ارزیابی برخی شاخص‌های رشدی و توانایی تجمع کادمیوم در بخش‌های هوایی و ریشه‌ای پنیرک (*Malva parviflora* L.) در شرایط هیدروپونیک

پرژک ذوفن[1*]، الهام نیسی[1] و سعادت رستگارزاده[2]

[1]اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی

[2]اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم، گروه شیمی

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۷

چکیده

در این مطالعه جذب و تجمع کادمیوم و برخی شاخص‌های رشدی در پنیرک در شرایط کشت هیدروپونیک بررسی شد. به دنبال جمع‌آوری بذر از منطقه صنعتی شرکت فولاد خوزستان، بذرها در گلدان‌های حاوی خاک هوموس کشت و در شرایط کنترل شده اتاق کشت نگهداری شدند. گیاهان ۴۷ روزه به محیط کشت‌های غذایی مایع حاوی ۰ (شاهد)، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار کادمیوم منتقل شدند و برداشت گیاهان در زمان‌های ۰، ۱، ۲، ۶، ۱۰ و ۱۴ روز پس از اعمال تیمارهای کادمیوم انجام گردید. بر اساس این نتایج، با افزایش غلظت کادمیوم در محیط، غلظت آن در اندام‌های هوایی و ریشه‌ای افزایش یافت. باوجوداین، هم غلظت و هم جذب کادمیوم در ریشه‌ها مقادیر بالاتری را در مقایسه با بخش‌های هوایی نشان داد. حداکثر غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه‌ای به‌ترتیب ۲۲۴ و ۱۵۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک در غلظت ۱۰۰ میکرومولار سنجش شد. در هر برداشت زمانی با افزایش غلظت کادمیوم، طول، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه‌ای و سطح پهنک و شاخص تحمل کاهش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان دادند. با توجه به فاکتور انتقال کمتر از یک، به نظر می‌رسد که ریشه‌های پنیرک اساسا از توانمندی بالاتری برای تجمع کادمیوم در قیاس با بخش‌های هوایی برخوردار هستند. بر اساس این نتایج، احتمالا پنیرک با کاهش انتقال بیشتر کادمیوم به بخش‌های هوایی از بروز اثرات سمی این فلز ممانعت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: کادمیوم، جذب، تغلیظ زیستی، رشد

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۶۱۳۳۳۳۱۰۴۵ ، پست الکترونیکی: p.zoufan@scu.ac.ir

مقدمه

کادمیوم یک فلز سنگین به شدت سمی و جزو عناصر غیر ضروری برای رشد و نمو گیاهی است که استفاده از کودهای فسفاته و انجام فعالیت های صنعتی منجر به آزادسازی آن در خاک می شود (۲۴). کادمیوم حاصل از فعالیت های انسانی دارای قابلیت تحرک بالاتری نسبت به کادمیوم ایجاد شده در اثر فعالیت های طبیعی زمین در خاک می‌باشد. تجمع کادمیوم در خاک نامطلوب است، زیرا توسط میکروارگانیسم های خاک تجزیه نمی شود، علاوه براین، فرار بودن این فلز به انتقال آن در فواصل طولانی همراه با جریان هوا کمک می کند (۳). کادمیوم به علت تحرک بالا و ویژگی آب دوستی اش به سهولت توسط ریشه گیاهان جذب و از طریق آوندهای چوبی با کمک جریان تعرق به بخش های هوایی منتقل می شود و به‌ویژه در برگ ها تجمع می یابد که این می تواند باعث ورود آن به زنجیره های غذایی شده، سلامت و حیات موجودات زنده را تهدید نماید (۱۷). بنابراین، افزایش غلظت کادمیوم در خاک منجر به افزایش غلظت آن در بافت های گیاهی می گردد. برخی مطالعات حاکی از آن

است که انتقال کادمیوم در گیاه شامل دو مرحله اساسی است (۱۷). در مرحله اول که وابسته به صرف انرژی است کادمیوم از محیط جذب ریشه می شود و در مرحله دوم که با نیروی تعرق تحریک می گردد، کادمیوم از طریق آوندهای چوبی ریشه به برگ ها انتقال می یابد. در گیاهان پیشنهاد شده است که بسیاری از ناقلان کاتیون های ریز مغذی دو ظرفیتی قادر به انتقال کادمیوم می باشند. به نظر می رسد که جذب کادمیوم از محیط به درون سلول های ریشه بواسطه ناقلانی از خانواده پروتئین های ZIP بنام IRT(Iron-regulated transporter)و همچنین ناقلانی از خانواده پروتئین های Nramp (Natural resistance-associated macrophage protein)انجام می شود (۳۰). انتقال کادمیوم از ریشه ها به بخش های هوایی توسط آوندهای چوبی یک عامل تعیین کننده در تجمع این فلز در برگ‌هاست. در بارگیری کادمیوم به آوندهای چوبی برای انتقال از ریشه به بخش هوایی ناقلان HMA مشارکت دارند که نوعی پمپ محسوب می شوند. برخی از این ناقلان در حجره بندی و احتباس واکوئلی کادمیوم در سلول های ریشه نقش مهمی ایفا می نمایند (۳۲). با توجه به اثرات سمی کادمیوم برای موجودات زنده، تلاش های فراوانی برای حذف یا کاهش این فلز از محیط با استفاده از روش های فیزیکی و شیمیایی انجام شده است. در سال های اخیر به استفاده از گیاهان به عنوان یک ابزار بیولوژیک ارزان قیمت و دوستدار محیط زیست برای حذف فلزات سنگین از محیط توجه فراوانی شده است. در راستای این هدف، بسیاری از گونه های گیاهی برای بررسی توانایی تجمع کادمیوم مورد مطالعه قرار گرفته و تعداد کثیری از آنها به عنوان بیش انباشتگر (Hyperaccumulator) این فلز شناسایی شده اند (۱۷). بطور مشخص، گیاهان بیش انباشتگر توانایی تغلیظ بیش از ۱۰۰ میلی گرم کادمیوم در هر کیلوگرم وزن خشک اندام هوایی را با فاکتور انتقال بالاتر از یک و بدون بروز علائم سمیت دارند (۶). علی رغم شناسایی بسیاری از گونه های گیاهی بیش انباشتگر کادمیوم، بیشتر آنها به دلیل داشتن بیوماس پایین، میزان رشد آهسته، محدودیت های جغرافیایی و آب و هوایی و عدم تحمل غلظت های بالای کادمیوم برای اهداف گیاه پالایی (Phytoremediation) در سطح وسیع مناسب نمی باشند (۱۷). تعداد محدودی از بیش انباشتگرهای کادمیوم برای پاکسازی محیط در شرایط میدانی انتخاب شده اند که از آنها می توان به *Thlaspi caerulescens* (۲۲)، *Arabidopsis halleri* (۳۰)، *Phytolacca americana* (۱۹)، *Picris divaricata* (۱۲) و *Gnaphalium affine* (۱۶) اشاره نمود. در بیشتر گیاهان غلظت کادمیوم در ریشه ها بالاتر از بخش های هوایی است و تنها در گیاهان بیش انباشتگر که تحمل فوق العاده بالایی به تجمع برگی فلزات سنگین دارند، عکس این وضعیت صادق است (۱۱). برای کاهش جذب کادمیوم توسط سلول های ریشه، گیاهان از راهکارهایی مانند خروج کادمیوم و غیر متحرک سازی آن توسط اسید های آلی آزاد شده در ریزوسفر استفاده می کنند. با ورود کادمیوم به سلول، مکانیسم های داخل سلولی مانند ورود به واکوئل و کلاته کردن با کمپلکس های فلزی و فعالیت آنتی اکسیدان ها منجر به افزایش تحمل در برابر آسیب های ناشی از این فلز می گردد (۱۳).

مطالعات فراوانی برای بررسی توانایی گونه های مختلف گیاهی در جذب و تجمع کادمیوم انجام و نتایج متفاوتی در این رابطه ارائه شده است. کشت گیاهان *Lactuca sativa*، *T. arvense* و *T. caerulescens* در غلظت ۱۰۰ میکرومولار کادمیوم مشخص کرد که ریشه ها از توان بیشتری در تجمع کادمیوم نسبت به برگ ها برخوردار هستند (۲۱). *Nicotiana sylvestris* در حضور کادمیوم، بیشترین و کمترین تجمع را به ترتیب در برگ ها و ریشه ها نشان داد (۲۴). مطالعات جذب در *Juncus maritimus* و *Phragmites australis* نشان داد که کادمیوم اساسا در اندام های زیرزمینی تجمع بالاتری را نسبت به اندام های هوایی دارد (۷). تیمار کادمیوم در آفتابگردان نشان داد که

ریشه ها قابلیت بالاتری در تجمع این فلز در مقایسه با بخش هوایی دارند (۱۰). Zhang و همکاران (۲۰۱۵) با اعمال غلظت های مختلف کادمیوم در دو رقم *Ricinus communis* گزارش نمودند که ریشه ها بطور معنی داری توانایی بالاتری در تجمع کادمیوم در مقایسه با برگ ها و ساقه ها دارند.

