فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۰، خرداد و تیرماه ۱۴۰۳ صفحه: ۳۸۳-۳۹۵
https://doi.org/10.22034/13.60.383

مقاله پژوهشی

تأثیر کادمیوم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در مینای چمنی (*Bellis perennis* L.)

فائزه فاضلی* و اسماء معتقدی

گروه علوم زیستی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶)

چکیده

فلزات سنگین از جهت ماندگاری بالا در محیط، عدم تجزیه‌پذیری توسط میکروارگانیسم‌های خاک و پتانسیل بالای جذب توسط گیاهان و ورود به زنجیره غذایی، جز مهمترین و خطرناک‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیستی هستند. کادمیوم یکی از فلزات سنگین و سمی برای موجودات زنده از جمله گیاهان است. از این‌رو بر بسیاری از صفات رشدی و ترکیبات موجود در آنها تأثیر می گذارد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کادمیوم بر مینای چمنی (*Bellis perennis* L.) است. به این منظور تأثیر غلظت‌های مختلف کادمیوم (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی بر این گیاه بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش غلظت کادمیوم اثر معنی‌داری بر وزن تر و طول گیاه مینای چمنی ندارد. همچنین با افزایش غلظت کادمیوم وزن خشک گیاه، محتوای کلروفیل اندام هوایی، کاروتنوئیدها، پروتئین کل، فاکتور انتقال، فاکتور تجمع زیستی اندام هوایی و ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافت. درحالی‌که محتوای پرولین، کادمیوم و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز اندام هوایی و ریشه به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. براساس این پژوهش مینای چمنی برای کشت در غلظت‌های مورد مطالعه مناسب نیست.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پروتئین، پرولین، کادمیوم، مینای چمنی

مقدمه

آلودگی فلزات سنگین، یکی از مهمترین مشکلات محیط زیستی است که امروزه انسان با آن روبرو است. متداول‌ترین منابع رهاسازی فلزات سنگین به خاک شامل فعالیت‌های صنایع مختلف نظیر معدن کاوی، ذوب فلزات، صنایع آبکاری، فلزکاری، مصرف سوخت، تخلیه فاضلاب و انهدام زباله، کاربرد آفت‌کش‌ها، کودها و لجن فاضلاب مصرفی در بخش کشاورزی است (مشایخی و همکاران، ۱۳۹۳). در سال‌های اخیر آلودگی محیط با فلزات سنگین به سبب تخلیه زباله و فاضلاب از منابع انسانی به طور چشمگیری رو به افزایش بوده است (Ghosh and Singh, 2005). آلودگی خاک به فلزات سنگین به دلیل ورود به زنجیره غذایی می‌تواند سبب به خطر افتادن سلامتی انسان، مختل‌شدن فرآیندهای رشد و نمو گیاهان و کاهش کیفیت و حاصلخیزی خاک شود (Ogundola *et al.*, 2022). میزان سمیت این فلزات بسته به نوع و غلظت فلز، گونه گیاهی، اسیدیته و نوع ترکیبات خاک متفاوت است. فلزات سنگین عناصری هستند که وزن مولکولی آنها از عنصر آهن سنگین‌تر و چگالی آنها بیش از ۴/۵ گرم بر سانتی‌متر

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Fazeli@sru.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

مکعب باشد. اخیراً آلودگی کادمیوم به عنوان یک مشکل جهانی مطرح می‌باشد. کادمیوم بیشتر در مواد رنگی، آلیاژها و صنایع الکترونیکی و همچنین کودهای فسفاته، پاک‌کننده‌ها و محصولات تصفیه‌شده نفتی وجود دارد (چرم و جعفری، ۱۳۸۲). این عنصر سمی حتی در غلظت‌های کم نیز به سبب غیرقابل تجزیه بودن، ورود به زنجیره غذایی و تجمع در بدن انسان و دیگر جانداران باعث بروز بیماری‌های زیادی می‌شود. به‌طوری‌که از اثرات مخرب آن می‌توان به تأثیر بر کلیه‌ها، کبد، استخوان، سیستم عصبی مرکزی، سیستم ایمنی، باروری، ناهنجاری‌های روانی و آسیب احتمالی به DNA و سرطان اشاره کرد (حق‌شناس، ۱۳۹۲).

مینای چمنی (*Bellis perennis* L.) گیاهی بوته‌ای و کوتاه قد، چندساله و پاییزه از تیره آفتابگردان یا کاسنیان (Asteraceae) است که در اروپا و غرب آسیا به صورت وحشی در چمنزارها، زمین‌های مرطوب و مناطق جنگلی تا ارتفاع ۲۰۰۰–۱۸۰۰ متری رشد می‌کند (وزیری الهی، ۱۳۶۶؛ Stace, 1997). چندین رقم زینتی مینای چمنی با گل‌هایی به رنگ سفید تا ارغوانی وجود دارند (Mitich,۱۹۹۷). مینای چمنی از ماه اسفند تا مهر گل می‌دهد و چنانچه زمستان ملایم باشد، در طول سال به گل می‌رود (Stace, 1997). این گیاه در شمال ایران رویش فراوانی دارد. سهولت کاشت و نیاز به عدم مراقبت زیاد و همچنین گل‌های فراوان از جمله ویژگی‌های این گیاه ذکر شده است. مینای چمنی، به عنوان یکی از گیاهان دارویی استفاده‌های مختلفی داشته و قسمت‌های مورد استفاده و دارویی آن برگ‌ها و سایر اندام‌های آن است. این گیاه تصفیه‌کننده خون، ملین ملایم، از بین‌برنده التهاب‌ها، آرام‌کننده، مقوی، معرق، خلط‌آور و به طور خفیف مدر بوده و در درمان رماتیسم نیز کاربرد دارد (زرگری، ۱۳۶۸). از این‌رو در این پژوهش به بررسی تأثیر کادمیوم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مینای چمنی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

بذرهای مینای چمنی تهیه‌شده از مؤسسه نهال و بذر کرج، با آب ژاول ۵ درصد به مدت ۲۰ دقیقه ضدعفونی شدند. سپس بذرها بر روی کاغذ صافی قرار داده و به منظور تیماردهی از نیترات کادمیوم با غلظت‌های صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده شد. شرایط آزمایش عبارت است دمای متوسط روز/ شب (۲۲/۲۷) درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۴۶ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه و رطوبت نسبی ۳۵–۳۰ درصد بود. پس از ۱۵ روز از زمان کشت بذرها، گیاهان حاصله برداشت شده و نمونه‌های گیاهی(ریشه و اندام هوایی) مورد آزمایش قرار گرفتند.

اندازه‌گیری وزن تر و خشک و طول گیاه: پس از اندازه‌گیری طول، گیاهان توزین‌شده در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده و پس از طی این مدت وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد.

