱۰/۰±۰/۳^{c}
Cd_{150}	۷/۹±۰/۱^{c}	۹/۴±۰/۴^{b}	۹/۴±۱/۱^{c}

عدم وجود حرف مشترک در هر ستون نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. مقادیر، میانگین ± انحراف معیار است. Cd_{0}، Cd_{25}، Cd_{50}، Cd_{75}، Cd_{100} و Cd_{150} **به**ترتیب معرف ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک می‌باشد

(۳۶) در غلظت‌های زیاد عناصر آرسنیک، کروم و روی برای گیاه جاتروفا گزارش شده است که موید کاهش رشد گیاه با افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک است. سمیت فلزات سنگین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل بازدارندهٔ رشد گیاه مطرح است. کادمیم به‌عنوان یک عنصر غیر ضروری، رشد و توسعه گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد (۸) . این عنصر جذب عناصر ضروری مثل مس و روی به‌وسیلهٔ گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند جایگزین عناصر ضروری در واکنش‌های آنزیمی مورد نیاز در تولید DNA، RNA و پروتئین باشد (۲۶). بنابراین، وجود کادمیم در محیط و به تبع آن کمبود عناصر مغذی مثل مس و روی می‌تواند باعث کاهش رشد گیاه گردد (۲۲).

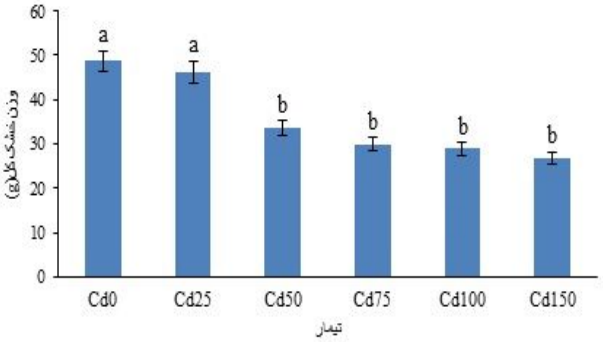
وزن خشک برگ، ساقه و ریشه

وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه از جمله برگ، ساقه و ریشه تحت تأثیر غلظت کادمیم محیط تفاوت معنی‌دار داشت ($P\leq$۰/۰۵). بیشترین وزن خشک برگ (۱/۹ ± ۱۵/۶ گرم)، ساقه (۲/۲ ± ۲۱/۹ گرم) و ریشه (۱/۲ ± ۱۱/۲ گرم) در خاک شاهد به‌دست آمد (جدول۲)، درحالی که کمترین وزن خشک برگ (۱/۱ ± ۹/۴ برگ)، ساقه (۰/۴ ± ۹/۴ گرم) و ریشه (۰/۱± ۷/۹ گرم) در تیمار Cd_{150} مشاهده شد. مقدار تولید وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه بدین‌ترتیب بود: ریشه<برگ<ساقه. وزن خشک گیاه با افزایش غلظت کادمیم اضافه شده به بستر کاشت کاهش یافت. کاهش وزن خشک گیاه، احتمالاً به‌دلیل اثر منفی کادمیم بر تقسیم سلولی و یا متابولیسم DNA، RNA و پروتئین‌ها است (۲۵).