Liu و همکاران (۲۰۱۶) با تیمار غلظت های مختلف کادمیوم گزارش نمودند که حداکثر تجمع به ترتیب در برگ ها، ساقه ها و ریشه های *Nicotiana tabacum* برای همه تیمارها وجود دارد. رشد *Alternanthera bettzickiana* در غلظت های مختلف کادمیوم مشخص کرد که اگرچه با افزایش غلظت کادمیوم تجمع آن هم در ریشه و هم در بخش هوایی نسبت به شاهد افزایش می یابد، اما این تجمع در بخش هوایی بطور قابل توجهی بالاتر است (۲۹).

برخی گونه های پنیرک مانند *Malva sinensis* با داشتن مقادیر بالایی از فاکتور های انتقال و تغلیظ زیستی، به عنوان بیش انباشتگر کادمیوم گزارش شده اند (۳۵). فعالیت های صنعتی مانند ذوب فلز می توانند منجر به آزادسازی فلزاتی مانند کادمیوم در محیط و افزایش قابلیت دسترسی ریشه ها به آن شوند. بنابراین، بررسی توزیع و تجمع فلزات سنگین در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی توسط گونه های گیاهی رشد یافته در این مناطق که سازگار با شرایط محیطی آن هستند، می تواند اطلاعات مفیدی در این رابطه با توانایی جذب این فلزات به‌ویژه برای اهداف گیاه پالایی و مسائل زیست محیطی فراهم نماید. گونه *Malva parviflora* L.، به عنوان یک گیاه علفی یکساله، توزیع وسیعی در ناحیه صنعتی شرکت فولاد خوزستان واقع در جنوب شرقی اهواز دارد و دارای مصارف دارویی و غذایی فراوانی است. مطالعات میدانی اولیه در این منطقه حاکی از آن است که این گیاه به عنوان یک گونه علفی غالب در منطقه قادر به تجمع مقادیر بالاتری از برخی فلزات سنگین در ریشه ها و بخش های هوایی نسبت به خاک می باشد (۳۶)، علاوه بر این، نتایج حاصل از بررسی های میدانی در منطقه فوق مشخص نمود که ریشه های این گیاه تجمع بالاتری از کادمیوم را در مقایسه با بخش های هوایی نشان می دهند (نتایج چاپ نشده). بنابراین، این تحقیق به عنوان یک کار مقدماتی و با هدف درک بیشتر در توزیع و تجمع کادمیوم در بخش های هوایی و ریشه ای گونه *M. parviflora* (جمع آوری شده از منطقه صنعتی فولاد خوزستان) در شرایط کنترل شده رشدی انجام شد تا توانایی این گونه در تجمع و تغلیظ کادمیوم مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روشها

شرایط کشت گیاهان: بذرهای پنیرک (*Malva parviflora* L.) در اواسط اردیبهشت از منطقه صنعتی شرکت فولاد خوزستان، واقع در جنوب شرقی اهواز، جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۲۰ درصد و سه مرتبه شستشو با آب مقطر، برای جذب آب کافی ۲۴ ساعت در دمای اتاق در آب مقطر خیسانده شدند. برای کشت گلدانی (در سینی های نشاء)، بذرها در سطح خاک تجاری هوموس همراه با مقداری کود NPK (۱۴/۷: ۴/۵: ۱۲/۴) و در شرایط اتاق کشت با دوره نوری ۸ ساعت روشنایی/ ۱۶ ساعت تاریکی، میانگین شدت نور ۱۵۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه و دمای شبانه‌روزی $^{\circ}C$ ۲± ۲۵ قرار گرفتند. سینی های نشاء سه بار در هفته با آب شهری آبیاری شدند. با گذشت ۴۰ روز در حالی که گیاهان در مرحله ۴ برگی بودند به کشت هیدروپونیک با ترکیب غذایی کامل و فرمول اصلاح شده جانسون (۲۴)، pH برابر با ۶-۵/۵ و شرایط رشدی ذکر شده به مدت یک هفته برای سازگاری انتقال یافتند. سپس با انتقال گیاهان به تانک های ۱۰ لیتری دارای محلول های غذایی جدید و حاوی غلظت های مختلف نیترات کادمیوم شامل ۰

(شاهد)، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار، گیاهان در روزهای ۰، ۱، ۲، ۶، ۱۰ و ۱۴ روز پس از اعمال تیمار برداشت شدند (۲۷) تا توانایی جذب و تجمع غلظت های مختلف کادمیوم توسط پنیرک طی ۱۴ روز مورد ارزیابی قرار گیرد. در طی مدت آزمایش، به منظور ممانعت از کاهش غلظت عناصر غذایی تعویض محیط کشت هر سه روز یکبار انجام و همچنین برای دسترسی ریشه ها به اکسیژن کافی از پمپ های هوادهی استفاده گردید. در هر تانک ۳۵ گیاه بر روی صفحات یونولیتی شناور به نحوی تثبیت شدند که ریشه ها کاملا در محلول غذایی و بخش های هوایی در بالای سطح یونولیت ها قرار گرفتند. در هر برداشت زمانی برای هر تیمار کادمیوم، ۳۵ گیاه (کل گیاهان موجود در یک تانک) انتخاب و از محل طوقه قطع شدند و میانگین طول، وزن تر و وزن خشک ریشه و بخش هوایی و همچنین سطح پهنک اندازه گیری شد. برای محاسبه سطح پهنک سه برگ بخش میانی برای هر گیاه انتخاب و مساحت با استفاده از کاغذ شطرنجی بر حسب میلی متر مربع محاسبه گردید.

اندازه‌گیری میزان کادمیوم: بلافاصله در هر برداشت زمانی به منظور حذف کادمیوم از سطح ریشه، ریشه ها در محلول ۰/۱ مولار Na_2-EDTA به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفته، سپس دومرتبه با آب دوبار تقطیر شستشو شدند (۳۳). بخش های هوایی (شامل ساقه و برگ) و ریشه ها بصورت جداگانه با کمک آون در دمای $70^{\circ}C$ به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند و از آنها برای تهیه پودر استفاده گردید. عصاره گیری از پودر خشک بخش های هوایی و ریشه ای مطابق با روش Kovacs و همکاران (۱۹۹۶) انجام شد. ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد به یک گرم از پودر خشک گیاهی اضافه شد و نمونه ها در دمای آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس اسید نمونه ها با استفاده از حرارت هیتر تبخیر و ۱ میلی لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد اضافه گردید و تا زمان شفاف شدن حرارت دهی ادامه یافت. در نهایت نمونه هضم شده با اسید با کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف و عصاره شفاف با آب دوبار تقطیر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. برای تعیین میزان کادمیوم موجود در نمونه های گیاهی ریشه و بخش هوایی از دستگاه جذب اتمی شعله ای (مدل Avanta GBC، ساخت کشور استرالیا) استفاده و مقدار این فلز برحسب میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک در مقایسه با محلول های استاندارد $Cd(NO_3)_2 .4H_2O$ بیان گردید. فاکتور انتقال (Translocation factor, TF) با تقسیم غلظت کادمیوم در بخش هوایی به بخش ریشه ای و فاکتور تغلیظ زیستی (Bioconcentration factor, BF) ریشه و بخش هوایی با تقسیم نسبت غلظت کادمیوم در بافت به محیط کشت غذایی محاسبه شد. شاخص تحمل ریشه (Index of tolerance, IT) بصورت نسبت طول ریشه در محیط حاوی کادمیوم به طول ریشه در محیط فاقد کادمیوم تعریف شد (۳۴). برای محاسبه شاخص جذب (Uptake index, UI)، از حاصلضرب وزن خشک گیاه (بر حسب کیلوگرم) در غلظت کادمیوم در گیاه مطابق با Aravind و Prasad (۲۰۰۵) استفاده شد.