سنجش محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدهای برگ: سنجش کلروفیل براساس روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) انجام شد. استخراج توسط استون ۸۰ درصد انجام گرفت. شدت جذب عصاره‌ها در طول‌موج‌های ۶۶۳/۲ و ۶۴۶/۸ برای کلروفیل a و b و کلروفیل کل و در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها با دستگاه اسپکتروفتومتر Shimadzu مدل UV-160 خوانده شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه شد.

$$Chl\ a = 0/0127 \times A_{663} - 0/00269 \times A_{645}$$
$$Chl\ b = 0/0229 \times A_{645} - 0/0046 \times A_{663}$$
$$Chl\ (a+b) = 0/0202 \times A_{645} + 0/00802 \times A_{663}$$
$$Car = (1000A_{470} - 1/8chlorophyla - 85/02chlorophylb)/198$$

شدت جذب نوری=A

سنجش محتوای پروتئین: جهت اندازه‌گیری پروتئین در اندام‌های هوایی و ریشه‌ها از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. بدین منظور یک گرم بافت گیاهی با ۲ میلی‌لیتر بافر استخراج تریس–HCl یک مولار (pH=۶/۸) در ۴ درجه سانتی‌گراد ساییده و همگن شد. همگنای حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور سانتریفوژ شد. روشناور حاصل جهت سنجش محتوای پروتئین، همچنین تعیین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز مورد استفاده قرار گرفت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

شدت جذب نمونه‌ها با اسپکتروفتومتر Shimadzu مدل UV-160 در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. محتوای پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلبومین محاسبه و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

سنجش محتوای پرولین: برای سنجش میزان پرولین آزاد از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. استخراج با استفاده از ۰/۵ گرم بافت تر گیاهی و اسید سولفوسالیسیک ۳ درصد انجام شد. آماده‌سازی نمونه‌ها با استفاده از ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و قرارگیری به مدت یک ساعت در حمام آب گرم (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) انجام شد. پس از سردشدن و اضافه‌نمودن ۴ میلی‌لیتر تولوئن و مخلوط‌کردن آنها، شدت جذب نمونه‌ها با اسپکتروفتومتر Shimadzu مدل UV-160 در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. محتوای پرولین برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: فعالیت آنزیمی بر طبق روش Aebi (۱۹۷۴) و بر پایه تجزیه پراکسید هیدروژن توسط آنزیم کاتالاز انجام شد. کمپلکس واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۰/۳ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳ درصد و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. واکنش با افزودن پراکسید هیدروژن آغاز و کاهش در جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت شد. فعالیت آنزیمی براساس تغییرات واحد جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: این سنجش با استفاده از روش Abeles و Biles (۱۹۹۱) صورت گرفت. کمپلکس واکنش شامل ۴ میلی‌لیتر بافر استات سدیم ۰/۲ مولار (pH=۴/۸)، ۰/۴ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳ درصد و ۰/۲ میلی‌لیتر بنزیدین ۰/۰۲ مولار در متانول ۵۰٪ و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب در طول‌موج ۵۳۰ نانومتر ثبت شد. فعالیت آنزیمی براساس تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه گردید.

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: به منظور سنجش فعالیت این آنزیم از روش Nakano و Asada (۱۹۸۱) اسفاده شد. کمپلکس واکنش شامل ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۰/۰۵ مولار (pH=۷)، ۰/۲ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳ درصد، ۰/۲ میلی‌لیتر آسکوربات ۵۰ میکرومولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر خوانده شد. فعالیت آنزیمی براساس تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه شد.

سنجش محتوای کادمیوم: به این منظور ۰/۵ گرم بافت خشک آسیاب‌شده گیاه پس از خاکسترشدن با ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک مخلوط و هضم نهایی انجام شد (Sumner and Miller, 1996). محتوای عنصر کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer 400AA) ساخت کشور آمریکا سنجیده شد.

فاکتور انتقال (Translocation factor): میزان انتقال فلز سنگین از بخش ریشه‌ای به بخش هوایی را نشان می‌دهد (ذوفن و همکاران، ۱۳۹۷). این فاکتوراز تقسیم غلظت کادمیوم در بخش هوایی به بخش ریشه‌ای به دست آمد.

فاکتور تجمع زیستی (Bioaccumulation factor): جذب فلز سنگین توسط بافت‌ها از محیط را نشان می‌دهد (صفاهیه و محمودی، ۱۳۹۳). این فاکتور با استفاده از تقسیم غلظت کادمیوم در بافت (اندام هوایی و ریشه) به غلظت آن در محیط حاصل شد.

آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار در سه تکرار انجام شد. جهت تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها در سطح خطای ۵ درصد با آزمون دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

وزن تر، وزن خشک و طول گیاه: نتایج نشان داد که افزایش غلظت نیترات کادمیوم به طور غیرمعنی‌داری سبب کاهش وزن تر گیاه می‌شود. هم‌چنین با افزایش غلظت نیترات کادمیوم، وزن خشک گیاه مینای چمنی به طور معنی‌داری کاهش یافت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

جدول ۱- مقایسه میانگین وزن تر و خشک، طول، محتوای کلروفیل کل، کاروتنوئیدها مینای چمنی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نیترات کادمیوم

نیترات کادمیوم (mgl^{-1})	وزن تر (mg)	وزن خشک (mg)	طول (cm)	کلروفیل کل ($mgg^{-1}fw$)	کاروتنوئیدهای اندام هوایی ($\mu gg^{-1}fw$)	کاروتنوئیدهای ریشه ($\mu gg^{-1}fw$)
۰	۵/۰۰±۰/۰۰^{a}	۲/۸۰±۰/۰۰^{a}	۲/۷۰±۰/۳۰^{a}	۸/۴۵±۰/۱۵^{a}	۳/۶۸±۰/۷۹^{a}	۱/۱۴±۰/۱۸^{a}
۱۰	۴/۰۰±۰/۰۰^{a}	۰/۶۰±۰/۰۰^{b}	۲/۷۱±۰/۵۷^{a}	۷/۶۵±۰/۲۴^{b}	۳/۱۹±۰/۲۰^{b}	۰/۹۸±۰/۰۸^{b}
۲۰	۴/۰۰±۰/۰۰^{a}	۰/۴۰±۰/۰۰^{bc}	۳/۰۸±۰/۴۵^{a}	۶/۹۲±۰/۰۷^{c}	۲/۵۶±۰/۲۵^{c}	۰/۸۲±۰/۰۶^{c}
۳۰	۴/۰۰±۰/۰۰^{a}	۰/۳۰±۰/۰۰^{c}	۲/۳۳±۰/۳۸^{a}	۶/۱۴±۰/۱۱^{d}	۱/۹۲±۰/۱۱^{d}	۰/۷۳±۰/۰۵^{d}

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار هستند. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است (P≤0/05).

