اثر کلسیم بر جذب و تجمع کادمیوم و روی در گیاه چلیپا (*Matthiola flavida* Boiss.)

احمد مهتدی* و لیلا ابراهیمی

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یاسوج، یاسوج

(تاریخ دریافت: ١٣٩٤/١٢/١١، تاریخ پذیرش نهایی: ١٣٩٥/٠٥/٣٠)

چکیده:

آلودگی ناشی از حضور فلزات سنگین در هوا، آب و خاک یکی از مشکلات مهم اکولوژیکی در جهان است. در این پژوهش، اثر غلظت‌های مختلف کلسیم بر جذب و تجمع کادمیوم و روی در گیاه *M. flavida* مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از غلظت‌های ١٠٠، ٤٠٠ و ١٦٠٠ میکرو مولار کلسیم و ١، ٥ و ١٠ میکرو مولار کادمیوم و ١٠، ٢٠ و ٤٠ میکرو مولار روی استفاده گردید. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. ابتدا بذور گیاه در پیت کشت داده شد و گیاهچه‌های به دست آمده در مرحله دو برگی شدن به محیط کشت هیدروپونیک منتقل شدند و با استفاده از محلول هوگلند به مدت دو هفته آبیاری شد. دو هفته پس از تیمار با فلزات مورد نظر، طول ریشه، وزن خشک ریشه و بخش هوایی، میزان کلروفیل، سطح برگ، آب نسبی و میزان فلز انباشته شده در گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که افزایش غلظت کلسیم باعث کاهش سمیت کادمیوم و روی شد. در غلظت ١٦٠٠ میکرو مولار کلسیم و ١ میکرو مولار کادمیوم بیشترین طول ریشه مشاهده شد ولی با افزایش میزان کادمیوم، طول ریشه کاهش یافت. هم چنین وزن خشک ریشه و بخش هوایی، میزان کلروفیل، سطح برگ و محتوای نسبی آب گیاه با افزایش کادمیوم کاهش یافت. بررسی مقدار کادمیوم در بخش هوایی و ریشه گیاه نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت میزان انباشته شدن این عنصر توسط گیاه افزایش یافت. به طور کلی کلسیم باعث کاهش سمیت کادمیوم و روی شد.

کلمات کلیدی: روی، کادمیوم، کلسیم، *Matthiola flavida*

مقدمه:

آلودگی خاک خطرات روزافزونی برای سلامتی انسان‌ها و محیط زیست دارد. عناصر سنگین از جمله مهمترین آلاینده های محیط زیست به شمار می‌روند. تجمع فلزات سنگین در خاک به ویژه زمین‌های کشاورزی امری تدریجی بوده و غلظت عناصر می‌تواند به سطوحی برسد که امنیت غذایی بشر را تهدید کند. فلزات سنگین در محیط تجزیه نمی‌شوند، بنابراین نیاز به خارج کردن آن‌ها از محیط می‌باشد (موسوی و همکاران، ١٣٩١). معضل اصلی مربوط به فلزات سنگین آن است که این آلاینده‌های غیر آلی بر خلاف آلاینده‌های آلی تجزیه‌پذیر نمی‌باشد. کادمیوم و روی از جمله این فلزات هستند. کادمیوم هوموستازی یونی در گیاهان را مختل می‌کند. همچنین حضور کادمیوم در خاک جذب مواد غذایی از جمله کلسیم، منیزیم، پتاسیم، نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز، مس، روی و نیکل را مختل می‌کند (Siddiqui *et al.*, 2012).

به طور کلی گیاهان به سمیت کادمیوم حساس می‌باشند و کادمیوم بر ویژگی‌های مولکولی و فیزیولوژی گیاه و تغییرات ژنتیکی آن اثر می‌گذارد. هم‌چنین روی تنظیم روزنه، محتوای آبسزیک اسید و وضعیت آب برگ‌ها و توانایی تثبیت نیتروژن و بیوسنتز آنزیم‌ها تاثیر دارد (Ghani, 2010). باز شدن روزنه

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: a.mohtadi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]

ها، تعرق و فتوسنتز تحت تاثیر کادمیوم بوده و کلروز و لوله شدن برگ از علائم ناشی از سمیت کادمیوم در گیاهان می باشد. کادمیوم هم‌چنین جذب نیترات و انتقال از ریشه به شاخه را به وسیله ممانعت از فعالیت نیترات ردکتاز در شاخه‌ها کاهش می‌دهد. مشاهدات نشان داده‌اند که استرس اکسیداتیو با تحریک تولید رادیکال آزاد اکسیژن یا به وسیله کاهش آنتی اکسیدانت‌های آنزیمی و غیر آنزیمی می‌تواند ناشی از سمیت کادمیوم باشد (Hoseini and Zargari, 2013).

فلز سنگینی مانند روی برای رشد و نمو طبیعی گیاه ضروری است، چرا که این فلز از اجزای ساختمانی بسیاری از آنزیم‌ها و پروتئین‌ها می‌باشد، ولی زمانی که این فلز با غلظت بالا در خاک وجود داشته باشد اثرات سمی و مخربی بر سلول ها خواهد داشت. لذا وجود مقادیر بالا از هر دو گروه فلزات ضروری و غیر ضروری در خاک منجر به بروز علایم مسمومیت و جلوگیری از رشد گیاهان می‌شود. انتقال کلسیم می‌تواند در رقابت با عناصر دیگر مانند کاتیون‌های دو ظرفیتی مثل یون‌های کادمیوم باشد. کلسیم نقش مهمی در تحمل تنش های گیاهی دارد. همراه بودن فلزات ضروری و غیر ضروری در اکوسیستم منجر به افزایش برهم‌کنش بین آنها می‌شود (Katoch and Singh, 2014). به احتمال زیاد کلسیم باعث کاهش سمیت کادمیوم به واسطه رقابت برای دریافت یون فلزی می‌شود. کلسیم نقش قابل توجهی روی رشد و فرایند های فیزیولوژیکی گیاه دارد و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت را افزایش می‌دهد (Siddiqui *et al.*, 2012). برخی گیاهان می‌توانند به طور کامل و یا جزیی مواد آلاینده موجود در خاک، لجن، رسوبات، آب‌های زیر زمینی و سطحی و هوا را در خود جمع کنند که به این فرایند گیاه پالایی می‌گویند. گیاه پالایی روشی پایدار، طبیعی، کم هزینه، آسان، دوست‌دار محیط زیست و قابل کاربرد در سطوح وسیع است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۱).

گیاه چلیپا (*Matthiola flavida* Boiss.) از خانواده شب بو و بومی مناطق ایران است. با توجه به اینکه گیاه *M. flavida* توانایی رشد در خاک‌هایی با غلظت بالای سرب و روی را دارد و می‌تواند میزان بالایی از این فلزات را در بخش‌های هوایی خود تجمع دهد و هم‌چنین با توجه به اینکه کلسیم می‌تواند باعث کاهش اثر سمیت برخی فلزات سنگین شود، لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر کلسیم بر جذب و تجمع کادمیوم و روی در این گیاه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها:

نحوه‌ی کاشت و آماده‌سازی گیاه: این تحقیق در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم دانشگاه یاسوج انجام گرفت. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. به منظور جوانه‌زنی دانه رست‌های مناسب برای انتقال به کشت هیدروپونیک، بذرهای را که از زیستگاه طبیعی جمع‌آوری شده بود در ظرف‌های حاوی کود گیاهی کاشته شد و در شرایط اتاق کشت قرار داده شدند. دانه‌رست های ۱۵ روزه به محیط کشت هیدروپونیک در گلدان‌های یک لیتری پلاستیکی با محلول غذایی تغییر یافته هوگلند منتقل شدند.