نتایج ارائه شده در این تحقیق، میانگین سه تکرار هستند. انجام آنالیز واریانس یکطرفه ANOVA و بعد مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح اطمینان $p < 0.05$ با کمک نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

نتایج

پنیرک به مدت ۱۴ روز در شرایط کشت هیدروپونیک با غلظت های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار کادمیوم و محلول غذایی با ترکیب کامل بدون کادمیوم (شاهد) تیمار شد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس بررسی تأثیر غلظت کادمیوم بر شاخص های مرتبط با جذب و رشد در سطح اطمینان $p < 0.05$ در جدولهای ۱ و ۲ ارائه شده است. در هر برداشت، میانگین تأثیر غلظت های مختلف کادمیوم بر میزان تجمع کادمیوم و شاخص های مرتبط با جذب و

رشد با یکدیگر و با گروه کنترل در سطح $p < 0.05$ مورد مقایسه قرار گرفتند.

جدول۱- تجزیه واریانس تاثیر غلظت های مختلف کادمیوم بر شاخص های مرتبط با جذب

			میانگین مربعات							
	منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت کادمیوم اندام	غلظت کادمیوم ریشه	تجمع کادمیوم	تجمع کادمیوم در	TF	ShBF	RBF	IT	UI
T1	غلظت کادمیوم	۳	۲۴۸۴/۵*	۶۶۸۶/۸*	۲/۶۶*	۶/۸۵*	۰/۳۱۵*	۱۶۵۳/۸*	۴۱۱۷/۳۸*	۷۰۸۲/۴۹*	۱۷/۵۱*
	خطا	۸	۴/۸۸	۳۴/۳۷	۰/۰۱	۰/۰۶۲	۰/۰۰۴	۸/۴۶۶	۷۸/۰۲	۱۶/۲۴	۰/۰۷۸
T2	غلظت کادمیوم	۳	۳۱۹۰/۶۹*	۱۲۶۳۸/۵۵*	۲/۷۰۱*	۹/۹۲*	۰/۲۳۵*	۱۳۸۲/۲۹*	۵۳۴۶/۹۱*	۵۰۳۷/۲۱*	۲۲/۷۵*
	خطا	۸	۵/۲۱۶	۷/۰۰۵	۰/۰۲۲	۰/۰۴۵	۰/۰۰	۴/۰۸۳	۲۱/۷۸	۷/۸۱	۰/۱۲۵
T6	غلظت کادمیوم	۳	۵۸۷۸/۳۲*	۶۴۴۶۱۴/۵۳*	۲/۸۲*	۲۵۳/۵۵*	۰/۳۵۷*	۱۲۵۲/۸۳۷*	۱۰۲۵۳۶/۵*	۳۶۳۵/۷۹*	۲۸۸/۱۱*
	خطا	۸	۳۸/۱۸	۲۳۰/۱۲	۰/۰۲۸	۰/۲۷۹	۰/۰۰۲	۱۱/۵۰	۳۶/۸۰	۱/۰۷۵	۰/۳۱۴
T10	غلظت کادمیوم	۳	۹۳۵۶/۶۴*	۱۲۹۱۱۶۹/۵۴*	۲/۷۳*	۳۲۲/۲۲*	۰/۲۱*	۸۷۱/۱۱*	۸۵۰۴۰/۵۱*	۱۱۵۱/۰۶*	۳۶۳/۴۶*
	خطا	۸	۶۴/۸۷	۲۷۰/۱۴	۰/۰۰۹	۱/۱۳۱	۰/۰۰	۲۸/۰۳	۱۲۸۶/۳۳	۳/۳۴	۱/۲۰
T14	غلظت کادمیوم	۳	۲۶۰۱۸/۲۴*	۱۸۰۷۸۸/۲۶*	۳/۲۳*	۲۲۵/۸*	۰/۲۴۲*	۱۱۰۱/۴۹*	۶۴۶۸۸/۱۲*	۴۱۳/۸۰*	۲۶۷/۳۷*
	خطا	۸	۴۸/۹۱	۴۲۵/۲۴	۰/۱۱۵	۳/۴۰	۰/۰۰	۷/۴۷	۸۹/۸۶	۴/۷۰	۴/۶۸

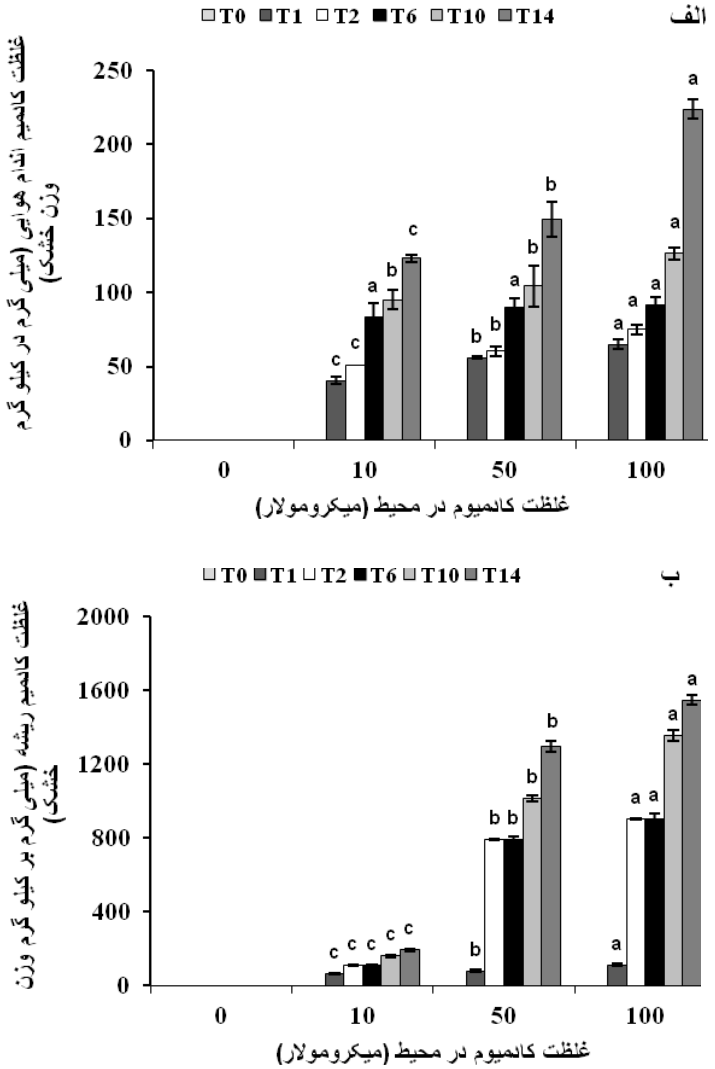
* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد. TF فاکتور انتقال، ShBF فاکتور تغلیظ زیستی اندام هوایی، RBF فاکتور تغلیظ زیستی ریشه، IT شاخص تحمل، UI شاخص جذب.

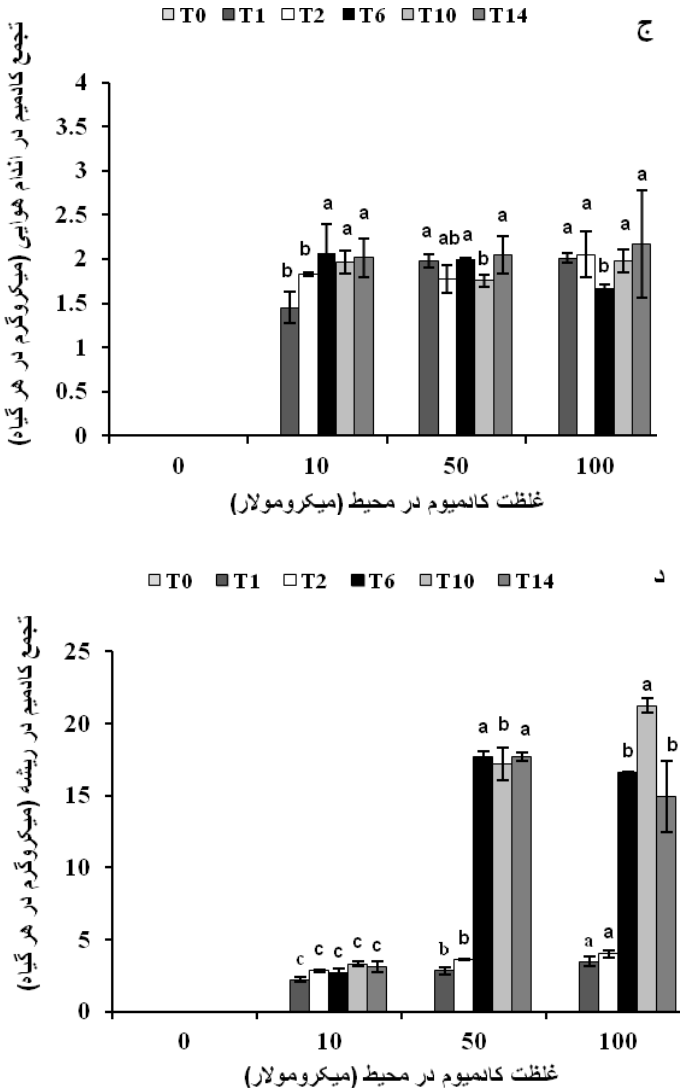
جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر غلظت های مختلف کادمیوم بر شاخص های رشدی