به‌طوری‌که بیشترین وزن خشک در غلظت صفر نیترات کادمیوم یعنی ۲/۸ میلی‌گرم و کمترین وزن خشک در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم یعنی ۰/۳ میلی‌گرم به دست آمد (جدول ۱).

یافته‌های حاصل از بررسی تأثیرات کادمیوم بر پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهچه‌های کلزا نشان داد که افزایش غلظت کادمیوم کاهش معنی‌داری در وزن خشک، وزن تر، طول اندام‌های هوایی گیاه و مقدار کلروفیل اندام هوایی دارد (آقاعباسی و همکاران، ۱۳۹۲). کادمیوم از طریق برهم‌زدن تعادل عناصر غذایی و کاهش جذب برخی عناصر پرمصرف مانند پتاسیم و نیتروژن سبب کاهش رشد، کاهش وزن تر و گسترش سلول‌های گیاهی می‌گردد. به نظر می‌رسد کاهش وزن خشک گیاه به دلیل اختلال در فعالیت آنزیم‌ها و مهار فتوسنتز (Muradoghlu *et al*., 2015) و اختلال در بیوسنتز رنگدانه‌های کلروفیلی باشد که از اثرات احتمالی کادمیوم بر رشد گیاه هستند (Khatibi *et al*., 2008). محققین دیگری نیز کاهش وزن خشک گیاه اسفناج را در پی افزایش غلظت کادمیوم در محیط‌کشت گزارش کردند و بیان نمودند که کادمیوم از طریق کاهش سازوکار تولید انرژی در میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها سبب کاهش وزن خشک می‌شود (Talatam and Parida, 2009). در گیاه شب‌بو نیز افزایش میزان کادمیوم موجب کاهش معنی‌داری در وزن خشک بخش هوایی در گیاهان تحت تیمار شد (Ghaderian and Jamali, 2010). گزارش‌هایی نیز مبنی بر اینکه کادمیوم موجب کاهش رشد گیاهچه در گاوزبان (شیخ‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱)، بازدارندگی رشد، کاهش وزن خشک بوته‌ها در گاوزبان (حسینی و همکاران، ۱۴۰۰) نیز وجود دارد.

اعمال کادمیوم تأثیر معنی‌داری بر طول گیاه نداشت و تمام تیمارها در یک سطح آماری قرار داشتند. بیشترین مقدار طول گیاه مینای چمنی در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم یعنی ۳/۰۸ سانتی‌متر و کمترین طول گیاه در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم یعنی ۲/۳۳ سانتی‌متر به دست آمد (جدول ۱).

در برخی پژوهش‌ها بیان شده که کوتاه‌قدی از علائم اصلی ناشی از تأثیرات سمیت گیاه به وسیله کادمیوم است (Sandalio *et al*., 2001). در خاک‌های کشاورزی دارای ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم، رشد گیاه به شدت کاهش یافته و گیاهان کوتاه‌قد شدند (Sanita *et al*., 1999). پژوهش‌ها نشان داده است که افزایش غلظت کادمیوم باعث کاهش ارتفاع بوته ذرت می‌شود (Mihalescu *et al*., 2010). کادمیوم باعث کاهش فعالیت هورمون سیتوکینین می‌شود که تأثیر به‌سزایی در تکثیر سلول و رشد گیاه دارد (Mok, 1994). به نظر می‌رسد که کاهش رشد ممکن است به دلیل از بین‌رفتن آماس سلول و کاهش در فعالیت‌های میتوزی و یا مهار طویل‌شدن سلول باشد (Hassan, 2006). علیلو و صدقیانی (۱۳۹۱) گزارش کردند که ارتفاع ساقه گیاه بنگدانه در اثر افزایش غلظت کادمیوم کاهش یافت. بررسی‌های مختلف نشان‌دهنده تأثیر کادمیوم بر تقسیم و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

رشد سلول‌های گیاهی و همچنین کاهش محتوای آبی گیاه از طریق تأثیر بر کانال‌های آبی تونوپلاست بوده که به دنبال آن کاهش طویل‌شدگی یاخته‌ای و کاهش طول اندام هوایی را موجب می‌گردد.

محتوای کلروفیل: یافته‌ها نشان داد که افزایش غلظت نیترات کادمیوم سبب کاهش کلروفیل کل بخش هوایی می‌شود. بنابراین بیشترین محتوای کلروفیل کل اندام‌های هوایی در غلظت صفر یا عدم کاربرد نیترات کادمیوم به مقدار ۸/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر اندام هوایی و کمترین محتوای کلروفیل کل اندام‌های هوایی در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم یعنی ۶/۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر اندام هوایی به دست آمد (جدول ۱). کاهش محتوای رنگیزه‌های کلروفیلی در اندام‌های هوایی گیاهان مورد مطالعه در این پژوهش، در اثر افزایش غلظت نیترات کادمیوم به وضوح قابل‌ملاحظه بود. نتایج مطالعه حاضر با نتایج آقائی و همکاران (۱۳۹۸) روی گیاه ریحان و ناطقی و همکاران (۱۳۹۹) روی گیاه تاتوره مطابقت داشت. کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش کادمیوم می‌تواند ناشی از اثر این فلز در مهار فعالیت آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز رنگیزه‌ها باشد (Muradoglu *et al.*, 2015). این کاهش را می‌توان این گونه توضیح داد که فلزات سنگین فرایندهای متابولیکی را از طریق بازدارندگی عمل آنزیم‌ها، کاهش می‌دهند. کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش ناشی از سایر فلزات سنگین نیز گزارش شده است و علت آن هم به ممانعت از فعالیت آنزیم‌های مسئول در بیوسنتز کلروفیل و حتی تحریک فعالیت آنزیم کلروفیلاز نسبت داده شده است (Zengin and Munzuroglu, 2005). به عبارت دیگر، فلزات سنگین به وسیله مهار آنزیم‌های گاما- آمینو لوالونیک اسید، دهیدروژناز و پروتوکلروفیلید ردوکتاز سبب مهار بیوسنتز کلروفیل می‌شوند. برهم‌کنش فلز سنگین با گروه سولفیدریل آنزیم‌ها مهمترین سازوکار این مهارها عنوان شده است (Khatibi *et al.*, 2008). همچنین دلیل دیگر کاهش میزان کلروفیل‌ها تحت تنش کادمیوم را می‌توان به جایگزین شدن کادمیوم به جای منیزیوم در ساختار این رنگیزه‌ها دانست. زیرا کادمیوم نیز دو ظرفیتی بوده و با منیزیوم در هنگام جذب از ریشه رقابت می‌کند. این امر حتی می‌تواند به کاهش سایر عناصر ضروری دو ظرفیتی دیگر مانند آهن، کلسیم و مس هم منجر شود که اثرات سمیت ناشی از کادمیوم را تشدید می‌کند (Sanita *et al.*, 1999). مطالعات بیانگر آن است که کادمیوم، کلروفیل‌ها و دیگر رنگیزه‌های فتوسنتزی گلرنگ را کاهش داده و این امر سبب کاهش فتوسنتز و رشد شده و علایم کمبود را به صورت کلروز در برگ‌های گیاه ظاهر می‌کند (نورانی آزاد و کفیل‌زاده، ۱۳۹۰). گزارش شده است که مقدار کلروفیل عدسک (*Lemna polyrrhiza* L.) در غلظت‌های اندک کادمیوم و سرب افزایش می‌یابد، اما با افزایش غلظت کادمیوم و سرب و همچنین افزایش زمان قرارگرفتن در شرایط تنش محتوای هر سه کلروفیل a، b و کل در عدسک کاهش می‌یابد (John *et al.*, 2009). در خردل هندی (*Brassica juncea* L.) غلظت‌های صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار سرب و غلظت‌های صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ میکرومولار کادمیوم، طی مدت ۴۰ روز تیمار، محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل و نیز محتوای کاروتنوئیدها در مرحله گلدهی را افزایش داد اما با تداوم شرایط تنش وگذشت زمان، میزان این رنگدانه‌ها کاهش یافت (John *et al.*, 2009).