در هر گلدان ٤ گیاه قرار داده شد. گلدان‌ها در اتاقک کشت با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۷ درجه سانتی‌گراد در شب و تناوب نوری ١٦ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شدند. گیاهان ابتدا در محیط هیدروپونیک به مدت ١٤ روز کشت شدند و در این مدت هر هفته محلول غذایی آن‌ها تعویض شد. بعد از دو هفته با استفاده از ترکیب نیترات کلسیم و سولفات کادمیوم و همچنین ترکیب نیترات کلسیم و سولفات روی تیمار شدند. تیمارهای کلسیم با غلظت‌های ۱۰۰، ٤۰۰ و ١٦۰۰ میکرو مولار و کادمیوم با غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ میکرو مولار و عنصر روی با غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ٤۰ میکرو مولار با تهیه محلول ۰/۱ هوگلند آغاز شد و به مدت ١٤ روز ادامه یافت. قبل از شروع تیمارها، جهت تسهیل اندازه‌گیری رشد ریشه، ریشه‌ها با کربن فعال رنگ‌آمیزی شدند. سپس به محلول غذایی که شامل تیمارها بود انتقال داده شد.

محلول غذایی هر٦ روز یک بار تعویض و اسیدیته محلول بر روی ۵/۵ تنظیم شد. همه تیمارها در شرایط فتوپریود ١٦ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در دمای $^{\circ}C$ ۲۰-۱۷

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]

نگهداری شد. پس از گذشت ١٤ روز نمونه‌ها برداشت شدند.

اندازه گیری طول ریشه (شاخص مقاومت): ٦ روز پس از تیمار با استفاده از کاغذ شطرنجی افزایش طول ریشه اندازه گیری شد.

اندازه‌گیری وزن خشک: پس از پایان تیمار، گیاهان برداشت شدند و برای زدودن کادمیوم و روی که به سطح ریشه چسبیده بود از محلول ۲۰ میلی مولار Na_2EDTA استفاده شد. ریشه ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق در محلول مذکور قرار گرفت و با دستمال کاغذی سطح آن‌ها خشک شد. سپس هرگیاه به بخش هوایی و ریشه تقسیم شد و هر بخش در پاکت گذاشته شد و درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قرار گرفت تا کاملا خشک شود سپس وزن خشک با ترازو (مدل SartoriusTe313s) برحسب گرم اندازه گیری شد.

اندازه‌گیری کلروفیل: میزان کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (مدل SPAD-502PLUS) اندازه‌گیری شد. از هر گیاه دو برگ وسطی به طور یکسان انتخاب شده و قسمت ابتدایی و انتهایی برگ را زیر لامل دستگاه کلروفیل سنج قرار داده، میانگین دو عدد خوانده شده کلروفیل سنج، همان کلروفیل کل می‌باشد.

محتوای نسبی آب برگ: برای تعیین محتوای نسبی آب برگ، دو برگ جوان، کامل و در موقعیت یکسان به طور تصادفی انتخاب شد. در آزمایشگاه پس از تمیز کردن سطح برگ با دستمال، با کمک دستگاه پانچ، از هر برگ سه دیسک به قطر ٦ میلی‌متر تهیه شد، وزن تازه دیسک‌ها به کمک ترازوی تعیین شد و درنهایت قطعات پانچ شده هر تیمار، در ظروفی که با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر پر شده بود به مدت ١٦ ساعت در درجه حرارت اتاق و در تاریکی قرار گرفت. درب ظروف جهت جلوگیری از تبخیر بسته شد. سپس به کمک کاغذ خشک‌کن رطوبت قطعات برگ خشک و وزن آماس تعیین گردید. وزن خشک نیز با قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون تعیین شد و سپس میزان RWC به روش زیر محاسبه شد:

$$RWC = [(Fw - Dw) / (Tw - Dw)] \times 100$$

در رابطه فوق: Fw : وزن تر برگ‌ها، Dw: وزن خشک برگ‌ها، TW: وزن بعد از اشباع کامل

شاخص سطح برگ: برای محاسبه سطح برگ از رابطه تجربی $LA= L\times W\times 0.75$ استفاده گردید، که در این فرمول L: طول برگ و W: بزرگ‌ترین پهنای برگ می‌باشد. هم‌چنین در این روش پس از جدا نمودن کلیه برگ‌ها از ساقه‌ها ۱/۳ برگ های کوچک، متوسط و بزرگ را بطور تصادفی انتخاب کرده و سپس بزرگ‌ترین طول و عرض برگ‌ها (برحسب سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد و بدین ترتیب سطح برگ محاسبه گردید(خواجه‌پور و همکاران، ۱۳۷۷).

اندازه‌گیری میزان فلز: پس از خشک شدن بخش هوایی و ریشه در آون، از هر نمونه ۰/۰۵گرم برداشته شد و در لوله های ۱۰ میلی لیتری ریخته شد. ۳ میلی لیتر اسید نیتریک ٦٥ درصد به آن اضافه گردید و به مدت ۱۲ ساعت در زیر هود قرار داده شد. سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا محلول شفاف شود. بعد از سرد شدن در دمای اتاق، ۱ میلی لیتر پراکسید هیدروژن به آن اضافه شد و در حمام آب گرم دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بی رنگ شد. سپس با آب مقطر به حجم ۱۰میلی لیتر رسانده شد و مقادیر کادمیوم و روی با استفاده از دستگاه طیف سنج جذب اتمی (Shimadzu AA6200 Japan) اندازه گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با استفاده از Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل میانگین مربعات (LSD) در سطح احتمال ۱٪ صورت گرفت.

نتایج و بحث:

تاثیر غلظت‌های مختلف کادمیوم و کلسیم و هم‌چنین روی و کلسیم بر طول ریشه: در جدول یک، آنالیز واریانس اثر تیمار غلظت‌های مختلف سولفات کادمیوم و نیترات کلسیم بر بعضی شاخص‌های گیاه *M. flavida* نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در اثر تیمار سولفات کادمیوم شاخص‌های سطح برگ و طول ریشه و در اثر تیمار نیترات کلسیم شاخص

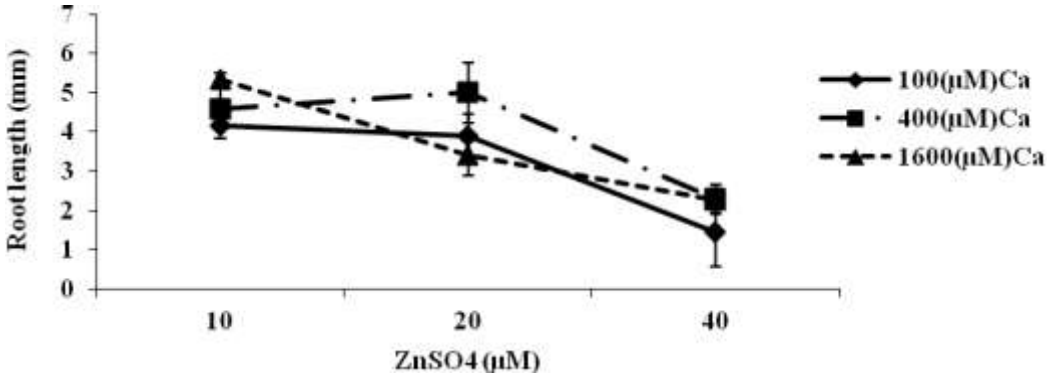
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]

جدول ۱- میانگین مربعات منابع تغییر برای صفات مورد مطالعه در بررسی اثر کلسیم و کادمیوم بر گیاه *M. flavida*

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل	سطح برگ	طول هوایی	بخش	طول ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک بخش هوایی	آب نسبی
کلسیم	۲	۱۸۲/٦^{ns}	۰/۲۷^{ns}	۳/٦٦^{ns}		۷/۷**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۹^{ns}	۰/۲۲^{ns}
کادمیوم	۲	۲۹۷/۲^{ns}	۰/۷۲**	۳/۵۷^{ns}		۸/۸**	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰٦^{ns}	۲/۷^{ns}
کلسیم×کادمیوم	٤	۳۲۷/۱۵^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/٦۲^{ns}		۰/۹^{ns}	۰/۰۰۰۰٤^{ns}	۰/۰۰۰٤^{ns}	۵/۸^{ns}
خطا	۱۸	۱٦۸/۲۳	۰/۰٤	۱/۱۲		۰/٦۳	۰/۰۰۰۰۲	/۰۰۰۳	٦/۹
ضریب تغییرات		۳۲/۹	۳۷/۹۵	۳۰/۹		٤۷/٤	۵۵/٦	٤٤/۷	۷۰

ns، * و **، به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات کادمیوم و نیترات کلسیم و هم‌چنین سولفات روی و نیترات کلسیم بر میزان افزایش طول ریشه (میلی متر) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد.