			میانگین مربعات						
	منابع تغییرات	درجه آزادی	طول اندام هوایی	طول ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	سطح برگ
T1	غلظت کادمیوم	۳	۰/۰۲۳	۰/۰۵۹	۵۳/۶۴	۷۰/۰۸*	۳۷/۴۱*	۴/۹۷*	۱۱/۸۱*
	خطا	۸	۰/۰۳۷	۰/۰۴۹	۲۰/۷۵	۴/۷۵	۱/۵۰	۰/۶۶۷	۳/۲۵
T2	غلظت کادمیوم	۳	۰/۲۱	۱/۶۱۶*	۳۹۲۹*	۴۰۶/۸۸*	۱۵۲/۰۸*	۱۳/۶۳*	۵۹۵/۶۵*
	خطا	۸	۰/۰۶	۰/۰۷۵	۱۴۲/۵۸	۵/۶۶	۱/۸۳	۲/۰۰	۲۲/۷۷
T6	غلظت کادمیوم	۳	۴/۰۴*	۱۳/۴۹*	۲۵۴۸۶/۸۸*	۸۷۳/۹۸*	۵۲۵/۱۱*	۹۳/۴۱*	۱۳۴۱/۲۲*
	خطا	۸	۰/۰۴۳	۰/۰۶۸	۳۲	۶/۰۵	۲/۰۸	۰/۸۳۳	۲۶/۸۴
T10	غلظت کادمیوم	۳	۲۸/۰۲*	۴۲/۲۱*	۹۷۸۲۸/۵۵*	۱۴۶۱/۴۴*	۶۸۸/۸۸*	۲۱۹/۶۴*	۱۶۰۵/۶۹*
	خطا	۸	۰/۱۰۸	۰/۱۵۱	۱۷۴/۵	۴/۳۳	۱/۱۶	۰/۵۰	۱۱/۹۶
T14	غلظت کادمیوم	۳	۶۳/۵۴*	۱۱۰/۱۳*	۱۳۹۳۴۵/۲۲*	۲۶۰۰/۵۲*	۱۳۸۳/۶۴*	۳۹۸/۷۵*	۳۴۷۷/۰۸*
	خطا	۸	۰/۱۲۴	۰/۱۳۸	۱۴۸/۷۵	۳/۰۸	۱/۵۰	۰/۷۵	۴/۴۵

* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد.

هر زمان برداشت، هم در بخش هوایی و هم در ریشه با افزایش غلظت کادمیوم، میزان این فلز در اندام های ذکر شده در بیشتر موارد از خود افزایش نشان داد (شکل ۱ الف و ب). حداکثر غلظت کادمیوم در اندام های هوایی و ریشه ای به ترتیب ۶/۸ ± ۲۲۴ و ۲۸/۳ ± ۱۵۴۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاهان رشد یافته در ۱۰۰ میکرومولار در برداشت روز ۱۴ اندازه گیری شد. غلظت کادمیوم در ریشه ها در این برداشت ۶/۹ برابر بیشتر از بخش های هوایی بود. به ازای هر گیاه، میزان جذب کادمیوم اندام های هوایی (بر حسب میکروگرم) در غلظتهای ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار کادمیوم در طی دوره آزمایشی تغییرات قابل توجهی را نشان نداد (شکل۱ج). مقادیر این شاخص بین ۰/۱۷ ± ۱/۴۴ (در ۱۰ میکرومولار و برداشت روز یک) تا ۰/۶ ± ۲/۱۷ میکروگرم (در ۱۰۰ میکرومولار و برداشت روز ۱۴) تغییر کرد. در ریشه ها تغییرات این شاخص قابل توجه بود، به‌طوری که حداقل میزان آن ۰/۱۴ ± ۲/۲۴ (در ۱۰ میکرومولار و برداشت روز یک) و حداکثر میزان آن ۰/۴۹ ± ۲۱/۲۴ (در ۱۰۰ میکرومولار و برداشت روز ۱۰) میکروگرم در هر گیاه محاسبه شد (شکل۱د).

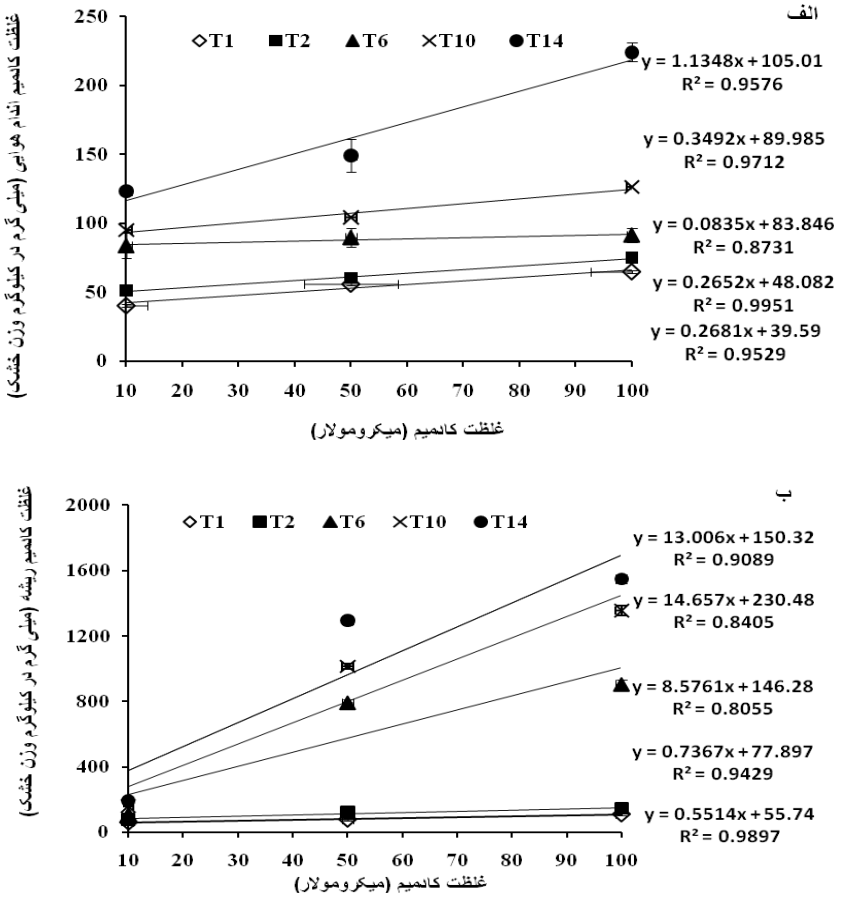




شکل ۱- تاثیر غلظت های مختلف کادمیوم (۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ بر حسب میکرومولار) بر میزان کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک) در الف) اندام هوایی و ب) ریشه و بر تجمع کادمیوم (میکروگرم در هر گیاه) در ج) در اندام هوایی و د) ریشه. مقادیر میانگین سه تکرار ± SD است. در هر برداشت زمانی حروف غیر مشترک بیانگر وجود تفاوت معنی دار بین غلظت های مختلف کادمیوم در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

در بخش های زیرزمینی هر گیاه با افزایش غلظت کادمیوم محیط در هر برداشت زمانی، تجمع کادمیوم نیز افزایش معنی داری ($p < 0.05$) را نسبت به بخش های هوایی از خود نشان داد (شکل ۱د). شکل ۲ ارتباط بین غلظت کادمیوم در محیط را با غلظت آن در اندام های گیاهی نشان می دهد.