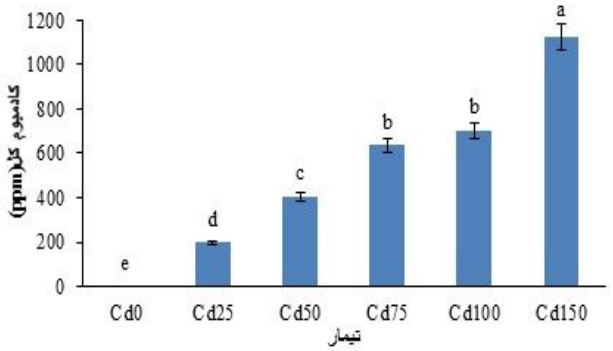
وزن خشک کل گیاه تحت تأثیر تیمار کادمیم

وزن خشک کل گیاه تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کادمیم ، بین ۲۶/۹ تا ۴۸/۷ گرم بود. تفاوت معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بین تیمارهای کادمیم در تولید وزن خشک گیاه مشاهده شد. بیشترین تولید وزن خشک کل گیاه در خاک شاهد به‌دست آمد، درحالی که نهال‌های کاشته شده در خاک محتوی ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم درکیلوگرم خاک، کمترین وزن خشک کل را نشان دادند (شکل ۲). تولید وزن خشک کل گیاه با افزایش غلظت کادمیم اضافه شده به خاک بستر رشد کاهش یافت که نشان دهندهٔ اثر سوء کادمیم بر تولید وزن خشک گیاه به‌ویژه در غلظت‌های بالا است. یون‌های فلزی سمی می‌توانند جایگزین

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]



شکل ۲ . وزن خشک کل گیاه تحت تأثیر تیمارهای کادمیم. حروف مختلف نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است. ستون‌ها معرف میانگین ± انحراف معیار است. $Cd_{۰}$، $Cd_{۲۵}$، $Cd_{۵۰}$، $Cd_{۷۵}$، $Cd_{۱۰۰}$ و $Cd_{۱۵۰}$ به‌ترتیب معرف ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک است



شکل ۳. غلظت کل کادمیم در گیاه تحت تأثیر تیمارهای کادمیم. حروف مختلف نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است. ستون‌ها معرف میانگین ± انحراف معیاری است. $Cd_{۰}$، $Cd_{۲۵}$، $Cd_{۵۰}$، $Cd_{۷۵}$، $Cd_{۱۰۰}$ و $Cd_{۱۵۰}$ به‌ترتیب معرف ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک است

عناصر ضروری شده و نقش بازدارنده را در متابولیسم کربوهیدرات‌های تنفسی در سلولهای گیاهی داشته باشند (۲۵).

رابطهٔ بین غلظت کادمیم در خاک و وزن خشک گیاه

غلظت کادمیم در خاک بستر رشد همبستگی منفی با وزن خشک کل گیاه داشت ($r = -۰/۸۱$). رابطهٔ منفی بین این دو عامل نشان داد که وزن خشک کل گیاه با افزایش غلظت کل کادمیم اضافه شده به خاک، کاهش یافته است. کادمیم نقش بازدارنده در تولید کلروفیل دارد و کاهش مقدار کلروفیل باعث کاهش وزن خشک شاخساره می‌شود (۲۶).

غلظت کادمیم در اندام‌های مختلف گیاه (برگ، ساقه و ریشه)

غلظت کادمیم برگ، ساقه و ریشه در همهٔ تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت($P\leq ۰/۰۵$). بیشترین غلظت کادمیم برگ (۳۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار $Cd_{۵۰}$ مشاهده شد. غلظت کادمیم در برگ از تیمار $Cd_{۲۵}$ به $Cd_{۷۵}$ افزایش یافت و سپس روند کاهشی داشت. این موضوع بیانگر تأثیر منفی غلظت‌های بالای کادمیم محیط بر جذب این فلز توسط گیاه است. نتایج مشابه با اندکی تغییر در حداکثر غلظت جذب در ساقه و ریشهٔ گیاه نیز به‌دست آمد. مقدار کادمیم جذب شده در اندام‌های مختلف گیاه بدین ترتیب بود: برگ<ساقه< ریشه. بیشترین غلظت کادمیم در ریشه حدود ۱۰۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک بود (جدول ۳). کادمیم در مقایسه با سایر فلزات سنگین، متحرک تر بوده و به آسانی جذب گیاه می‌شود (۱۷). تجمع بالای کادمیم در ریشه نسبت به برگ گیاه *Phragmites australis* تحت تأثیر غلظت‌های زیاد کادمیم گزارش شده است (۱۳).