های طول ریشه و وزن خشک ریشه در سطح ۰/۱ معنی‌دار است اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نیست.

شکل ۱ اثر سطوح مختلف سولفات کادمیوم و سولفات روی را بر افزایش طول ریشه در حضور غلظت‌های ۱۰۰، ٤۰۰ و ۱٦۰۰ میکرو مولار نیترات کلسیم نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت کادمیوم طول ریشه در گیاه کاهش پیدا می‌کند. هر چه که غلظت کلسیم بالاتر می‌رود میزان طول ریشه هم افزایش می‌یابد و همان‌طور که مشاهده می‌شود در غلظت ۱ میکرومولار کادمیوم و ۱٦۰۰ میکرومولار کلسیم طول ریشه نسبت به بقیه افزایش دارد. طول ریشه به عنوان شاخص مقاومت شناخته شده است. با توجه به شکل یک گیاه *M. flavida* در سطح ۵ و ۱۰ میکرو مولار کادمیوم و ۱۰۰ میکرومولار کلسیم مقاومتی نشان نداد و افزایش طول ریشه در حدود صفر بوده است. به نظر می‌رسد که کلسیم در غلظت‌های بالا توانسته سمیت کادمیوم را کاهش دهد. در سطح ۱۰ میکرو مولار روی و ۱٦۰۰ میکرو مولار کلسیم بیشترین میزان طول ریشه و در سطح ٤۰ میکرو مولار روی و ۱۰۰ میکرو مولار کلسیم کمترین میزان طول ریشه در گیاه *M. flavida* دیده می‌شود. فقط در غلظت‌های پایین روی، با افزایش غلظت کلسیم میزان طول ریشه افزایش می یابد. کادمیوم سرعت رشد را به وسیله اثرات مختلف بر گیاه کاهش می‌دهد و در انواع مختلف گیاهان نشان داده شده که کادمیوم جذب کربن را کاهش می‌دهد (Barbeoch *et al.*, 2002). کادمیوم توسط ریشه جذب می‌شود و بر رشد گیاه از جمله طول ریشه اثر می‌گذارد و هر چه جذب کادمیوم توسط ریشه بیشتر باشد اثرات سمیت کادمیوم بیشتر نشان داده می‌شود (Hoseini and Zargari, 2013). کلسیم به عنوان یک ماده غذایی ضروری برای گیاهان، نقش مستقیمی در تنظیم رشد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]

سلولی و کاهش اثر کادمیوم دارد (kurtyka *et al.*, 2008). کلسیم برای طویل شدن ریشه‌ها ضروری است. در حضور سمیت پایین یون‌های آلومینیم، هیدروژن یا روی گیاه با سطح بالای کلسیم به راحتی رشد می‌کند (Kinraide, 1998). افزایش غلظت روی در حد سمیت باعث کاهش رشد اندام‌های هوایی، ریشه‌های اصلی و تارهای کشنده می‌شود و نسبت رشد ریشه به بخش هوایی کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند (Sagardoy *et al.*, 2008).

تاثیر غلظت‌های مختلف کادمیوم و کلسیم بر طول بخش هوایی: همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میکرو مولار کادمیوم با افزایش غلظت کلسیم طول بخش هوایی افزایش یافته که نشان‌دهنده کاهش سمیت کادمیوم می‌باشد.

اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم و کلسیم بر وزن خشک ریشه و بخش هوایی: در وزن خشک ریشه گیاه *M. flavida* در غلظت ۵ و ۱۰ میکرو مولار کادمیوم با افزایش میزان کلسیم، وزن خشک ریشه افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد (شکل ۳). در بر¬هم¬کنش کادمیوم و کلسیم، در غلظت ۱۰ میکرو مولار کادمیوم با افزایش غلظت کلسیم تا ۱۶۰۰ میکرو مولار وزن خشک ریشه تا حدود ۷۵ درصد افزایش می¬یابد. شکل ٤ اثر سطوح مختلف سولفات کادمیوم را در گیاه *M. flavida* بر وزن خشک بخش هوایی در حضور غلظت¬های مختلف نیترات کلسیم نشان می¬دهد. براساس نتایج بدست آمده در بر¬هم¬کنش کادمیوم و کلسیم در غلظت ۱۰ میکرو مولار کادمیوم افزایش کلسیم باعث افزایش ٦۰ درصدی وزن خشک بخش هوایی می¬شود.

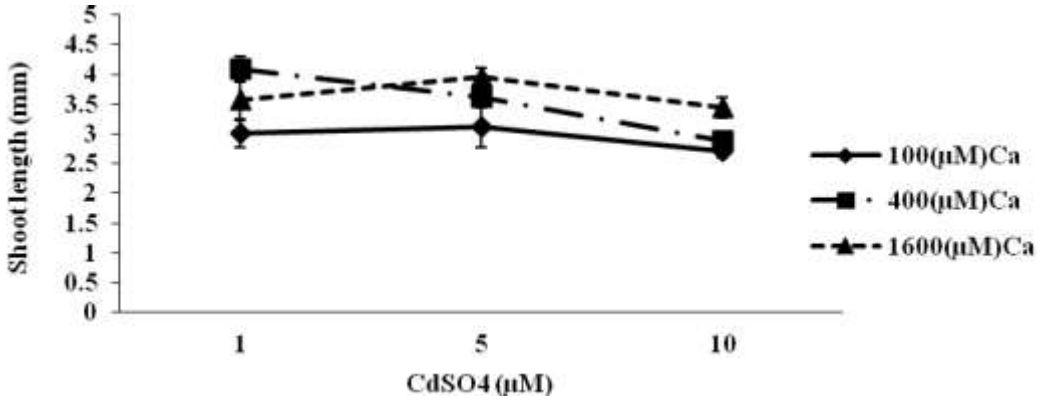
به طور کلی با افزایش غلظت کادمیوم، کاهش قابل توجهی در وزن خشک ریشه و بخش هوایی مشاهده شد (شکل ۳ و ٤). سمیت کادمیوم باعث کاهش رشد گیاه می‌شود و بر روی بخش رویشی گیاه اثر گذار است و کاهش وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاه به همین دلیل است (Ghani, 2010). سمیت کادمیوم باعث اختلال در جذب و انتقال مواد غذایی میکرو و ماکرو در گیاهان نیز می‌شود. کادمیوم باعث قهوه‌ای شدن ریشه و تغییر رنگ برگ‌ها به قرمز مایل به قهوه‌ای، اپی‌ناستی برگ‌ها و کلروز برگ‌ها می‌شود که خود بر وزن ریشه و بخش هوایی اثر گذار هستند (Hoseini and Zargari, 2013). ریشه نسبت به بخش هوایی به کادمیوم حساس‌تر است (Das *et al.*, 1998). با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که با افزایش سطوح کادمیوم در گیاه، وزن خشک بخش هوایی و ریشه کاهش می‌یابد.

کلسیم به وسیله اتصال به فسفو لیپیدها باعث تثبیت لیپیدها می‌شود و درنتیجه باعث شکل گیری غشای سلولی می‌شود. علاوه بر این ارتباط میان کلسیم و غشا پلاسمایی وجود دارد. افزایش غلظت کلسیم تحت تنش کادمیوم باعث کاهش سمیت کادمیوم می‌شود و کاهش غلظت کلسیم تحت سمیت کادمیوم ممکن است علائم سمیت را نشان دهد و سیستم دفاعی درون سلولی را به خطر اندازد (Ahmad Bhat *et al.*, 2014). کلسیم دارای نقش ساختاری در دیواره سلولی و غشاها است. هم-چنین کلسیم در تنظیم عملکردهای مختلف سلولی دارای نقش است. کلسیم در سطح ریشه به عنوان پیک ثانویه عمل می‌کند و باعث تحریک کانال‌های پروتئینی می‌شود که مواد غذایی را با انتشار تسهیل شده دریافت می‌کنند. تغییرات سطح کلسیم یک نقش کلیدی بسیار مهم را در پاسخ‌های سلولی در رشد و نمو بافت بازی می‌کند. کلسیم نقش مهمی در تحمل تنش‌های گیاهی دارد و تغییرات کلسیم سیتوزولی باعث پاسخ‌های گیاهی به محرک‌های مختلف می‌شود. کلسیم باعث رشد برگ و کلئوپتیل و رشد ریشه می‌شود (Kinraide, 1998). یک رابطه مثبت میان غلظت‌های کلسیم در محیط کشت مواد غذایی و تولید کریستال‌های اگزالات کلسیم در سطحی از رشد هیدروپونی گیاهان مشاهده می‌شود (Faheed *et al.*, 2013).