همانطور که در شکل ۳ الف و ب مشاهده می شود، کاهش طول اندام هوایی و ریشه ای نسبت به شاهد بوضوح از روز ششم بعد از اعمال تیمارهای مختلف کادمیوم مشخص شد. در روزهای ۱ و ۲ پس از تیمار، اختلاف قابل توجهی در شاخص های فوق در مقایسه با شاهد وجود نداشت. حداقل طول اندام هوایی و ریشه ای به ترتیب ۰/۲ ± ۱/۵ و ۰/۱۲ ± ۱/۵۷ سانتی متر در غلظت ۱۰۰ میکرومولار در برداشت روز ۱۴ تعیین شد، درصد این کاهش در مقایسه با شاهد در اندام هوایی ۸۷ درصد و در اندام ریشه ۸۹/۳۶ درصد بود.

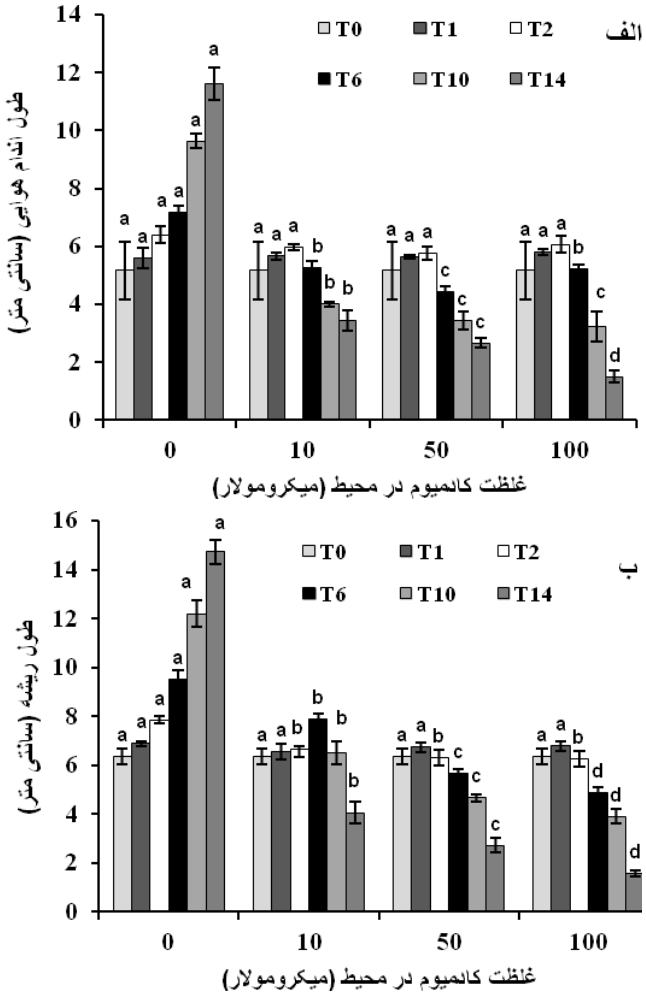


شکل ۲- رابطه بین غلظت کادمیوم (۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ بر حسب میکرومولار) در محیط کشت با غلظت کادمیوم در الف) اندام هوایی و ب) ریشه (میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک). مقادیر میانگین سه تکرار ± SD می باشند.

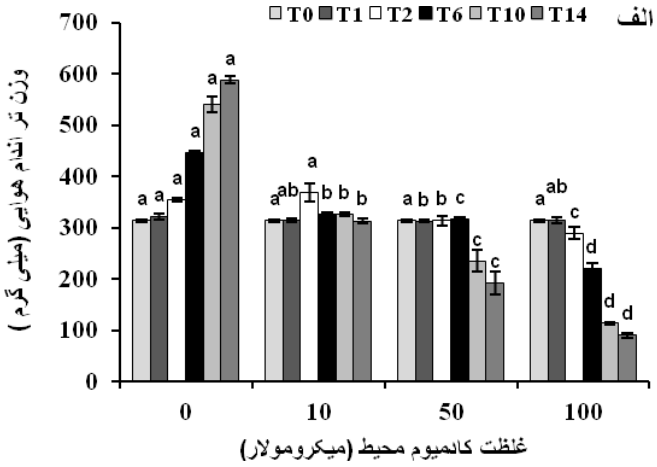
بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۴ الف و ب، غلظت ۱۰۰میکرومولار کادمیوم، به‌ویژه از روز دوم برداشت به بعد منجر به کاهش معنی داری ($p < 0.05$) در وزن تر اندام هوایی و ریشه ای نسبت به شاهد شد، حداقل میزان این شاخص ها در برداشت روز ۱۴ به ترتیب ۴/۷ ± ۹۰/۳ و ۲/۳۱ ± ۶/۳ میلی گرم برای این تیمار اندازه گیری و درصد کاهش وزن تر برای بخش هوایی ۸۴/۶۶ و ۹۰/۶۰ درصد در مقایسه با شاهد در چنین شرایطی تعیین شد. در هر برداشت زمانی، با افزایش غلظت کادمیوم وزن خشک اندام هوایی و ریشه در بیشتر موارد نسبت به شاهد کاهش معنی داری ($p < 0.05$) نشان داد (شکل ۴ ج و د). این کاهش در تیمار ۱۰۰ میکرومولار کادمیوم در برداشت روز ۱۴، به ترتیب ۸۸/۸۸ و ۸۵/۷۰ درصد در مقایسه با شاهد بود. مطابق شکل ۵، سطح پهنک با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت، کاهش معنی داری ($p < 0.05$) نسبت به شاهد در هر برداشت زمانی در بیشتر موارد ارائه داد.

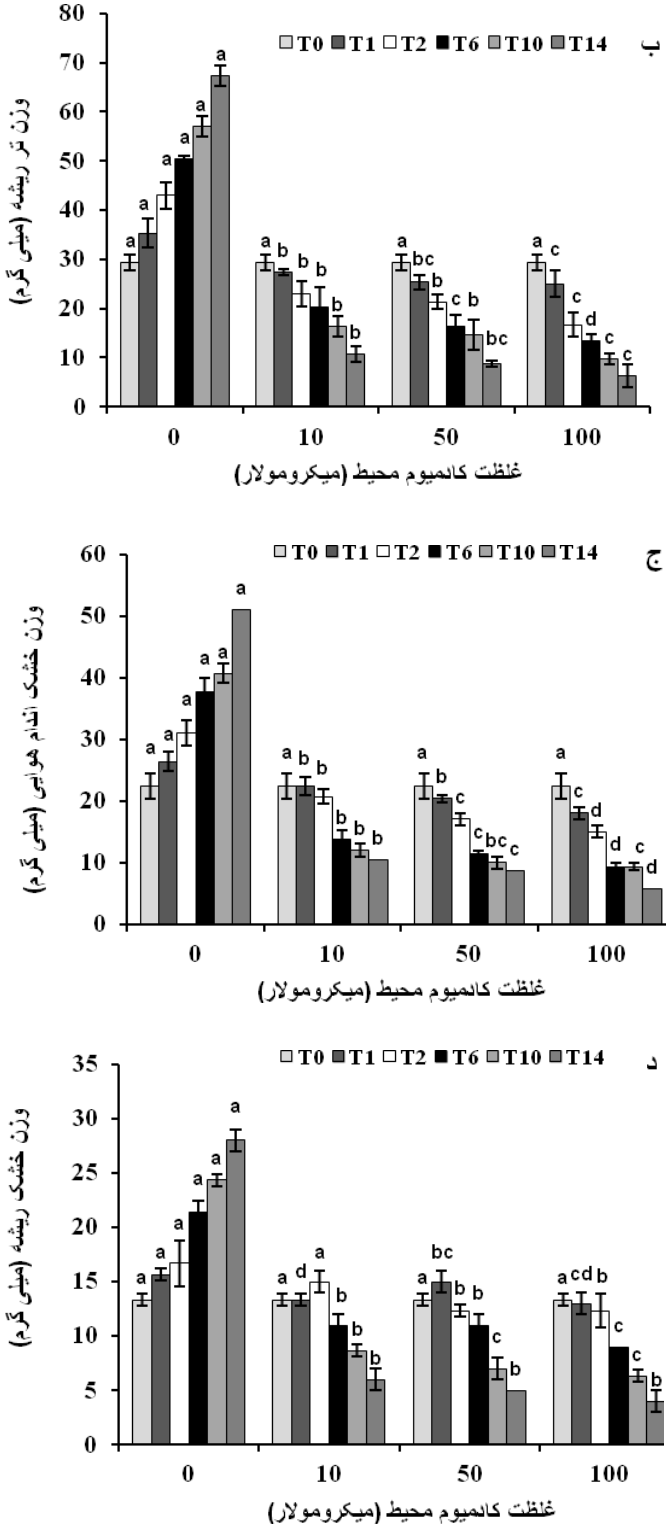
حداکثر و حداقل مساحت پهنک ۱/۷۹ ± ۹۴/۳۷ و ۰/۰۶ ± ۱۸/۹۳ سانتی‌مترمربع برای گیاهان در حال رشد در محلول های غذایی به ترتیب فاقد و حاوی ۱۰۰ میکرومولار کادمیوم در روز چهاردهم برداشت اندازه گیری شد. نتایج مربوط به شاخص های TF، BF، IT و UI برای همه برداشت ها در جدولهای ۳ و ۴ نشان داده شده است.