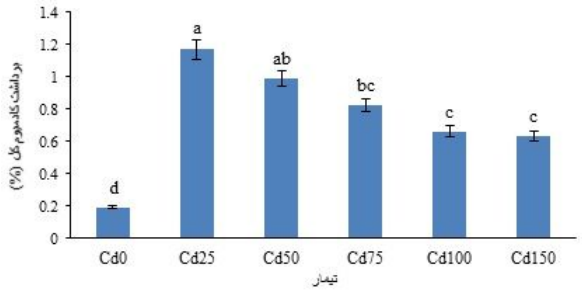
انباشت کادمیم در گیاه *Jatropha curcas* در تیمارهای $Cd_{۷۵}$ ، $Cd_{۱۰۰}$ و $Cd_{۱۵۰}$ بیش از حدنصاب تعیین شده برای گیاهان بیش‌انباشتگر کادمیم (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک اندام هوایی) بود (شکل۳). در این تیمارهایی $Cd_{۷۵}$ ، $Cd_{۱۰۰}$ و $Cd_{۱۵۰}$ آثار سمیت در گیاه به‌صورت زردی، خشکی و ریزش برگ‌ها نیز مشاهده گردید. سمیت کادمیم در گیاه می‌تواند در غلظت بین ۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اتفاق افتد (۳۳). غلظت زیاد کادمیم در بافت گیاه ممکن است بیانگر ظرفیت بالای این گیاه برای جذب این عنصری باشد. در مورد گیاهان تنباکو و آفتابگردان رشد یافته در خاک آلوده به کادمیم نیز نتایج مشابهی به‌دست آمده است (۱۰). با درنظر گرفتن این نکته که کاهش رشد گیاه در اثر سمیت کادمیم نیز ممکن است

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]

جدول ۳. غلظت کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) در اندام‌های مختلف گیاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف کادمیم .

تیمار	ریشه	ساقه	برگ
Cd_{0}	۱/۴±۰/۰^{e}	۰/۸±۰/۱^{e}	۰/۹±۰/۰^{d}
Cd_{25}	۱۵۵/۴±۳/۷^{d}	۳۷/۲±۱/۵^{d}	۴/۳±۰/۳^{d}
Cd_{50}	۳۱۲/۴±۳۱/۲^{c}	۶۹/۴±۱/۳^{c}	۲۴/۰±۲/۰^{b}
Cd_{75}	۵۲۶/۵±۲/۵^{b}	۷۷/۳±۱/۱^{bc}	۳۳/۶±۱/۳^{a}
Cd_{100}	۵۸۱/۱±۲۹/۳^{b}	۱۰۰/۴±۸/۸^{a}	۲۳/۴±۲/۰^{b}
Cd_{150}	۱۰۲۳/۵±۳۶/۸^{a}	۸۴/۱±۵/۲^{b}	۱۸/۰±۱/۲^{c}

عدم وجود حرف مشترک در هر ستون نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. مقادیر، میانگین ± انحراف معیاری است. Cd_{0}، Cd_{25}، Cd_{50}، Cd_{75}، Cd_{100} و Cd_{150} **به**ترتیب ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک می‌باشد



شکل۴ . درصد کارایی برداشت کادمیم تحت تأثیر تیمارهای کادمیم .