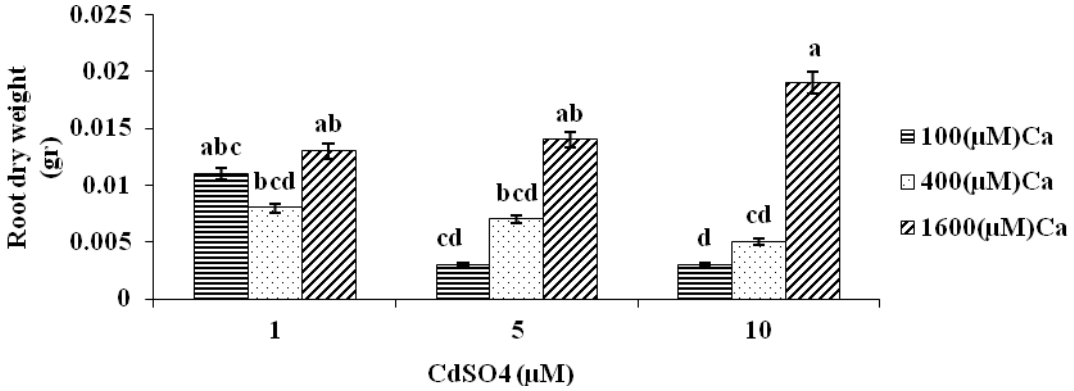
اثر غلظت‌های مختلف روی و کلسیم بر وزن خشک ریشه و بخش هوایی: شکل ۵ اثر غلظت‌های مختلف روی و کلسیم بر وزن خشک ریشه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در غلظت ٤۰ میکرو مولار روی، افزایش غلظت کلسیم باعث افزایش ۵۰ درصدی در میزان وزن خشک ریشه شده است. شکل ٦ اثر غلظت‌های مختلف روی و کلسیم بر وزن خشک بخش هوایی را نشان می‌دهد. در غلظت ۱۰ و ۲۰ میکرومولار روی افزایش کلسیم باعث کاهش وزن خشک بخش هوایی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

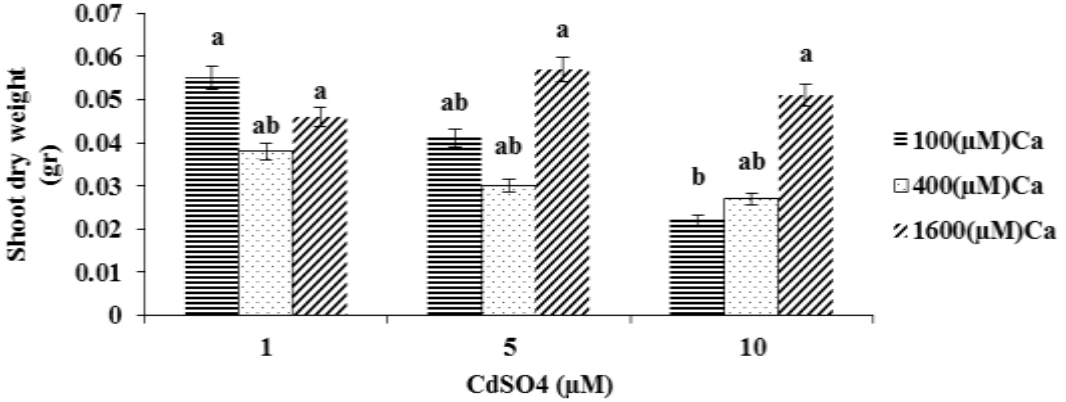
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]



شکل ۲- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات کادمیوم و نیترات کلسیم بر طول بخش هوایی (میلی متر) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد.



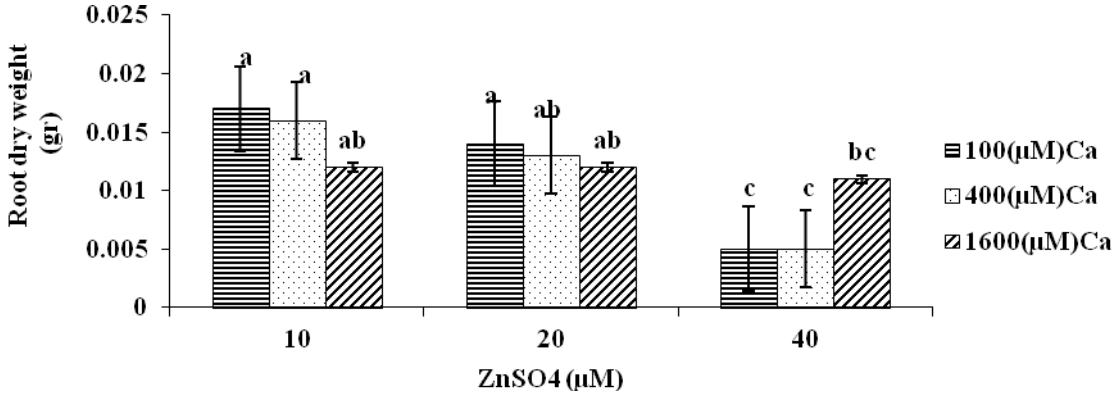
شکل ۳- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات کادمیوم و نیترات کلسیم بر میزان وزن خشک ریشه (گرم) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد ($P\leq 0.01$).



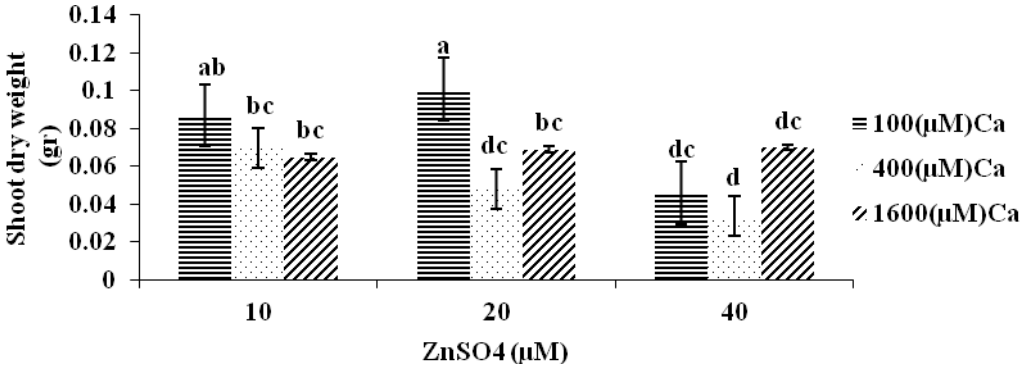
شکل ٤- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات کادمیوم و نیترات کلسیم بر میزان وزن خشک بخش هوایی (گرم) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد ($P\leq 0.01$).

شد ولی در غلظت ٤٠ میکرومولار روی افزایش غلظت کلسیم تا ١٦٠٠ میکرو مولار باعث افزایش ٤١ درصدی در وزن خشک بخش هوایی شد. روی دارای نقش کلیدی در بخش ساختاری یا فاکتور تنظیمی تعداد وسیعی از آنزیم‌ها و پروتئین های مختلف است (Vasconcelos *et al*., 2011). روی یک ماده غذایی میکرو است و برای رشد و نمو گیاه ضروری است

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]



شکل ۵- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات روی و نیترات کلسیم بر میزان وزن خشک ریشه (گرم) در گیاه M. flavida. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد (P≤ 0.01).