محتوای کاروتنوئیدها: نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین و کمترین محتوای کاروتنوئیدهای اندام‌های هوایی به ترتیب در غلظت صفر کادمیوم یعنی ۳/۶۸ و در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم یعنی ۱/۹۱ میکروگرم بر گرم وزن تر اندام هوایی به دست آمد. همچنین محتوای کاروتنوئیدهای ریشه با افزایش غلظت کادمیوم به طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که بیشترین محتوای کاروتنوئیدهای ریشه در غلظت صفر کادمیوم یعنی ۱/۱۴ میکروگرم بر گرم وزن تر ریشه و کمترین محتوای کاروتنوئیدهای ریشه در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر یعنی ۰/۷۲ میکروگرم بر گرم وزن تر ریشه به دست آمد (جدول ۱). فتوسنتز گیاهانی که در معرض کادمیوم قرار می‌گیرند، کاهش پیدا می‌کند که ناشی از تخریب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

فراساختار کلروپلاست، جلوگیری از سنتز کلروفیل، پلاستوکوئینون، کاروتنوئیدها، ممانعت از انتقال الکترون، جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین است. گزارش شده است که میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ‌ها با افزایش غلظت کادمیوم در محیط رشد کاهش می‌یابد (Sandalio *et al.*, 2001). کادمیوم می‌تواند از طریق تأثیر بیوسنتز کاروتنوئیدها، موجب کاهش تولید آنها شود (شیخ‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱؛ Sandalio *et al.*, 2001). نتایج تحقیق حاضر با نتایج Hamid و همکاران (۲۰۱۰) در *Phaseolus vulgaris* و ناطقی و همکاران (۱۳۹۹) در تاتوره همخوانی دارد.

محتوای پروتئین: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که محتوای پروتئین کل اندام‌های هوایی با افزایش غلظت کادمیوم به طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین محتوای پروتئین کل اندام‌های هوایی به ترتیب در غلظت صفر کادمیوم یعنی ۴/۲۴ درصد و غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم یعنی ۳/۲۷ درصد بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده محتوای پروتئین کل ریشه با افزایش غلظت کادمیوم به طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین و کمترین محتوای پروتئین کل ریشه به ترتیب در غلظت صفر کادمیوم یعنی ۳/۱ درصد و در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم یعنی ۲/۳۷ درصد بوده است (جدول ۲). نتایج پژوهش حاضر درباره پروتئین کل ریشه با نتایج Shah و Dubey (۱۹۹۷) بر روی برنج، آقائی و همکاران (۱۳۹۸) روی گیاه ریحان، نوروزی و همکاران(۱۳۹۲) روی گیاه تاج‌ریزی مطابقت نداشت. کاهش پروتئین‌ها در غلظت‌های بالای کادمیوم به دلیل تجزیه پروتئین‌هاست. از طرف دیگر برخی از پروتئین-ها مانند پروتئین‌های غشا و دیواره‌ای به دلیل نشت کادمیوم بر دیواره و آسیب کانال‌های یونی غشاءها کاهش می‌یابند (Mishra *et al.*, 2009). این احتمال وجود دارد که فلزات سنگین پراکسیداسیون لیپیدها را القا کرده و تجزیه‌شدن پروتئین‌ها در نتیجه سمیت رادیکال‌های فعال اکسیژن منجر به کاهش محتوای پروتئین می‌شود (مهربان و عبدل‌زاده، ۱۳۹۱). کاهش محتوای پروتئین در مطالعه Singh و Sinha (۲۰۰۵) بر روی *Brassicea jounica* مشاهده شده است که مطابق با نتایج تحقیق حاضر است. فلزات سنگین از جمله کادمیوم در برخی از گونه‌های گیاهی سبب فعال‌تر شدن آنزیم پروتئاز و افزایش تجزیه پروتئین‌ها می‌شوند (Kabir *et al.*, 2008). در مطالعه دیگر بر روی *Brassicea juncea* مشخص شد که میزان پروتئین‌های محلول با افزایش غلظت کادمیوم کاهش می‌یابد (John *et al.*, 2009). به نظر می‌رسد فلزات سنگین از جمله کادمیوم به راحتی توسط گیاهان جذب می‌شوند و به وسیله کاهش فعالیت آنزیمی، سطح پروتئین و تخریب مواد مغذی به گیاه آسیب می‌رسانند (Benavides *et al.*, 2005).

محتوای پرولین: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تجمع پرولین اندام‌های هوایی با افزایش غلظت کادمیوم به طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین محتوای پرولین اندام‌های هوایی به ترتیب در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم معادل ۴۳/۸۶ و در عدم کاربرد کادمیوم به مقدار ۱۶/۱۳ میکروگرم بر گرم وزن تر بافت به دست آمد. همچنین نتایج مقایسات میانگین تجمع پرولین در ریشه‌ها نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط، محتوای پرولین ریشه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین محتوای پرولین ریشه به ترتیب در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به مقدار ۲۸/۵ و کمترین در عدم کاربرد کادمیوم به مقدار ۹/۱۲ میکروگرم در گرم وزن تر بافت ریشه به دست آمد (جدول ۲). این نتایج با نتایج آقائی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی گیاه ریحان، و Zhao و همکاران (۲۰۱۵) بر گوجه‌فرنگی و Saadati و همکاران (۲۰۱۲) در لوبیا مطابقت دارد. پرولین یکی از مهمترین آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی است. پرولین از مهمترین اسیدهای آمینه در گیاهان است که در برابر انواع تنش‌ها از جمله تش‌های زیستی و غیرزیستی و همچنین عناصر سنگین از گیاه محافظت می‌کند. یکی از دلایل تجمع پرولین در محیط‌کشت حاوی کادمیوم را به دلیل نقش این ماده در اتصال به کادمیوم و تشکیل یک کمپلکس غیرسمی از پرولین-کادمیوم می‌دانند (Sharma *et al.*, 1998). پرولین می‌تواند به عنوان یک ماده تنظیم‌کننده اسمزی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