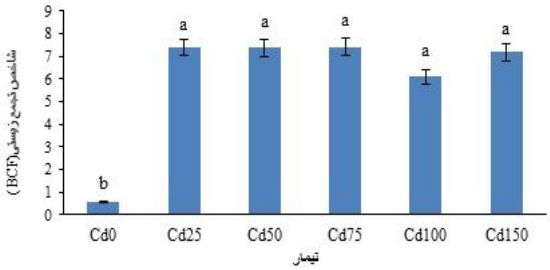
حروف مختلف نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است. ستون‌ها معرف میانگین ± انحراف معیاری است. Cd_{0}، Cd_{25}، Cd_{50}، Cd_{75}، Cd_{100} و Cd_{150} به‌ترتیب ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک می‌باشد

باعث تغلیظ فلز در گیاه گردد، به‌نظر می‌رسد که این سازوکار برای گیاه جاتروفا به واقعیت نزدیک‌تر و این گیاه بیشتر در مورد تثبیت و ذخیره سازی کادمیم در ریشه گیاه (Phytostabilization) کارآمد است.

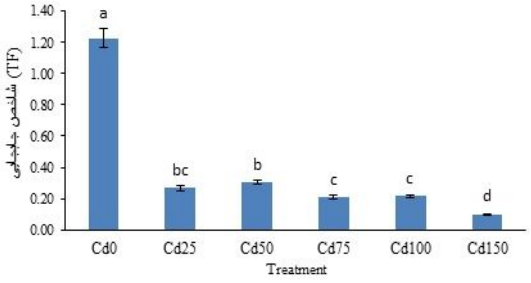
برداشت کادمیم براساس وزن خشک کل گیاه

کارایی برداشت کادمیم در واقع غلظت کل فلز انباشت شده در گیاه به‌میزان کل فلز اضافه شده به بستر رشد است(۳۲). برداشت کادمیم از خاک توسط گیاه، بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌دار داشت ($P\leq$۰/۰۵). کارایی برداشت کادمیم بین ۰/۱۹ تا ۱/۱۷ درصد متغیر بود (شکل ۴). این موضوع گویای یکی از نقاط ضعف فرآیند گیاه‌پالایی یعنی زمان زیاد برای اصلاح کامل محیط (در اینجا برداشت کادمیم از خاک) است. درصد کارایی برداشت کادمیم با افزایش غلظت کادمیم اضافه شده به خاک بستر رشد کاهش یافت که می‌تواند در اثر کاهش تولید وزن خشک گیاه تحت تأثیر غلظت‌های بالای کادمیم باشد. بنابراین خصوصیات فیزیولوژیک گیاه، مانند وزن زیست‌توده و همچنین قدرت جابجایی کادمیم از ریشه به

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]



شکل ۵. شاخص تجمع زیستی تحت تأثیر تیمارهای کادمیم . حروف مختلف نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است. ستون‌ها معرف میانگین ± انحراف معیاری است. $Cd_{۰}$، $Cd_{۲۵}$، $Cd_{۵۰}$، $Cd_{۷۵}$، $Cd_{۱۰۰}$ و $Cd_{۱۵۰}$ به‌ترتیب ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک می‌باشد



شکل ۶. شاخص جابجایی کادمیم تحت تأثیر تیمارهای کادمیم . حروف مختلف نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است. ستون‌ها معرف میانگین ± انحراف معیاری است. $Cd_{۰}$، $Cd_{۲۵}$، $Cd_{۵۰}$، $Cd_{۷۵}$، $Cd_{۱۰۰}$ و $Cd_{۱۵۰}$ به‌ترتیب ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک می‌باشد

شاخساره در امتداد آوند چوبی، بر کارایی برداشت عنصر از محیط تأثیرگذار است (۱۲).