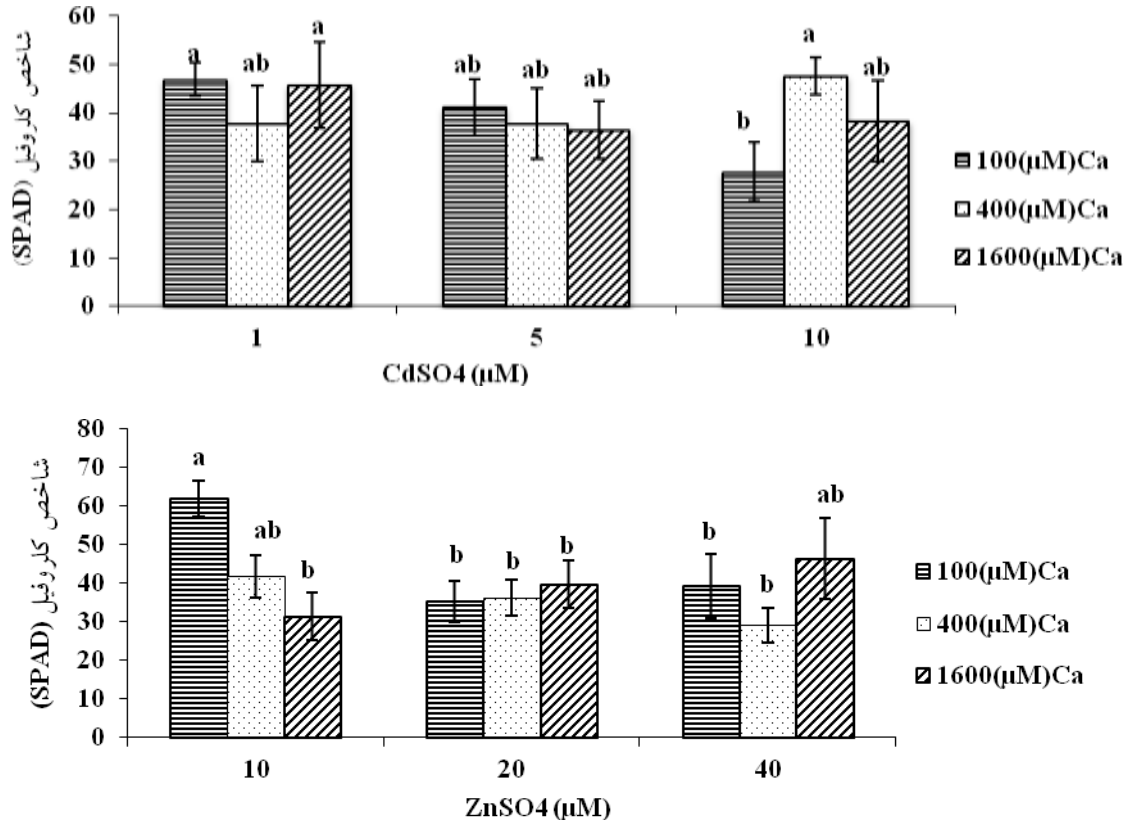


شکل ٦- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات روی و نیترات کلسیم بر میزان وزن خشک بخش هوایی (گرم) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد (P≤ 0.01).

(Mousavi *et al*., 2013). روی باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی می شود، اما افزایش زیاد آن باعث ایجاد اثر سمیت در گیاه می‌شود. در اثر سمیت روی، بخش هوایی، ریشه‌های اصلی و تارهای کشنده کاهش قابل توجهی پیدا می-کنند، البته نسبت رشد ریشه به بخش هوایی کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند و حساس‌تر است. کلسیم ممکن است اثرات سمی و جذب فلزات سنگین را کاهش دهد. کلسیم باعث خنثی کردن سمیت فلزات سنگین می‌شود و تاثیر این یون به واکنش pH وابسته است (Baker, 1978).

تاثیر غلظت‌های مختلف کادمیوم و کلسیم و هم‌چنین روی و کلسیم بر میزان کلروفیل: در گیاه *M. flavida* برهم‌کنش کادمیوم و کلسیم بر میزان کلروفیل اثر معنی‌داری نداشت (شکل ۷). افزایش کادمیوم باعث کاهش میزان کلروفیل شد و فقط در غلظت ۱۰ میکرو مولار کادمیوم، افزایش کلسیم باعث افزایش میزان کلروفیل شد. در گیاه *M. flavida* در غلظت ۱۰ میکرو مولار روی افزایش کلسیم باعث کاهش ۵۰ درصدی کلروفیل شد ولی در غلظت‌های بالاتر روی، افزایش کلسیم اثر معنی‌داری بر میزان کلرفیل نداشت. کادمیوم باعث اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی و کاهش میزان کلروفیل و اختلال در فعالیت‌های آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز می‌شود. گیاهانی که در محیط حاوی کادمیوم بالا رشد می‌کنند، دارای کلروفیل کمتری بوده، برگ‌های این گیاهان قابلیت خود را برای دریافت نور از دست می‌دهند (Aravind *et al*., 2004). روی از طریق محافظت از گروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می‌گردد (Cakmak, 2000). در حضور روی تشکیل و تکمیل کلروفیل تسهیل می‌شود (Lebedev and Timco, 1998). روی از طریق

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]



شکل ۷- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات کادمیوم و نیترات کلسیم و هم‌چنین سولفات روی و نیترات کلسیم بر میزان کلروفیل (SPAD) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد ($P\leq 0.01$).

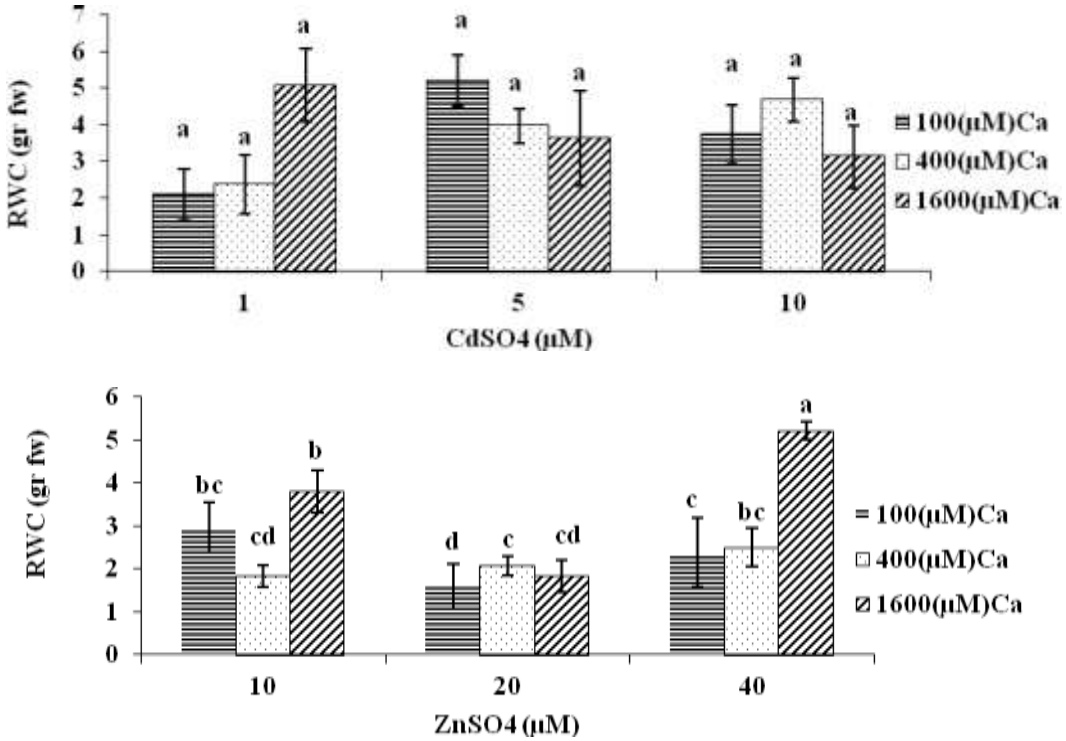
افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو، از آثار مخرب رادیکال‌های آزاد و مواد اکسید کننده جلوگیری می‌کند (Aravind *et al.*, 2003). در این آزمایش کلسیم نتوانست در حضور کادمیوم و روی اثری بر میزان کروفیل داشته باشد.

اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم و کلسیم و هم‌چنین روی و کلسیم بر میزان آب نسبی: شکل ۸ اثر غلظت‌های مختلف سولفات کادمیوم و سولفات روی بر میزان آب نسبی در گیاه *M. flavida* در حضور غلظت‌های ۱۰۰، ٤۰۰ و ۱٦۰۰ میکرو مولار نیترات کلسیم کلسیم را نشان می‌دهد. در سطوح مختلف کادمیوم افزایش غلظت کلسیم رفتار متفاوتی را نشان می‌دهد به طوری که در غلظت ۱ میکرو مولار کادمیوم افزایش کلسیم باعث افزایش آب نسبی شده ولی در غلظت ۵ میکرو مولار کادمیوم، افزایش کلسیم باعث کاهش میزان آب نسبی شده است. ولی برهم‌کنش کادمیوم و کلسیم معنی دار نبود. همان‌طور که مشاهده می‌شود فقط در غلظت ٤۰ میکرو مولار روی با افزایش غلظت کلسیم میزان آب نسبی افزایش معنی‌دار حدود ٦۰ درصد پیدا می‌کند.

کادمیوم بر روی جذب آب، انتقال آب و تراوش آن به بیرون اثرگذار است. کاهش جذب آب در حضور کادمیوم در گیاهان می‌تواند در رشد ریشه خود را نشان دهد. پتانسیل تورگر برگ‌ها نیز تحت تاثیر کادمیوم کاهش می‌یابد. کاهش پتانسیل تورگر می‌تواند به دلیل سازگاری اسمزی باشد. گزارش شده که پتانسیل تورگر پایین در برگ‌ها به خاطر اثر کادمیوم در گیاهان رایج بوده که محتوای آب نسبی را بالا می‌برد و پتانسیل اسمزی را در گیاهان کنترل می‌کند. به کار بردن کلسیم باعث افزایش میزان آب نسبی می‌شود (Mozafari *et al.*, 2013).

اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم و کلسیم و هم‌چنین روی و کلسیم بر میزان سطح برگ: شکل ۹ اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم و کلسیم و هم‌چنین روی و کلسیم بر میزان سطح برگ را در گیاه *M. flavida* نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]



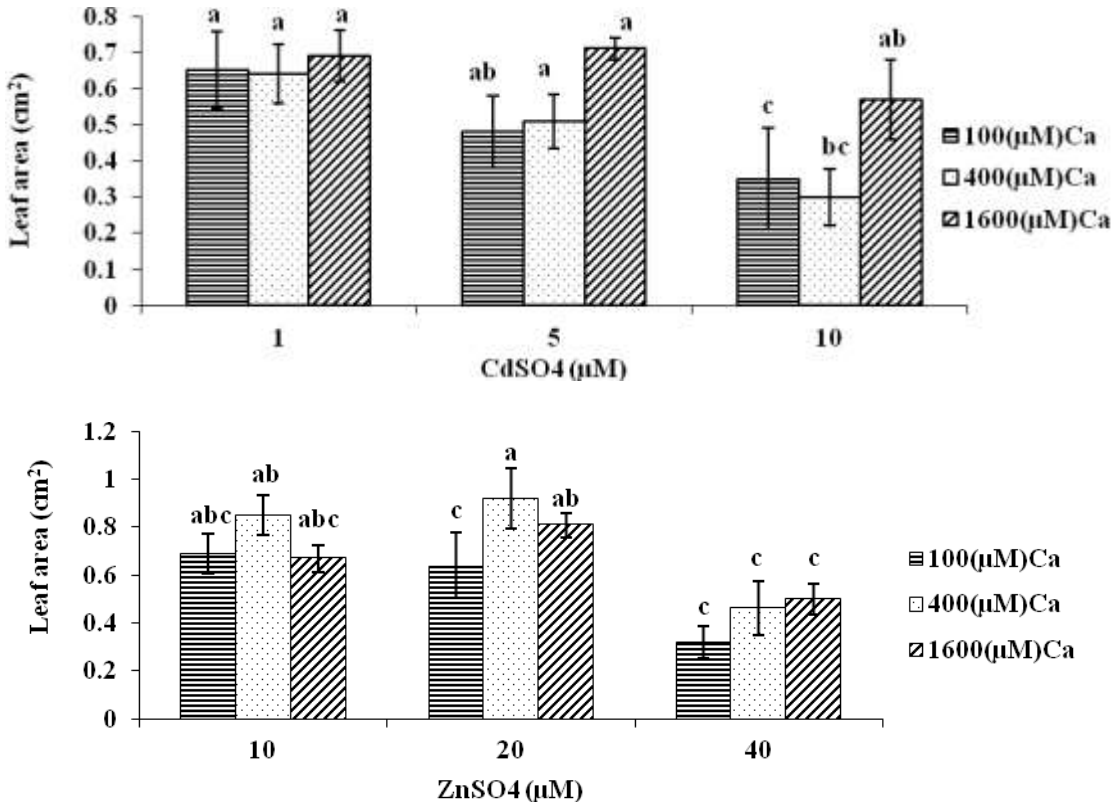
شکل ۸- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات کادمیوم و نیترات کلسیم و هم‌چنین سولفات روی و نیترات کلسیم بر میزان آب نسبی در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد ($P\leq 0.01$).

می‌شود با افزایش کادمیوم سطح برگ کاهش می‌یابد و در غلظت ۱۰ میکرو مولار کادمیوم با افزایش غلظت کلسیم تا ۱۶۰۰ میکرو مولار سطح برگ حدود ٤٣ درصد افزایش می یابد ولی در سایر غلظت‌ها اثر معنی‌درای وجود نداشت. اثر غلظت‌های مختلف روی و کلسیم بر میزان سطح برگ در گیاه *M. flavida* فقط در سطح ۲۰ میکرو مولار روی معنی دار بود (شکل ۹). از علائم سمیت کادمیوم در گیاهان ایجاد حالت نکروزه و کلروزه در برگ، تغییر رنگ برگ از سبز به قرمز قهوه‌ای، افت عملکرد و تغییر در سطح عناصر ریز مغذی در گیاه می‌باشد که باعث کاهش سطح برگ می‌شوند (Lagriffoul *et al.*, 1998). افزایش کلسیم به محیط باعث افزایش معنی‌دار در رشد رویشی می‌شود و بنابراین سطح برگ را هم افزایش می‌دهد (Parvaiz and Satyawati, 2008).

مطالعات انجام شده توسط زارع ده آبادی و همکاران (۱۳۸٦) نشان داد که عنصر روی در غلظت‌های کم سبب تحریک رشد گیاه نعناع می‌شود و غلظت بالای روی میزان سطح برگ را کاهش می‌دهد. افزایش سطح برگ در غلظت پایین را می‌توان از یک سو به نقش این فلز در بیوسنتز اکسین به عنوان یک هورمون محرک رشد در گیاه نسبت داد، زیرا فلز روی به احتمال زیاد به عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها در بیوسنتز اسید آمینه تریپتوفان به عنوان پیش ماده سنتز اکسین و یا در تبدیل اسید آمینه تریپتوفان به ایندول استیک اسید نقش دارد. کاهش میزان سطح برگ در گیاهان تیمار شده با غلظت‌های بالای روی ممکن است به دلیل تجمع فلز در برگ باشد. علاوه بر این گیاهانی که در معرض بالای فلز روی قرار می‌گیرند ساختار میتوکندریایی در آن‌ها تخریب شده و در نتیجه فرآیند های انرژی خواه مرتبط با رشد سلول و از جمله رشد سطح برگ آنها دچار اختلال می‌شود (Rout and Das, 2003).