مقادیر فاکتور انتقال در تمامی غلظت های مختلف کادمیوم کمتر از یک و فاکتور تغلیظ زیستی برای اندام های هوایی و ریشه ای در تمام موارد بیشتر از یک محاسبه شد.

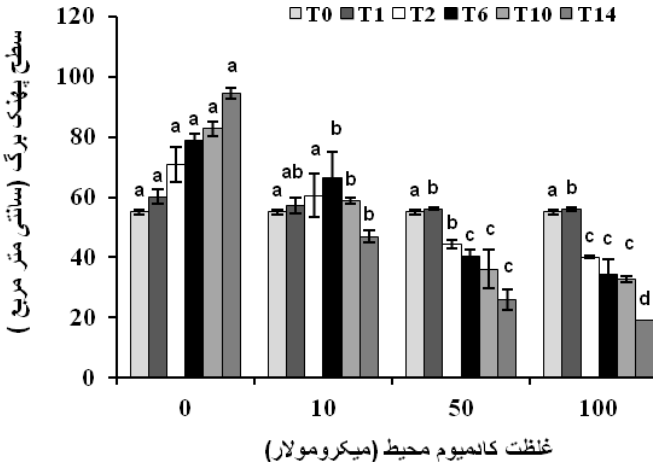


شکل ۳- تاثیر غلظت های مختلف کادمیوم (۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ بر حسب میکرومولار) بر طول الف) اندام هوایی و ب) ریشه. مقادیر میانگین سه تکرار ± SD می باشند. در هر برداشت زمانی حروف غیر مشترک بیانگر وجود تفاوت معنی دار بین غلظت های مختلف کادمیوم در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.





شکل ۴- تاثیر غلظت های مختلف کادمیوم (۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ بر حسب میکرومولار) بر وزن تر الف) اندام هوایی و ب) ریشه و بر وزن خشک ج) اندام هوایی و د) ریشه. مقادیر میانگین سه تکرار ± SD می باشند. در هر برداشت زمانی حروف غیر مشترک بیانگر وجود تفاوت معنی دار بین غلظت های مختلف کادمیوم در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.



شکل ۵- تاثیر غلظت های مختلف کادمیوم (۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ بر حسب میکرومولار) بر سطح پهنک. مقادیر میانگین سه تکرار ± SD می باشند. در هر برداشت زمانی حروف غیر مشترک بیانگر وجود تفاوت معنی دار بین غلظت های مختلف کادمیوم در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

جدول ۳- مقادیر فاکتور انتقال (TF) و فاکتور تغلیظ زیستی در بخش هوایی و ریشه (BF) در برداشت های T1، T2، T6، T10 و T14 برای گیاهان تیمار شده با غلظت های مختلف کادمیوم.

غلظت کادمیوم	TF					BF اندام هوایی					BF ریشه				
(µM)	T1	T2	T6	T10	T14	T1	T2	T6	T10	T14	T1	T2	T6	T10	T14
۰	۰	۰	۰	۰	۰	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۱۰	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۷۶	۰/۵۹	۰/۶۴	۵۰	۴۰	۴۶	۳۶/۴	۴۰/۲	۷۸/۲	۶۲/۱	۶۰/۵	۶۱/۶	۸/۶۲
۵۰	/۷۰	۰/۴۸	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۱	۴۶/۲	۴۷/۲	۳۷/۳	۳۵/۶	۳۳/۱	۶۶/۲۷	۹۷/۲	۳۳۰/۴	۳۴۴/۹	۲۸۶/۶
۱۰۰	۰/۵۸	۰/۵۱	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۴	۴۳/۸	۴۰/۲	۳۶/۶	۲۶/۸	۴۰	۷۵/۶	۷۹	۳۶۳/۱	۲۸۷/۷	۲۷۶/۹

جدول۴- درصد شاخص تحمل (IT) و درصد شاخص جذب (UI) در برداشت های T1، T2، T6، T10 و T14 برای گیاهان تیمار شده با غلظت های مختلف کادمیوم.

غلظت کادمیوم	%IT					%UI				
(µM)	T1	T2	T6	T10	T14	T1	T2	T6	T10	T14
۰	–	–	–	–	–	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۹۵	۸۵	۸۳	۵۳	۲۸	۳/۷	۴/۷	۴/۸	۵/۳	۵/۲
۵۰	۹۸	۸۰	۵۹	۳۸	۱۹	۴/۸	۵/۴	۱۹/۷	۱۹	۱۹/۷
۱۰۰	۹۹	۸۰	۵۱	۳۲	۱۱	۵/۵	۶/۱	۱۸/۳	۲۳/۲	۱۷/۱

با وجود این، میزان شاخص تغلیظ زیستی ریشه ها بالاتر از اندام های هوایی بود. با افزایش غلظت کادمیوم محیط در هر برداشت، شاخص تحمل ریشه کاهش یافت، به‌طوری‌که حداقل درصد این شاخص برای گیاهان رشد یافته در غلظت ۱۰۰ میکرومولار کادمیوم در برداشت T14 (۱۱ درصد) و بالاترین مقدار آن ۲۴ ساعت بعد از اعمال تیمار کادمیوم، در محدوده ۹۵ تا ۹۹ درصد تعیین شد. مطابق این نتایج، از روز ششم با افزایش غلظت کادمیوم محیط، این شاخص کاهش قابل توجهی را نشان داد. حداکثر درصد شاخص جذب، در روز دهم برای گیاهان تیمار شده با ۱۰۰ میکرومولار کادمیوم (۲۳درصد) و حداقل آن ۲۴ ساعت بعد از افزودن ۱۰ میکرومولار (۳/۷ درصد) محاسبه گردید.