جدول ۲- مقایسه میانگین پروتئین کل، پرولین وکادمیوم مینای چمنی تحت تاثیر غلظت های مختلف نیترات کادمیوم

نیترات کادمیوم (mgl^{-1})	پروتئین کل اندام هوایی ($mgg^{-1}fw$)	پروتئین کل ریشه ($mgg^{-1}fw$)	پرولین اندام هوایی ($\mu gg^{-1}fw$)	پرولین ریشه ($\mu gg^{-1}fw$)	کادمیوم اندام هوایی ($\mu gg^{-1}dw$)	کادمیوم ریشه ($\mu gg^{-1}dw$)
۰	۴/۲۴±۰/۰۸^{a}	۳/۱۰±۰/۱۸^{a}	۱۶/۱۳±۲/۳۰^{d}	۹/۱۲±۰/۸۹^{d}	۲۶/۸۶±۱/۹۷^{d}	۱۱/۳۰±۱/۵۰^{d}
۱۰	۳/۹۷±۰/۱۲^{b}	۲/۸۴±۰/۱۱^{b}	۲۲/۶۵±۲/۳۵^{c}	۱۳/۵۸±۰/۹۷^{c}	۳۳/۵۵±۶۴/۲^{c}	۱۵/۱۴±۱/۵۶^{c}
۲۰	۳/۵۵±۰/۱۷^{c}	۲/۶۲±۰/۱۶^{c}	۳۳/۴۳±۲/۶۳^{b}	۱۸/۴۸±۱/۶۵^{b}	۴۳/۴۶±۱/۶۴^{a}	۲۱/۱۸±۲/۰۶^{b}
۳۰	۳/۲۷±۰/۸۹^{c}	۲/۳۷±۰/۲۲^{d}	۴۳/۸۷±۲/۳۰^{a}	۲۵/۵۹±۱/۳۳^{a}	۶۰/۵۴±۴/۰۷^{a}	۲۷/۲۰±۱/۳۳^{a}

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار هستند. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است ($P\leq0/05$).

و آنتی‌اکسیدن در گیاهان نقش ایفا کند و با ممانعت از پراکسیداسیون لیپیدها خطر رادیکال‌های آزاد را کاهش داده و باعث حفظ تمامیت غشاها گردد (Alia *et al.*, 2001). پرولین در شرایط تنش‌های مختلف از جمله تنش فلزات سنگین موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش می‌شود (بارنده و کاوسی، ۱۳۹۵).

محتوای کادمیوم: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی با افزایش غلظت کادمیوم محیط به طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین محتوای کادمیوم اندام‌های هوایی به ترتیب در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به مقدار ۶۰/۵۳ و در عدم کاربرد کادمیوم به مقدار ۲۶/۸۶ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک اندام هوایی به دست آمد. همچنین براساس نتایج حاصل از مقایسات میانگین، غلظت کادمیوم ریشه با افزایش غلظت کادمیوم به طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین محتوای کادمیوم ریشه به ترتیب در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به مقدار ۲۷/۱۹ و در عدم کاربرد کادمیوم به مقدار ۱۱/۳۰ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک ریشه به دست آمد. (جدول ۲). Qin و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی اثر غلظت‌های بین ۱ تا ۵ میکرومولار کادمیوم در محلول غذایی (کشت هیدروپونیک)، افزایش غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه دو رقم برنج را مشاهده کردند. همچنین افزایش غلظت کادمیوم در اندام هوایی ذرت (تاجی و گلچین، ۱۳۸۹) و ریشه و اندام هوایی دو رقم جو (Tiryakioglu *et al.*, 2006) در اثر کاربرد سطوح مختلف کادمیوم، نیز گزارش شده است. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد گیاه مینای چمنی نمی‌تواند از ورود مقادیر بالای کادمیوم به اندام‌های هوایی و ریشه خود جلوگیری کند. کاهش رشد گیاه با افزایش غلظت کادمیوم در محیط این مطلب را تأیید می‌کند. این نتایج با نتایج پژوهش آقایی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی ریحان مطابقت دارد. در پژوهش حاضر نیز با افزایش غلظت کادمیوم اعمال‌شده به بستر رشد گیاه مینای چمنی، محتوای کادمیوم اندام هوایی و ریشه افزایش یافت. به نظر می‌رسد که تجمع فلزات سنگین توسط گیاهان وابستگی بالایی به نوع گیاه و ظرفیت‌های مختلف گیاهان در جذب آنها دارد.

فاکتور انتقال و فاکتور تجمع زیستی: در بررسی شاخص‌های مرتبط با جذب مشخص شد که در همه غلظت‌های نیترات کادمیوم، مقادیر فاکتور انتقال و همچنین فاکتور تجمع زیستی در اندام هوایی و ریشه بیشتر از یک است (جدول ۳). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط، غلظت این فلز در اندام هوایی و ریشه افزایش می‌یابد (جدول ۱). فاکتور انتقال برای تعیین میزان توانایی تحمل و انتقال فلزات سنگین و فاکتور تجمع زیستی برای ارزیابی کارایی جذب و تجمع در گیاهان بکار می‌رود (Liu *et al.*, 2009).

از این‌رو به‌نظر می‌رسد مینای چمنی در ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم توانایی بالایی در تجمع کادمیوم را دارد و با افزایش غلظت نیترات کادمیوم، تجمع کادمیوم در بافت‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های تجمع زیستی اندام هوایی و ریشه، فاکتور انتقال کادمیوم مینای چمنی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نیترات کادمیوم

نیترات کادمیوم (mgl^{-1})	فاکتور تجمع زیستی اندام هوایی	فاکتور تجمع زیستی ریشه	فاکتور انتقال
۰	۰/۰۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰۰±۰/۰۰^{c}	۲/۴۰۰±۰/۰۴^{a}
۱۰	۳/۳۸۹±۰/۰۳^{a}	۱/۵۷۴±۰/۵۵^{a}	۲/۲۳۳±۰/۰۵^{b}
۲۰	۲/۱۶۲۳±۰/۰۵^{b}	۱/۰۷۳±۰/۰۲^{b}	۲/۰۹۴±۰/۰۴^{c}
۳۰	۲/۰۸۰۷±۰/۰۶^{b}	۰/۹۸۷±۰/۱۱^{b}	۲/۲۲۶±۰/۱۱^{b}

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار هستند. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است (P≤0/05).