تاثیر غلظت‌های مختلف کادمیوم و کلسیم بر میزان کادمیوم ریشه و بخش هوایی: همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود در گیاه *M. flavida* با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی میزان کادمیوم در ریشه افزایش می‌یابد ولی با افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]



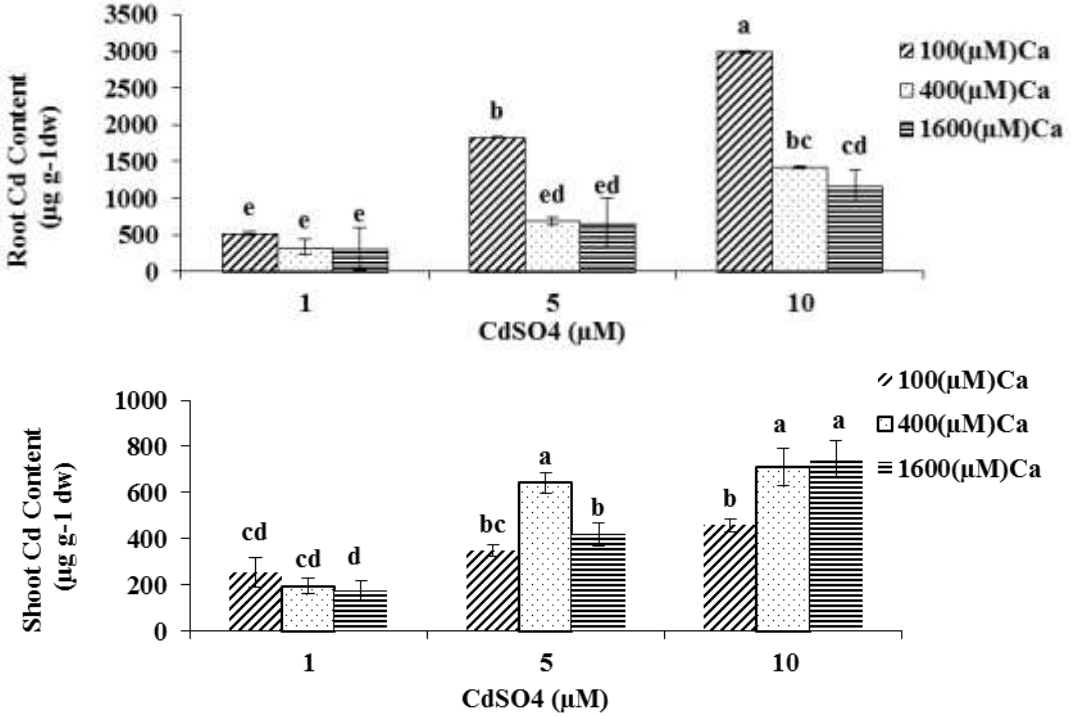
شکل ۹- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات کادمیوم و نیترات کلسیم و هم‌چنین سولفات روی و نیترات کلسیم بر میزان سطح برگ (سانتی‌متر مربع) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد ($P\leq 0.01$).

غلظت کلسیم میزان جذب کادمیوم حدود ٦۳ درصد کاهش می‌یابد. بیشترین میزان تجمع کادمیوم ریشه مربوط به غلظت ۱۰ میکرو مولار کادمیوم و ۱۰۰ میکرو مولار کلسیم است که نشان‌دهنده کاهش میزان جذب کادمیوم ریشه با افزایش کلسیم است. در گیاه *M.flavida* در غلظت ۱ میکرو مولار کادمیوم، افزایش غلظت کلسیم اثرمعنی‌داری بر میزان کادمیوم بخش هوایی نداشت (شکل ۱۰). در غلظت ۵ میکرو مولار کادمیوم با افزایش کلسیم تا ٤۰۰ میکرومولار باعث افزایش ۵۰ درصدی کادمیوم در بخش هوایی شد. در غلظت ۱۰ میکرو مولار کادمیوم با افزایش کلسیم میزان کادمیوم و تجمع آن در بخش هوایی افزایش یافت.

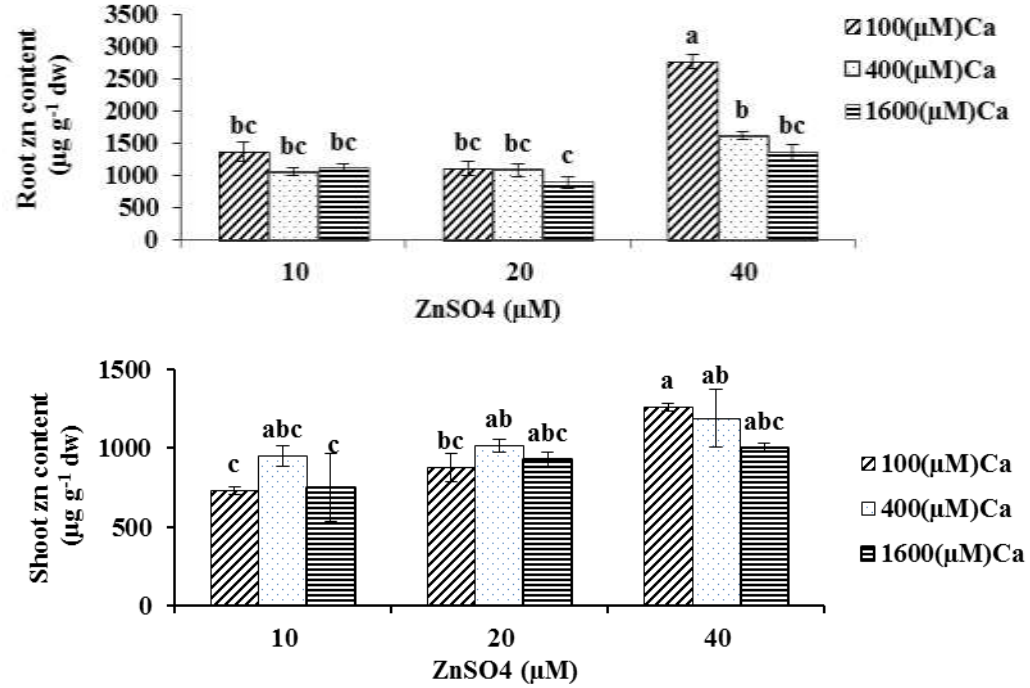
تاثیر غلظت‌های مختلف روی و کلسیم بر میزان روی ریشه و بخش هوایی: شکل ۱۱ اثر غلظت‌های مختلف روی و کلسیم بر میزان روی ریشه و بخش هوایی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میکرو مولار روی افزایش غلظت کلسیم اثر معنی‌داری بر میزان جذب روی نداشته ولی در غلظت ٤۰ میکرو مولار روی افزایش غلظت کلسیم باعث کاهش ۵۲ درصدی میزان روی در ریشه شده است. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود در گیاه *M. flavida* در سطح ۱۰ و ۲۰ میکرو مولار روی با افزایش کلسیم تا غلظت ٤۰۰ میکرو مولار میزان روی در بخش هوایی افزایش می‌یابد ولی در سطح ٤۰ میکرو مولار روی با افزایش کلسیم میزان روی بخش هوایی حدود ۲۷ درصد کاهش می‌یابد.

بررسی مقدار عنصر انباشته شده در بخش هوایی و ریشه گیاه نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت، میزان انباشته شدن این عنصر در گیاه افزایش می‌یابد. رشد گیاهان در خاک‌های آلوده می‌تواند جذب و تجمع فلزات در بافت‌های خوراکی و به موجب آن ورود فلزات در چرخه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]



شکل ۱۰- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات کادمیوم و نیترات کلسیم بر میزان کادمیوم ریشه و بخش هوایی (میکرو گرم در گرم وزن خشک) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد ($P\leq 0.01$).



شکل ۱۱- تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات روی و نیترات کلسیم بر میزان روی ریشه و بخش هوایی (میکرو گرم در گرم وزن خشک) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد ($P\leq 0.01$).