بحث

انجام تجزیه و تحلیل آماری حاکی از آن است که تغییر

غلظت کادمیوم تأثیر معنی داری ($p < 0.05$) بر شاخص های جذبی و رشدی مطالعه شده (به استثناء برخی شاخص های رشدی در برداشت روز یکم و دوم) در این تحقیق دارد (جدولهای ۱ و۲).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط، غلظت این فلز هم در بخش های هوایی و هم ریشه ای افزایش می یابد، به طوری که یک ارتباط مثبت بین این دو از برداشت روز اول به بعد با مقادیر R2 بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۹ برای اندام های هوایی و بین ۰/۸۰ تا ۰/۹۸ برای اندام های ریشه ای یافت شد (شکل۲ الف). فاکتور تغلیظ زیستی برای ارزیابی کارایی جذب و تجمع و فاکتور انتقال برای تعیین میزان توانایی برای تحمل و انتقال فلزات سنگین در گیاهان مورد استفاده قرار می گیرد (۲۰). نتایج حاصل از محاسبه فاکتور تغلیظ زیستی برای اندام های هوایی و ریشه ها (جدول۳، برای همه تیمارها بزرگتر از یک) حاکی از آن است که در این مطالعه کادمیوم می تواند هم در ریشه ها و هم در اندام های هوایی تغلیظ شود. با وجوداین، غلظت کادمیوم تجمع یافته در ریشه ها بالاتر از ساختارهای هوایی (شکل ۱ الف و ب) و مطابق جدول۳، مقادیر کمتر از یک برای فاکتور انتقال نیز تأیید کننده این نتیجه بود. باتوجه به نتایج محاسبه شده برای TF، در هر برداشت با افزایش غلظت کادمیوم، میزان انتقال آن از ریشه به بخش هوایی دچار کاهش شد. این موضوع احتمالا به علت ممانعت از انتقال بیشتر کادمیوم از ریشه به سمت بخش های هوایی در پنیرک می باشد. گزارش شده است که گیاهان غیر انباشتگر فلزی با تجمع بالاتر فلز در ریشه ها و مقادیر پایین TF مشخص می شوند و این ممکن است به عنوان یک مکانیسم تحمل برای حفاظت اندام های فتوسنتزی از غلظت های سمی فلز عمل نماید (۲۳). با بررسی میزان جذب کادمیوم توسط هر گیاه پنیرک و با در نظر گرفتن بیوماس (وزن خشک)، به نظر می رسد که ریشه های این گیاه توانایی و پتانسیل بالاتری نسبت به اندام های هوایی برای جذب و تجمع کادمیوم دارند (شکل ۱ج و د). بنابراین، تصور می شود که افزایش غلظت کادمیوم در محیط الزاما منجر به انتقال بیشتر آن به بخش های هوایی پنیرک نمی گردد و احتمالا این گیاه در مواجه با غلظت های بالاتر کادمیوم در محیط از مکانیسم هایی برای ممانعت از انتقال بیشتر آن به بخش های هوایی استفاده می کند. پیشنهاد شده است که ممانعت از انتقال بیشتر کادمیوم به بخش های هوایی و تجمع بالاتر در ریشه های برخی گیاهان مورد مطالعه، ممکن است که راهکاری دفاعی برای جلوگیری از بروز اثرات سمی کادمیوم در این اندام ها باشد، به‌طوری که در *Phragmites australis* حتی با افزایش غلظت کادمیوم در محیط، غلظت آن در برگ ها کاهش می یابد (۷). در گیاهان متحمل، مکانیسم های تحمل فلزات سنگین می تواند در قالب دو راهکار خلاصه شود (۱۱) که عبارت است از: ۱- ممانعت از جذب فلز به گیاه که از طریق ترشح اسیدهای آلی یا قلیایی نمودن ریزوسفر توسط ریشه ها انجام می شود با غیر متحرک کردن این فلزات در مجاورت ریشه می تواند به عنوان یک مکانیسم اجتناب مطرح باشد. ۲- تحمل در برابر فلز بعد از جذب آن توسط گیاه که با همکاری یک شبکه ای از مکانیسم های فیزیولوژیکی و مولکولی انجام می گردد. در اغلب گیاهانی که بیش انباشتگر نیستند، با محدود کردن انتقال فلز از ریشه به بخش هوایی، نگهداری و تجمع فلز در ریشه، اتصال فلز به دیواره های سلولی یا سمیت زدایی از آن از طریق تشکیل کمپلکس با ترکیبات آلی در سیتوزول یا احتباس در واکوئل های سلول های ریشه ای در برابر فلزات سنگین مقاومت نشان می دهند (۸،۱۱،۱۳). در این مطالعه با توجه به تجمع بالاتر کادمیوم در ریشه ها نسبت به بخش های هوایی به نظر می رسد که گیاه پنیرک با کنترل نحوه توزیع و انتقال کادمیوم بین بخش های ریشه ای و هوایی و نگهداری بخش عمده ای از این فلز در ریشه ها از انتقال بیشتر آن به قسمت های هوایی ممانعت نموده است. با این حال، گونه های گیاهی تیمار شده با کادمیوم در شرایط کنترل شده رشدی، توانایی متفاوتی را

در توزیع کادمیوم در بافت ها و اندام های مختلف از خود ارائه داده اند (۲،۷،۱۰،۲۱،۲۴،۲۸،۳۴). معمولا اطلاعات مربوط به بیوماس و شاخص تحمل در گیاهان تا حدی می توانند در شناسایی بیش انباشتگرها مفید باشند (۲۰). با توجه به کاهش معنی دار طول و وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه ای پنیرک در مقایسه با شاهد (شکلهای ۳ و ۴) و همچنین کاهش شاخص تحمل به‌ویژه در غلظت های بالاتر کادمیوم (جدول ۴)، به نظر می رسد که کادمیوم حتی در غلظت پایین نیز می تواند اثرات سمی خود را بر شاخص های فوق اعمال نماید. در معرض قرار گرفتن با کادمیوم باعث کاهش رشد و بیوماس در بیشتر گیاهان و حتی در مواردی مرگ گیاه شده است (۱،۹،۲۳،۲۵،۲۸،۳۴). کادمیوم از طریق اتصال به غشاء یا از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو، منجر به تشدید پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه اختلال در نفوذ پذیری و عملکرد پروتئین های ناقل غشایی به‌ویژه کانال های آبی می گردد (۱۸). علاوه براین، کاهش شاخص تحمل ریشه با افزایش غلظت کادمیوم بیانگر تأثیر سمی این فلز بر رشد ریشه می باشد. گزارش شده است که کادمیوم با اختلال در تقسیمات میتوزی مناطق مریستمی ریشه می تواند رشد ریشه ها را کاهش دهد (۱۴). تصور می شود که در مجموع چنین آسیب هایی در غشاء، شرایط را برای نشت بیشتر یون ها، کاهش جذب آب و در نهایت کاهش رشد و توسعه پذیری سلول های گیاهی فراهم نماید. همچنین مشخص شده است با وجود اینکه کادمیوم یک فلز ردوکس فعال نمی باشد، اما با القای تنش اکسیداتیو و آسیب به رنگدانه های فتوسنتزی، پروتئین ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک کاهش شدیدی را در رشد و عملکرد گیاه بوجود می آورد (۸).

در یک جمع‌بندی کلی و بر اساس نتایج بدست آمده از این مطالعه، تصور می شود که در پنیرک رشد یافته در مناطق اطراف صنایع فولادسازی، اگرچه غلظت های بالاتر کادمیوم منجر به کاهش رشد در این گیاه می شود، باوجوداین، هم اندام های هوایی و هم ریشه ها توانایی تغلیظ کادمیوم (حداقل در طی دوره آزمایشی این تحقیق) را دارند (به علت داشتن BF بزرگتر از یک)، اما به ازای هر گیاه، ریشه ها توانمندی بالاتری را در مقایسه با بخش هوایی برای جذب و تجمع کادمیوم از خود ارائه می دهند. احتمالا این گیاه با تجمع و نگهداری بیشتر کادمیوم در ریشه، از انتقال بیشتر آن به بخش هوایی ممانعت می نماید تا از بروز اثرات سمی کادمیوم در این بخش ها جلوگیری شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاون محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌دلیل حمایت‌های مالی (در قالب پژوهانه کارشناسی‌ارشد به شماره ۹۴/۳/۰۲/۳۱۵۷۹) برای انجام این تحقیق قدردانی می‌شود.

منابع

۱- حافظی، م.، نمکی شوشتری، ع.، اسرار، ز. و ترکزاده، م. ۱۳۸۸. تأثیرات غلظتهای سمی کادمیوم بر میزان گره زایی و تثبیت ازت سوشهای مختلف باکتری سینوریزوبیوم ملیلوتی (وحشی و دارای پلازمید) در گیاه یونجه (*Medicago sativa*) مجله زیست شناسی ایران. جلد ۲۲ (۴)، ۶۳۵-۶۲۶.

۲- نورانی آزاد، ح. و کفیل زاده، ف. ۱۳۹۰. تاثیر سمیت کادمیوم بر رشد، قندهای محلول، رنگیزه های فتوسنتزی و برخی آنزیمها در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). مجله زیست شناسی ایران. جلد ۲۴(۶)، ۸۶۷-۸۵۸.

3- Almas, A.R. and Singh, B.R. 2001. Plant uptake of cadmium-109 and zinc-65 at different temperature and organic matter levels. Journal of Environmental Quality. 30, 869-877.

4- Aravind, P. and Prasad, M. N. V. 2005. Cadmium- Zinc interaction in hydroponic system using *Ceratophyllum demersum* L.: adaptive echophysiology, biochemistry and molecular

toxicology. Brazilian Journal of Plant Physiology. 17, 3-20.

5- Baker, A. J. M. 1987. Metal tolerance. New Phytologist. 106, 93-111.

6- Baker, A.J.M. and Brooks, R.R. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate elements a review

of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery. 1, 81-126.

7- da Silva, M. N., Mucha, A. P., Rocha, A. C., Silva, C. Carli, C. Gomes, C. R. and Almeida, C. M. R. 2014. Evaluation of the ability of two plants for the phytoremediation of Cd in salt marshes. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 141, 78-84.

8- Gill, S.S., Khan, N.A. and Tuteja, N. 2012. Cadmium at high dose perturbs growth, photosynthesis and nitrogen metabolism while at low dose it up regulates sulfur assimilation and antioxidant machinery in garden cress (*Lepidium sativum* L.). Plant Science. 182, 112–120.

9- Guo, B., Dai, S., Wang, R., Guo, J., Ding, Y. and Xu, Y. 2015. Combined effects of elevated CO_2 and Cd-contaminated soil on the growth, gas exchange, antioxidant defense, and Cd accumulation of poplars and willows. Environmental and Experimental Botany. 115, 1-10.