شاخص‌های تجمع زیستی و جابجایی کادمیم

شاخص تجمع زیستی نسبت غلظت فلزات سنگین در ریشه گیاه به خاک می‌باشد درحالی که شاخص جابجایی، نسبت غلظت عنصر در بخش هوایی گیاه به خاک و در برخی منابع نسبت غلظت عنصر در شاخساره به ریشه است (۳۲). شاخص تجمع زیستی در تیمارهای مختلف کادمیم بین ۰/۵۶ تا ۷/۴۱ متغیر بود و بین تیمارها تفاوت معنی‌دار وجود داشت ($P\leq ۰/۰۵$) که در شکل ۵ مقدار این شاخص در تیمارهای مختلف نشان داده شده است. مقدار این شاخص در تیمارهای مختلف به استثنای تیمار شاهد بیشتر از ۱ بود. شاخص جابجایی در همهٔ تیمارها به‌جز تیمار شاهد کمتر از یک (و به‌طور دقیق‌تر کمتر از ۰/۴) بود که بیانگر قدرت کم جابجایی کادمیم از خاک به گیاه و یا از ریشه به شاخساره بوده است (شکل ۶). به‌عبارت دیگر برای انتقال کادمیم به گیاه و یا انتقال آن به اندام‌های هوایی گیاه محدودیت وجود داشته است که وابسته به خصوصیات خاک و نوع گیاه است (۱۶). نتایج مشابهی توسط متشرع‌زاده و همکاران (۲۳) در گیاه‌پالایی خاک آلوده به کادمیم با استفاده از گیاه آفتابگردان گزارش شده است. کادمیم می‌تواند از طریق محلول خاک وارد گیاه شده و قبل از ورود به آوند چوبی و جابجایی به قسمت هوایی گیاه از دو راه اپوپلاسمیک و سیمپلاسمیک وارد بافت ریشه شود (۲۰). در واقع سازوکارهای مختلفی در گیاه وجود دارد که می‌تواند جابجایی کادمیم را به‌سمت اندام هوایی محدود کند. جابجایی سیمپلاسمیک کادمیم به آوند چوبی می‌تواند از طریق تولید کلات‌های گیاهی و ذخیرهٔ کادمیم در واکوئل محدود شود. همچنین، جابجایی آپوپلاسمیک کادمیم می‌تواند به‌دلیل توسعهٔ بافت اندودرم، اگزودرم و بعضی از موانع خارج سلولی محدود گردد (۲۰).

همبستگی بین کادمیم کل در خاک و گیاه

همبستگی مثبت بین غلظت کل کادمیم در خاک بستر رشد و گیاه *Jatropha curcas* وجود داشت ($r=۰/۹۷$). این موضوع نشان داد که غلظت کل کادمیم جذب شده توسط گیاه با افزایش غلظت کادمیم اضافه شده به خاک افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی در مورد گیاه سپیدار (۳۵) گزارش شده است. برعکس لو و همکاران (۱۹) گزارش دادند که همبستگی منفی بین تجمع کادمیم ، سرب و کروم در گیاه *Vetiveria zizanioides* و غلظت فلزات اضافه شده به خاک وجود داشت. شاید دلیل این امر حساسیت زیاد و قدرت تحمل کم گیاه به فلزات مذکور باشد که از جذب فلز توسط گیاه جلوگیری می‌کند.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]

نتیجه‌گیری

کاشت گیاه *Jatropha curcas* در خاک آلوده به کادمیم نشان داد که این فلز بیشتر در ریشه گیاه در مقایسه با ساقه و برگ تجمع یافت. غلظت کل کادمیم انباشت شده در گیاه فقط در تیمارهای حاوی کادمیم زیاد ($Cd_{۷۵}$، $Cd_{۱۰۰}$ و $Cd_{۱۵۰}$) بیش از حد نصاب تعیین شده برای گیاهان بیش‌انباشتگر کادمیم بود که با درنظر گرفتن اثر سمیت کادمیم، کاهش رشد گیاه و تولید زیست‌توده کمتر ممکن است باعث تغلیظ فلز در گیاه شده باشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد گیاه مذکور برای فرایند Phytoextraction کادمیم مناسب نیست. کم بودن شاخص جابجایی (کمتر از ۱) این‌گونه به پتانسیل گیاه پالایی آن از طریق تثبیت کادمیم برای جلوگیری از توزیع این فلز در خاک آلوده اشاره دارد. میزان بالای شاخص تجمع زیستی (نسبت غلظت فلز در ریشه به خاک) در تیمارهای مختلف کادمیم نیز این موضوع را تأیید می‌کند. با این وجود انجام پژوهش‌های بیشتر به‌ویژه درعرصه‌های طبیعی آلوده و در حضور سایر آلاینده‌ها توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت علمی و مادی سازمان بنادر و دریانوردی به انجام رسیده است. همچنین از دکتر تی مودا محمد محمود عضو هیات علمی دانشگاه پوترای مالزی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