جدول ۴- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز مینای چمنی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نیترات کادمیوم

نیترات کادمیوم (mgl^{-1})	کاتالاز اندام هوایی	کاتالاز ریشه	پراکسیداز اندام هوایی	پراکسیداز ریشه	آسکوربات پراکسیداز اندام هوایی	آسکوربات پراکسیداز ریشه
	($ODg^{-1}fwmin^{-1}$)					
۰	۰/۲۴۲±۰/۰۷۷^{b}	۲/۳۷±۰/۱۸^{c}	۰/۳۹۵±۰/۱۱۵^{c}	۰/۱۲۸±۰/۰۵۸^{d}	۰/۴۶۱±۰/۱۲۵^{c}	۰/۳۲۵±۱/۵۰^{c}
۱۰	۰/۲۵۵±۰/۱۱۰^{b}	۲/۶۲±۰/۱۱^{c}	۰/۵۵۶±۰/۰۷۴^{b}	۰/۱۳۲±۰/۰۹۵^{c}	۰/۵۶۵±۰/۱۵۵^{b}	۰/۴۱۲±۱/۵۶^{bc}
۲۰	۰/۳۱۶±۰/۰۶۲^{a}	۲/۸۴±۰/۱۶۰^{b}	۰/۶۴۳±۰/۰۱۱^{a}	۰/۲۸۴±۰/۰۶۵^{b}	۰/۵۶۹±۰/۱۶۴^{b}	۰/۵۷۳±۰/۱۶۵^{b}
۳۰	۰/۳۲۷±۰/۰۸۰^{a}	۳/۱۰±۰/۲۲^{a}	۰/۶۸۳±۰/۰۶۰^{a}	۰/۵۱۳±۰/۱۲۸^{a}	۰/۶۰۳±۰/۰۹۳^{a}	۰/۸۷۶±۰/۳۳۰^{a}

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار هستند. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است (P≤0/05).

این گیاه کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که، اندام‌های هوایی و ریشه‌های مینای چمنی در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به سایر غلظت‌های نیترات کادمیوم، مقادیر بیشتری از کادمیوم را تجمع می‌دهند. از سوی دیگر داده‌ها حاکی از آن است که افزایش غلظت نیترات کادمیوم منجر به انتقال بیشتر آن به بخش هوایی نمی‌شود و احتمالاً مینای چمنی در غلظت‌های بالاتر نیترات کادمیوم با استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی خود توانسته است از تجمع نیترات کادمیوم در غلظت‌های بالاتر، در بافت‌های خود جلوگیری نماید. چنین نتایجی در مطالعات دیگر از جمله در مورد سایر گیاهان از جمله پنیرک نیز به‌دست آمده است (ذوفن و همکاران، ۱۳۹۷).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم کاتالاز در اندام‌های هوایی گیاه مورد بررسی در غلظت‌های ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافته است. همچنین، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز اندام‌های هوایی با افزایش غلظت کادمیوم نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش داشته است. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز ریشه‌ها در غلظت‌های ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم نسبت به شاهد افزایش معنی-دار نشان داده است. همچنین، فعالیت آنزیم پراکسیداز در ریشه‌ها با افزایش غلظت کادمیوم نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشته است (جدول ۴).

به نظر می‌رسد کادمیوم موجب تولید رادیکال‌های آزاد و در نتیجه کاهش کلروفیل و به دنبال آن کاهش فتوسنتز در مینای چمنی شده و به عبارت دیگر تنش اکسیداتیو را سبب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

شده است. از این‌رو افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌تواند پاسخ دفاعی گیاه باشد (Shahid *et al.*, 2014؛ شهابی‌وند و همکاران، ۱۴۰۱). افزایش فعالیت کاتالاز تحت تأثیر کادمیوم از طریق سم‌زدایی پراکسید هیدروژن و جلوگیری از تولید رادیکال هیدروکسیل به منظور حفاظت از پروتئین‌ها، چربی‌ها و اسیدهای نوکلئیک گزارش شده است (Rastgoo and Alemzadeh, 2011). با توجه به اینکه کاتالاز در پراکسی‌زوم سلول‌های برگی وجود دارد و در کلروپلاست یافت نمی‌شود، آسکوربات پراکسیداز در اندامک یادشده افزایش می‌یابد و با افزایش غلظت کادمیوم، میزان فعالیت آن افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر در این موارد با نتایج در مورد عدس (بارنده و کاوسی، ۱۳۹۵)، ذرت (پوراکبر و اشرفی، ۱۳۹۰) و توت‌فرنگی (Muradoglu *et al*., 2015) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که از نتایج این پژوهش بر می‌آید گیاه مینای چمنی در برابر تنش ناشی از تجمع فلز کادمیوم، گیاه چندان مقاومی نیست و کاهش شاخص‌های رشد از قبیل وزن خشک، وزن تر، طول گیاه، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و پروتئین در گیاهان تحت تأثیر کادمیوم نسبت به گیاهان شاهد مؤید این مطلب است. گیاه مینای چمنی، در این شرایط سعی کرده است با افزایش آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی تا حدی با اثرات سمی کادمیوم مقابله کند. البته مشخص شد که پرولین نقش چندانی در این زمینه ندارد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی طبق ابلاغ گرنت شماره ۴۹۰۹ مورخ ۱۴۰۲/۳/۶ انجام شده است.

منابع

آقا عباسی، کیان، بی‌باک، حسین، و قطب‌زاده، سپیده (۱۳۹۲). بررسی تأثیرات کادمیوم بر پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهچه‌های کلزا. اولین همایش ملی زیست‌پالایی، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

آقائی، کیوان، راه خسروانی، بهاره، مغانلو، لیلا، و قطبی راوندی، علی‌اکبر (۱۳۹۸). بررسی اثر تجمع کادمیوم بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در گیاه ریحان. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸(۳۳)، ۱۱۵-۱۰۷. DOR:20.1001.1.23222727.1398.8.33.23.3

کاوسی، حمیدرضا، و بارنده، فاطمه (۱۳۹۵). اثر کلرید کادمیوم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای پرولین، میزان پروتئین‌های محلول و برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهچه‌های عدس. *مجله فرایند و کارکرد گیاهی*، ۵(۱۶)، ۱۳۳-۱۱۷. DOR:20.1001.1.23222727.1395.5.16.9.45

پوراکبر، لطیفه، و اشرفی، رقیه (۱۳۹۰). اثر کادمیوم بر میزان تولید هیدروژن پراکسید و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه ذرت. *نشریه یافته‌های نوین در علوم زیستی*، ۹(۳)، ۴۸۴-۴۷۳.