10- Hawrylak-Nowak, B., Dresler, S. and Matraszek, R. 2015. Exogenous malic and acetic acids reduce cadmium phytotoxicity and enhance cadmium accumulation in roots of sunflower plants. Plant Physiology and Biochemistry. 94, 225-234.

11- Hossain, M. A., Piyatida, P., de Silva, J. A. T. and Fujita, M. 2012. Molecular mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation. Journal of Botany. 2012: 1-37.

12- Hu, P.J., Gan, Y.Y., Tang, Y.T., Zhang, Q.F., Jiang, D., Yao, N. and Qiu, R.L. 2012. Cellular tolerance, accumulation and distribution of cadmium in leaves of hyperaccumulator *Picris divaricata*. Pedosphere. 22(4), 497–507.

13- Ibaniez, S.G., Medina, M.I. and Agostini, E., 2011. Phenol tolerance, changes of antioxidative enzymes and cellular damage in transgenic tobacco hairy roots colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. Chemosphere. 83, 700–705.

14- Jun-yu, H., Yan-fang, R., Cheng, Z. and De-an, J. 2008. Effects of cadmium stress on seed germination, seedling growth and seed amylase activities in rice (*Oryza sativa*). Rice Science. 15, 319-325.

15- Kovacs, B., Gyori, Z., Prokisch, J., Loch, J. and Daniel, P. 1996. A study of plant sample preparation and Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry parameters. Communications in Soil Sciences and Plant Analysis. 27, 1177-1198.

16- Lin, L., Shi, J., Liu, Q., Liao, M. and Mei, L. 2014. Cadmium accumulation characteristics of the winter farmland weeds *Cardamine hirsute* Linn. and *Gnaphalium affine* D.Don. Environmental Monitoring and Assessment. 186, 4051–4056.

17- Liu, H., Wang, H., Ma, Y., Wang, H. and Shi, Y. 2016. Role of transpiration and metabolism in translocation and accumulation of cadmium in tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.). Chemosphere. 144, 1960-1965.

18- Liu, S., Yang, C., Xie, W., Xia, C. and Fan, P. 2012. The effects of cadmium on germination and seedling growth of *Suaeda salsa.* Procedia Environmental Sciences. 16, 293-298.

19- Liu, X., Peng, K., Wang, A., Lian, C. and Shen, Z. 2010. Cadmium accumulation and distribution in populations of *Phytolacca americana* L. and the role of transpiration. Chemosphere. 78, 1136–1141.

20- Liu, Z., He, X., Chen, W., Yuan, F., Yan, K. and Tao, D. 2009. Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in a poteintial hyperaccumulator-Lonicera japonica Thunb. Journal of Hazardous Materials. 169, 170-175.

21- Monteiro, M.S., Rodriguez, E., Loureiro, J. Mann, R.M., Soares, A.M.V.M. and Santos, C. 2010. Flow cytometric assessment of Cd genotoxicity in three plants with different metal accumulation and detoxification capacities. Ecotoxicology and Environmental Safety. 73, 1231-1237.

22- Nedelkoska, T.V. and Doran, P.M. 2000. Hyperaccumulation of cadmium by hairy roots of *Thlaspi caerulescens*. Biotechnology and Bioengineering. 67(5), 607–615.

23- Pietrini, F., Iori, V., Bianconi, D., Mughini, G., Massacci, A. and Zacchini. M. 2015. Assessment of physiological and biochemical responses, metal tolerance and accumulation in two eucalypt hybrid clones for phytoremediation of

cadmium-contaminated waters. Journal of Environmental Management. 162, 221-231.

24- Rosén, K., Eriksson, J. and Vinichuk, M. 2012. Uptake and translocation of ^{109}Cd and stable Cd within tobacco plants (*Nicotiana sylvestris*). Journal of Environmental Radioactivity. 113, 16-20.

25- Rui, H., Chen, C., Zhang, X., Shen, Z. and Zhang, F. 2016. Cd-induced oxidative stress and lignification in the roots of two *Vicia sativa* L. varieties with different Cd tolerances. Journal of Hazardous Materials. 301, 304-313.

26- Siddiqi, M. Y., Glass, A. D. M., Ruth, T. J. and Rufty, T. 1990. Studies of the uptake of nitrate in barley: I. Kinetics of $^{13}NO_3$ influx. Plant Physiology. 93, 1426-1432.

27- Soudek, P., Petrova, S. and Vanek, T. 2011. Heavy metal uptake and stress responses of hydroponically cultivated garlic. Environmental and Experimental Botany. 74, 289-295.

28- Sun, R.L., Zhoi, Q.X., Wang, L. and Liu, W. 2009. Cadmium tolerance and accumulation characteristics of *Bidens pilosa* L. as a potential Cd-hyperaccumulator. Journal of Hazardous Materials. 161, 808-814.

29- Tauqeer, H.M. Ali, S. Rizwan, M. Ali, Q. Saeed, R. Iftikhar, U. Ahmad, R. Farid, M. Abbasi, G.H. 2016. Phytoremediation of heavy metals by *Alternanthera bettzickiana*: Growth and physiological response. Ecotoxicology and Environmental Safety.126, 138–146.

30- Ueno, D., Iwashita, T., Zhao, F.J. and Ma, J.F. 2008. Characterization of Cd translocation and identification of Cd form in xylem sap of the Cd-hyperaccumulator *Arabidopsis halleri*. Plant and Cell Physiology. 49, 540–548.

31- Uraguchi, S. and Fujiwara, T. 2012. Cadmium transport and tolerance in rice: perspectives for reducing grain cadmium accumulation. Rice. 5:1-8.

32- Wong, C. K. E. and Cobbett, C. S. 2009. HMA P-type ATPases are the major mechanism for root-to-shoot Cd translocation in *Arabidopsis thaliana*. New Phytolgist. 181:71–78.

33- Wu, Z., Zhao, X., Sun, X., Tan, Q., Tang, Y., Nie, Z., Qu, C., Chen, Z. and Hu, C. 2015. Antioxidant enzyme systems and the ascorbate–glutathione cycle as contributing factors to cadmium accumulation and tolerance in two oilseed rape cultivars (*Brassica napus* L.) under moderate cadmium stress. Chemosphere. 138, 526–536.

34- Zhang, H., Guo, Q., Yang, J., Shen, J., Chen, T., Zhu, G., Chen, H. and Shao, C. 2015. Subcellular cadmium distribution and antioxidant enzymatic activities in the leaves of two castor (*Ricinus communis* L.) cultivars exhibit differences in Cd accumulation. Ecotoxicology and Environmental Safety. 120, 184-192.

35- Zhang, S., Chen, M., Li, T., Xu, X. and Deng, L. 2010. A newly found cadmium accumulator-*Malva sinensis* Cavan. Journal of Hazardous Materials. 173: 705-709.

36- Zoufan, P., Saadatkhah, A. and Rastegarzadeh, S. 2015. Amount of Mn and Zn in herbaceous plants growing on industrial area of steel production companies in southeast of Ahvaz, Iran. Progress in Biological Sciences. 5(2): 181-193.

Assessment of some growth indices and Cd accumulation in shoots and roots of *Malva parviflora* L. under hydroponic system

Zoufan P.[1], Neisi E.[1] and Rastegarzadeh S.[2]

[1] **Biology Dept., Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, I.R. of Iran**

[2] **Chemistry Dept., Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, I.R. of Iran**

Abstract

In this study, uptake and accumulation of cadmium (Cd) by *Malva parviflora* L. and as well as some growth parameters were investigated in hydroponic medium. After collecting from the industrial area of Khuzestan steel company, the seeds were sown on the pots containing humus commercial soil and kept under controlled conditions. 47-day-old plants were transferred to nutrition solutions including 0 (control), 10, 50 and 100 µM of Cd. The plants were harvested at 0 (control), 1, 2, 6, 10 and 14 days after supplement with Cd treatments. Based on these results, Cd concentration in shoots and roots showed an increase with increasing Cd concentration of medium. However, both concentration and accumulation of Cd in the roots exhibited higher values than that in the aboveground organs. At 100 µM Cd, maximum Cd concentration in the shoot and root was assayed 224 and 1548 mg/kg DW, respectively. In each harvest time, with increasing Cd concentration of medium, length, fresh weight, dry matter of shoots and roots, blade area also index of tolerance significantly decreased in comparison with control. With regard to TF < 1, it seems that the roots of Mallow mainly possess higher capability than aerial parts to accumulate Cd. In summary, *M. parviflora* prevent Cd toxicity effects probably by reducing more translocation of Cd to the shoots.

Key words: Cadmium, Uptake, Bioconcentration, Growth