1. Agamuthu, P., O. P. Abioye and A. A. Aziz. 2010. Phytoremediation of soil contaminated with used lubricating oil using *Jatropha curcas*. J. Hazard. Mater. 179: 891-894.
2. Akbar, M., O. Ahmed, A. Jamaluddin, N. Majid, H. Abdul-Hamid, S. Jusop, A. Hassan, K. H. Yusof and A. Abdu. 2010. Differences in soil physical and chemical properties of rehabilitated and secondary forests. Am. J. Appl. Sci. 7: 1200-1209.
3. Alkorta, I and C. Garbisu. 2001. Phytoremediation of organic contaminants in soils. Biores. Technol. 79: 273-276.
4. Alkorta, I., J. Hernández-Allica, J. Becerril, I. Amezaga, I. Albizu and C. Garbisu. 2004. Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic. Rev. J. Environ. Sci. Biotechnol. 3: 71-90.
5. Alloway, B. J. 1995. Heavy Metals in Soils. Springer. pp: 339-367
6. Baker, A. J. M. 1981. Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. J. Plant Nutr. 3: 1-4.
7. Barceló, J. and C. Poschenrieder. 2003. Phytoremediation: principles and perspectives. Contrib. Sci. 2: 333-344.
8. Benavides, M. P., S. M. Gallego and M. L. Tomaro. 2005. Cadmium toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol.17: 21-34.
9. Chang, F. C., Ko C. H., Tsai, M. J., Wang, Y. N and Chung, C. Y. 2014. Phytoremediation of heavy metal contaminated soil by *Jatropha curcas*. Ecotoxicol. 23 (10): 1969-1978.
10. Chiang, P. N., M. K. Wang, C. Y. Chiu and S. Y. Chou. 2006. Effects of cadmium amendments on low molecular weight organic acid exudates in rhizosphere soils of tobacco and sunflower. Environ. Toxicol. 21: 479-488.
11. Garbisu, C and I. Alkorta. 2001. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. Bioresour. Technol. 77: 229-236.
12. Hart, J. J., R. M. Welch, W. A. Norvell, L. A. Sullivan and L. V. Kochian. 1998. Characterization of cadmium binding, uptake, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. Plant Physiol. 116: 1413-1420.
13. Iannelli. M. A., F. Pietrini, L. Fiore, L. Petrilli and A. Massacci. 2002. Antioxidant response to cadmium in *Phragmites australis* plants. Plant Physiol. Biochem. 40: 977-982.
14. Kabata-Pendias, A and H. Pendias. 1984. Trace Elements in Plants and Soils. CRC Press, Florida, USA, p. 413.
15. Karaca A. 2004. Effect of organic wastes on the extractability of cadmium, copper, nickel, and zinc in soil. Geoderma 122: 297-303.
16. Kirkham, M. B. 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. Geoderma 137: 19-32.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]