تاجی، هاجر، و گلچین، احمد (۱۳۸۹). بررسی سطوح مختلف کادمیوم و گوگرد بر عملکرد و غلظت کادمیوم و برخی عناصر کم مصرف در برگ و ریشه ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط گلخانه‌ای. *مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۱(۴)، ۳۳-۲۳. DOR:20.1001.1.20089082.1389.1.4.3.3

چرم، مصطفی، و جعفری، سیروس (۱۳۸۲). تثبیت کبالت و کادمیوم در رس‌های خاک به کمک انرژی حرارتی. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۷(۲)، ۸۲-۶۹. DOR:20.1001.1.24763594.1382.7.2.6.2

حسینی، شهرزاد، زارع، ناصر، شیخ‌زاده، پریسا، و ابوطالبی، شهربانو (۱۴۰۰). تأثیر نانوسیلیکون بر خصوصیات بیوشیمیایی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) تحت تنش کادمیوم. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۵(۳)، ۸۲۹-۸۱۷. http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.3997.1951

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

حق‌شناس، ابوذر (۱۳۹۲). اثرات زیانبار مواجهه با کادمیوم برای انسان. اولین همایش سراسری محیط‌زیست، انرژی و پدافند زیستی. تهران.

ذوفن، پرژک، نیسی، الهام، و رستگارزاده، سعادت (۱۳۹۷). ارزیابی برخی شاخص‌های رشدی و توانایی تجمع کادمیوم در بخش‌های هوایی. ریشه‌ای پنیرک (*Malva parviflora* L.) در شرایط هیدروپونیک. *مجله پژوهش‌های گیاهی*، ۳۱(۲)، ۳۳۱-۳۱۶. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1397.31.2.9.7

زرگری، علی (۱۳۶۸). گیاهان دارویی. انتشارات دانشگاه تهران.

شهابی‌وند، صالح، آقایی، احمد، اطهاری، معصومه، و نصیری، یوسف (۱۴۰۱). اثر کاربرد برگی اکسید روی و نانوذره روی بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.). *مجله فرایند و کارکرد گیاهی*، ۱۱(۴۷)، ۹۴-۸۳. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1401.11.47.15.4

شیخ زاده، پریسا، زارع، ناصر، و ابوطالبی، شهربانو (۱۴۰۱). تأثیر تنش کادمیوم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و متابولیت‌های ثانویه گاوزبان (*Borago officinalis* L.). *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*،۱۵ (۴)، ۱۱۶۰-۱۱۴۵. http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4245.1996

صفاهیه، علیرضا، و محمودی، معصومه (۱۳۹۳). غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در رسوبات ساحلی بوشهر. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۱۶(۳)، ۳۳-۲۵.

قادریان، سیدمجید، ناطقی، سمیرا، و مستاجران، اکبر (۱۳۹۹). اثر کادمیوم بر میزان آتروپین و پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه داتوره. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۹(۳۶)، ۳۰-۱۸. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1399.9.36.4.7

کاظم علیلو، سولماز، و رسولی صدقیانی، میرحسین (۱۳۹۱). اثر آلودگی کادمیومی خاک بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه بنگدانه در حضور و عدم حضور ریزجانداران محرک رشد گیاه. *نشریه دانش آب و خاک*، ۲۲(۴)، ۳۰-۱۷.

مشایخی، حمیدرضا، بقائی، امیرحسین، و گماریان، مسعود (۱۳۹۳). بررسی اثر کادمیوم بر برخی پارامترهای مورفولوژیکی گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*). دومین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار، همدان.

مهربان، پویان، و عبدل‌زاده، احمد (۱۳۹۱). اثرات بیشبود آهن در فعالیت آنتی‌اکسیدانی و الگوی الکتروفورزی پروتئین‌ها در گیاه برنج رقم شفق. *مجله پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۱۹(۱)، ۱۰۶-۸۵. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1391.19.1.5.1

نورانی آزاد، حمید، و کفیل‌زاده، فرشید (۱۳۹۰). تأثیر سمیت کادمیوم بر رشد، قندهای محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی آنزیم‌ها در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). *نشریه زیست‌شناسی ایران*، ۲۴(۶)، ۸۵۷-۸۴۸.

نوروزی، رعنا، باقی‌زاده، امین، و عباسپور، حسین (۱۳۹۲). بررسی اثر کادمیوم بر میزان پروتئین‌ها دراندام هوایی گیاه تاجریزی (*Solanum nigrum* L.). کنفرانس علوم کشاورزی و محیط‌زیست، شیراز.

وزیری الهی، غلامرضا (۱۳۶۶). گلکاری عملی. انتشارات روزبهان.

Abeles, F. B. & Biles, C. L. (1991). Characterization of peroxidase in lignifying peach fruit endocarp. *Plant Physiology*, *95*(1), 269-273. https://doi.org/10.1104%2Fpp.95.1.269

Aebi, H. (1974). Catalase. In: Methods of Enzymatic Analysis. (ed. Bergmeyer, H. U.) Pp. 673-684. Academic Press, New York.

Ali, G., Srivastava, P. S., & Iqbal, M. (2001). Responses of *Bacopa moniera* cultures to cadmium toxicity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *66*(3), 342-349. https://doi.org/10.1007/s001280011

Bates, L. S., Waldrent, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Benavides, M. P., Gallego, S. M., & Tomaro, M. L. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *17*(1), 21-34. https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100003

Bradford, M. M. (1976). A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999

Ghaderian, S. M. & Jamali Hajiani, N. (2010). Tolerance, uptake and accumulation of cadmium in *Matthiola*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

chenopodiifolia Fisch and C. A. Mey (Brassicaceae). *Journal of Plant Biology*, *6*, 87-98.
Ghosh, M. & Singh, S. P. (2005). Strategies for enhancing the phytoremediation of cadmium contaminated agricultural soils by *Solanum nigrum* L. *Environmental Pollution*, *159*, 762-768.
Hamid, N., Bukhari, N., & Jawaid, F. (2010). Physiological responses of *Phaseolus vulgaris* to different lead concentrations. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *42*(1), 239-246.
Hassan, A. A. (2006). Study of chemical treatment effect on chemical composition and *in vitro* digestibility for dried date palm frond. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, *4*, 401-414.
John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., & Sharma, S. (2009). Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters metal accumulation by *Brassica juncea* L. *International Journal of Plant Production*, *3*(3), 65-76. https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.653
Kabir, M., Iqbal, M. Z., Shafigh, M., & Faroogi, Z. R. (2008). Reduction in germination and seedling growth of *Thespesia populnea* L. caused by lead and cadmium treatments. *Pakistan Journal of Botany*, *40*(6), 2419-2426.
Khatibi, M., Rashed, M. H., Ganjeali, A., & Lahooti, M. (2008). The effects of different nickel concentration on some morpho-physiological characteristics of parsley. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *6*(12), 295-302. https://doi.org/10.22067/gsc.v6i2.2436
Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, *148*, 350-382. http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879 (87)48036-1
Liu, Z., He, X., Chen, W., Yuan, F., Yan, K., & Tao, D. (2009). Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in a potential hyperaccumulator *Lonicera japonica* Thumb. *Journal of Hazardous Materials*, *169*(1-3), 170-175. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.090
Mihalescu, L. A., Mare-Rosca, O. E., Marian, M., & Bildar, C. F. (2010). Research on the growth intensity of the *Zea mays* L. plant lets aerial parts under cadmium treatment. *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Biologie*, *17*(1), 147-151.
Mishra, S., Tripathi, R. D. S., Dwivedi, S., Trivedi, P. K., Dhankher, O. P., & Kharer, A. (2009). Thiol metabolism play signicant role during cadmium detoxication by *Ceratophyllum demersum* L. *Bioresource Technology*, *100*(7), 2155-2161. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.10.041
Mitich, L. W. (1997). English daisy (*Bellis perennis* L.). *Weed Technology*, *11*(3), 626-628. https://doi.org/10.1017/S0890037X00045541
Mok, M. C. (1994). Cytokinins and plant development- An overview in cytokinins. *Chemistry, Activity, and Function*, 155-166. http://dx.doi.org/10.1201/9781351071284-12
Muradoglu, F., Gundogdu, M., Ercisli, S., Encu, T., Balta, F., Jaafar, H., & Haq, M. (2015). Cadmium toxicity affects chlorophyll a and b content, antioxidant enzyme activities and mineral nutrient accumulation in strawberry. *Biological Research*, *48*(1), 11. http://dx.doi.org/10.1186/s40659-015-0001-3
Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidasein spinach chloroplasts. *Plant, Cell and Environment*, *22*(5), 1193-1198. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232
Ogundola, A. F., Adebayo, E. A., & Ajao, S. O. (2022). Phytoremediation: The ultimate technique for reinstating soil contaminated with heavy metals and other pollutants. In: Phytoremediation Technology for the Removal of Heavy Metals and Other Contaminants from Soil and Water, Pp. 19-49. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85763-5.00012-X
Qin, G., Lapidot, S., Numata, K., Hu, X., Meirovitch, S., Dekel, M., Podoler, I., Shoseyov, O., & Kaplan, D. L. (2009). Expression, cross-linking, and characterization of recombinant chitin binding resilin. *Biomacromolecules*, *10*(12), 3227-3234. https://doi.org/10.1021/bm900735g
Rastgoo, L. & Alemzadeh, A. (2011). Biochemical responses of Guoan (*Aleuropus littoralis*) to heavy metals stress. *Australian Journal of Crop Sciences*, *5*(4), 375-383.
Saadati, M., Motesharezadeh, B., & Moez-ardalan, M. (2012). Study of concentration change of proline and potassium for two varieties of Pinto beans under cadmium stress. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, *3*, 344-352.
Sandalio, L. M., Dalurzo, H. C., & Gomez, M. (2001). Cadmium induced changes in the growth and oxidative metabolism of Pea plants. *Journal of Experimental Botany*, *52*(364), 2115-2126. https://doi.org/10.1093/jexbot/52.364.2115.
Sanita di Toppi, L. & Gabbrielli, R. (1999). Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, *41*(2), 105-130. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(98)00058-6
Shah, K. & Dubey, R. S. (1997). Effect of cadmium on proline accumulation and ribonuclease activity in rice seedlings: Role of proline as a possible enzyme protectant. *Biologia Plantarum*, *40*, 121-130.
Shahid, M., Pourrut, B., Dumat, C., Nadeem, M., Aslam, M. M., & Pinelli, E. (2014). Heavy metal induced reactive oxygen species: Phytotoxicity and physiochemical changes in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, *232*, 1-44. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06746-9_1
Sharma, K., Saini, A. L., Nawab, S., & Ogra, J. L. (1998). Feeding behavior and forage nutrient utilization by goats on

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

a semi-arid reconstituted silvipasture. *Asian-Australian. Journal of Animal Sciences, 4*, 344-350.

Singh, S. & Sinha, S. (2005). Accumulation of metals and its effects in *Brassica juncea* (L.) Czern. (cv. Rohini) grown on various amendments of tannery waste. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *62*(1), 118-127. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2004.12.026.

Stace, C. (1997). New Flora of the British Isles. 2nd Ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Sumner, M. E. & Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Methods of Soil Analysis (eds. Sparks, D. L., Page, A. L. and Helmke, P. A.) Pp. 1201-1229. *Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin, USA.

Talatam, S. & Parida, B. (2009). Crop growth as influenced by Zinc and organic matter in Cadmium-rich polluted soils, *Department of Plant Sciences*, 4-13.

Tiryakioglu, M., Eker, S., Ozkutlu, F., Husted, S., & Cakmak, I. (2006). Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. *Trace Element Medical Biology*, *20*(3), 181-189. doi: 10.1016/j.jtemb.

Zengin, F. K. & Munzuroglu, O. (2005). Effects of some heavy metals on chlorophyll, proline and some antioxidant and chemicals in Bean (*Phaseolus vulgaris* L) seedlings. *Acta Biologica Cracoviensla Series Botanica*, *47*(2), 157-164.

Zhao, S. P., Zhang, Y. Z., Ye, X. Z., Zhang, Q., & Xiao, W. D. (2015). Responses to cadmium stress in two tomato genotypes differing in heavy metal accumulation. *Turkish Journal of Botany*, *39*(4), 615-624. 10.3906/bot-1408-34

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

Effect of cadmium on some physiological and biochemical traits in common daisy (*Bellis perennis* L.)

Faezeh Fazeli*, Asma Motaghedi

Department of Biology Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
(Received: 2023/07/27, Accepted: 2023/11/27)

Abstract

Heavy metals are part of the most important and dangerous environmental pollutants due to their long shelf life, non-degradability by soil microorganisms, and high potential for absorption by plants and entering the food chain. Cadmium is one of the toxic metals for organisms such as plants. The purpose of this research was to investigate the effect of cadmium on the ability of the common daisy plant. In this research, the effect of different amounts of cadmium (0, 10, 20 and 30 mgl^{-1}) had done in a completely randomized design with three replicates. The results showed that the increase of the cadmium hadn't any significant effect on common daisy plant fresh weight and length. Also, plant dry weight, shoot total chlorophyll, shoot and root carotenoids contents, total protein contents, plant translocation factor and bioaccumulation factor decreased with the increase of cadmium concentration, significantly. While shoot and root proline, and cadmium contents and catalase, peroxidase and ascorbate peroxidase activity increased, significantly. According to this research, the common daisy isn't suitable for planting in studied cadmium concentrations.

Keywords: Antioxidant enzymes, Cadmium, Common daisy, Proline, Protein

Corresponding author, Email: Fazeli@sru.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]