17. Lasat, M. M. 2002. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. J. Environ. Qual. 31: 109-120.
18. Li, J. T., B. Liao, Z. Dai, R. Zhu and W. S. Shu. 2009. Phytoextraction of Cd-contaminated soil by carambola (*Averrhoa carambola*) in field trials. Chemosphere 76: 1233-1239.
19. Lu, H., X. Zhang, L. Bi-rong and X. Di-lou. 2005. Comparison of the accumulation ability of *Vetiveria zizanioides* to several heavy metals in soil. J. Biol. 5: 20-23.
20. Lux, A., M. Martinka, M. Vaculík and P. J. White. 2011. Root responses to cadmium in the rhizosphere: A review. J. Exp. Bot. 62: 21-37.
21. Mangkoedihardjo, S., A. Surahmaida. 2008. *Jatropha curcas* L. for phytoremediation of lead and cadmium polluted soil. World Appl. Sci. J. 4: 519-522.
22. Manousaki, E., J. Kadukova, N. Papadantonakis and N. Kalogerakis. 2008. Phytoextraction and phytoexcretion of Cd by the leaves of *Tamarix smyrnensis* growing on contaminated non-saline and saline soils. Environ. Res. 106: 326-332.
23. Motesharezadeh, B., G. R. Savaghebi-Firozabadi, H. A. Alikhani and H. M. Hosseini. 2008. Effect of sunflower and amaranthus culture and application of inoculants on phytoremediation of the soils contaminated with cadmium. American-Eurasian J. Agr. Environ. Sci. 4: 93-103.
24. Nagaraju, A and S. Karimulla. 2002. Accumulation of elements in plants and soils in and around Nellore mica belt, Andhra Pradesh, India: a biogeochemical study. Environ. Geol. 41: 852-860.
25. Niu, Z. X., L. N. Sun, T. H. Sun, Y. S. Li and H. Wang. 2007. Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. J. Environ. Sci. 19: 961-967.
26. Orcutt, D. M and E. T. Nilsen. 2000. The Physiology of Plants under Stress: Soil and Biotic Factors: John Wiley and Sons Inc. PP. 326-332.
27. Parawira W. 2010. Biodiesel production from *Jatropha curcas*: A review. Sci. Res. Essays. 5: 1796-1808.
28. Pinto, A. P., A. M. Mota, A. De Varennes and F. C. Pinto. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. Sci. Total Environ. 326: 239-247.
29. Sarma, H. 2011. Metal hyperaccumulation in plants: A review focusing on phytoremediation technology. Environ. Sci. Technol. 4: 118-138.
30. Singh, O. V., S. Labana, G. Pandey, R. Budhiraja and R. K. Jain. 2003. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. Appl. Microbiol. Biotechnol. 61: 405-412.
31. Singh, R., M. Kumar, E. Haider. 2007. Synergistic cropping of summer groundnut with *Jatropha curcas*- a new two-tier cropping system for Uttar Pradesh. Agr. Res. 5: 1-2.
32. Soleimani, M., M. A. Hajabbasi, M. Afyuni, A. Mirlohi, O. K. Borggaard and P. E. Holm. 2010. Effect of endophytic fungi on cadmium tolerance and bioaccumulation by *Festuca arundinacea* and *Festuca pratensis*. Inter. J. Phytorem.12: 535-549.
33. Solís-Domínguez, F. A., M. C. González-Chávez, R. Carrillo-González and R. Rodríguez-Vázquez. 2007. Accumulation and localization of cadmium in *Echinochloa polystachya* grown within a hydroponic system. J. Hazard. Mater.141: 630-636.
34. Susarla, S., V. F. Medina and S. C. McCutcheon. 2002. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. Ecol. Eng. 18: 647-658.
35. Wu, F., W. Yang, J. Zhang and L. Zhou. 2009. Cadmium accumulation and growth responses of a poplar (*Populus deltoids* × *Populus nigra*) in cadmium contaminated purple soil and alluvial soil. J. Hazard. Mater. 177: 268-273.
36. Yadav, S. K., A. A. Juwarkar, G. P. Kumar, P. R. Thawale, S. K. Singh and T. Chakrabarti. 2009. Bioaccumulation and phyto-translocation of arsenic, chromium and zinc by *Jatropha curcas* L. Impact of dairy sludge and biofertilizer. Bioresour. Technol. 100: 4616-4622.
37. Yoon, J., X. Cao, Q. Zhou and L.Q. Ma. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Sci. Total Environ. 3: 456-464.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.73.15.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.73.179]