غذایی را نشان دهد. کادمیوم آنالوگ کلسیم است و به وسیله سیستم‌های انتقالی کلسیم سلول‌های گیاهی منتقل می‌شود و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]

نشان داده شده آنتی پورتر Ca^{2+}/H^{+} تونوپلاستی در آرابیدوپسیس در انتقال کادمیوم از سیتوپلاسم به واکوئل درگیر هستند (Zorrig *et al.*, 2012). بنابراین حضور کادمیوم در محیط رشد گیاه ممکن است غلظت کلسیم در گیاه را تغییر دهد. به‌عبارت دیگر میزان کادمیوم موجود در بافت گیاه بستگی به سطوح کلسیم موجود در محیط رشد دارد (kurtyka *et al.*, 2008). مطالعات انجام شده توسط Antosiewicz و Hennig (۲۰۰٤) نشان داد بیان LCT_1 در تنباکو باعث افزایش دفاع کلسیم در برابر سمیت کادمیوم می شود و تجمع کادمیوم را در ریشه کاهش می‌دهد. کلسیم در تجمع کادمیوم در کاهو و انتقال کادمیوم از ریشه به شاخه عمل متضاد دارد (Zorrig *et al*., 2012). نتایج مشاهده شده در این آزمایش مانند تحقیقات Ahmad Bhat و همکاران (۲۰۱٤) روی گیاه خردل می‌باشد که نشان داد افزایش کلسیم جذب کادمیوم را در گیاه کاهش می‌دهد. آن‌ها در تحقیقات خود اثرات آنتاگونیستی کلسیم را روی کادمیوم نشان دادند. مطالعات انجام شده توسط Parker و همکاران (۱۹۹۰) بر روی گیاه بادام زمینی نشان داد که کاتیون‌های قلیایی خاک مانند کلسیم می‌تواند مانع جذب روی شود.

نتیجه‌گیری کلی:

نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کادمیوم طول ریشه کاهش پیدا می‌کند و افزایش غلظت کلسیم باعث افزایش طول ریشه می‌شود به طوری که در غلظت ۱٦۰۰ میکرومولار کلسیم و ۱ میکرومولار کادمیوم بیشترین رشد طول ریشه دیده می‌شود. هم‌چنین در سطح ۱۰ میکرو مولار روی و ۱٦۰۰ میکرو مولار کلسیم بیشترین میزان طول ریشه دیده می‌شود. کلسیم برای طویل شدن ریشه‌ها ضروری است. کادمیوم توسط ریشه جذب می‌شود و باعث کاهش طول ریشه می‌شود چون از موارد تجمع کادمیوم ریشه‌ها هستند. میزان کلروفیل، وزن خشک ریشه و بخش هوایی، سطح برگ، طول ساقه و میزان آب نسبی هم با افزایش کادمیوم و روی کاهش می‌یابد. کلسیم با اثراتی که بر ساختار غشای سلولی دارد باعث رشد گیاه می‌شود. کلسیم باعث رشد برگ و ریشه می‌شود که در نتیجه باعث افزایش وزن گیاه می‌شود. در اثر سمیت روی، بخش هوایی، ریشه‌های اصلی و تارهای کشنده کاهش قابل توجهی پیدا می‌کنند که خود باعث کاهش وزن ریشه و بخش هوایی می‌شوند.

در کل نتایج آزمایش نشان می‌دهد که در برهم‌کنش کادمیوم و کلسیم با افزایش غلظت کلسیم وزن خشک ریشه تا حدود ۷۵ درصد افزایش و وزن خشک بخش هوایی افزایش ٦۰ درصدی می‌یابد. در برهم‌کنش روی و کلسیم، افزایش کلسیم باعث افزایش ۵۰ درصدی وزن خشک ریشه و افزایش ٤۱ درصدی وزن خشک بخش هوایی می‌شود. هم‌چنین در بر هم‌کنش روی و کلسیم با افزایش کلسیم میزان آب نسبی ٦۰ درصد و سطح برگ حدود ٤۳ درصد افزایش می‌یابد.

در ریشه گیاه با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی میزان کادمیوم جذب شده در ریشه افزایش می‌یابد و با افزایش غلظت کلسیم میزان کادمیوم حدود ٦۳ درصد کاهش می‌یابد. در تاثیر غلظت‌های مختلف کادمیوم و کلسیم بر میزان کادمیوم بخش هوایی با افزایش کلسیم، میزان کادمیوم در بخش هوایی ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. در تاثیر غلظت‌های مختلف روی و کلسیم بر میزان روی ریشه افزایش غلظت کلسیم باعث کاهش ۵۲ درصدی میزان روی در ریشه و کاهش ۲۷ درصد میزان روی بخش هوایی می‌شود. جذب، تجمع و انتقال فلزات سنگین به اندازه یون، بار الکتریکی و رقابت با یکدیگر در گیاهان بستگی دارد. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که کلسیم سمیت کادمیوم و روی را در گیاه *M. flavida* کاهش می‌دهد.

تشکر و قدردانی:

نگارندگان از دانشگاه یاسوج به خاطر حمایت مالی پژوهش حاضر قدردانی می‌نمایند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]

منابع:

خواجه‌پور، م. ر.، شریف‌زاده، ف. و اکبری، ع. (۱۳۷۷) تعیین مساحت برگ در ذرت. مجله علوم و صنایع غذایی کشاورزی ۱۲(۱): ۱۰-۵.

زارع ده آبادی، س.، اسرار، ز. و مهربانی، م (۱۳۸٦) اثر فلز روی بر رشد و برخی از شاخص های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه نعناع خوراکی (*Mentha spicata* L.). مجله زیست شناسی ایران ۲۰: ۲٤۱-۲۳۰.

موسوی، م.، باقی‌زاده، ا.، آقایاری، ف.، افضلی گروه، د. و محمدی، ن. (۱۳۹۱) بررسی تجمع سرب در قسمت‌های مختلف گیاه سیر و واکنش گیاه به تنش اکسیداتیو سرب. مجله زراعت و اصلاح نباتات ۸: ۱۱۸-۱۱۱.

Ahmad Bhat, N., Mir, A. H., Lal, E. P. and Ahmad Rather, M. (2014) Antagonistic effect of calcium (Ca^{2+}) on cadmium (Cd)viz. chlorophyll, protein and oil yield of mustard plant *(Brassica juncea* L.) var. pusa bold. International Journal of Development Research 4: 683-687.

Antosiewicz, D. M. and Hennig, J. (2004) Overexpression of *LCT1* in tobacco enhances the protective action of calcium against cadmium toxicity. Environmental Pollution 129: 237-245.

Aravind, P., Narasimba, M. and Prasad, V. (2003) Zinc alleviates cadmium-induced stress in *Ceratophyllum demersum* L.: a free floating freshwater macrophyte. Plant Physiology and Biochemistry 41: 391-397.

Aravind, P., Narasimba, M. and Prasad, V. (2004) Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L.: a free floating freshwater macrophyte. Journal of Plant Science 166: 1321-1327.

Baker, A. G. M. (1978). The uptake of Zinc and Calcium from solution culture by Zinc-tolerant and non-tolerant *Silene maritima* With. In relation to calcium supply. New Phytologist 81: 321-330.

Barbeoch, L. P., Leonhardt, N., Vavasseur, A. and Forestier, C. (2002) Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status. The Plant Journal 32: 539-548.

Cakmak, I. (2000). Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist 146: 185- 205.

Das, P., Samantaray, S., Rout, G. R. (1998) Studies on cadmium toxicity in plants. Environmental Pollution 98: 29-36.

Faheed, F., Mazen, A. and Elmohsen, S. A. (2013) Physiological and ultrastructural studies on calcium oxalate crystal formation in some plants. Turkish Journal of Botany 37: 139-152.

Ghani, A. (2010) Effect of cadmium toxicity on the growth and yield components of mungbean. World Applied Sciences Journal 8: 26-29.

Hoseini, S. M. and Zargari, F. (2013) Cadmium in Plants. International Journal of Farming and Allied Sciences 2: 579-581.

Katoch, K and Singh, K. J. (2014) Role of calcium antagonizing cadmium induced heavy metal toxicity in mungbean seedlings. Indian Journal of Plant Sciences 3: 1-6.

Kinraide, T. B. (1998) Three mechanisms for the calcium alleviation of mineral toxicities. Plant Physiology 118: 513-520.

Kurtyka, R., Malkowski, E., kita, A. and Karcz, W. (2008) Effect of calcium and cadmium on growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium and sodium in maize seedlings. Polish Journal of Environmental Studies 17: 51-56.

Lagriffoul, A., Mocquot, B., Mench, M. and Vangronsveld, J. (1998) Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll content, and activities of stressing related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.). Plant and Soil 200: 241-250.

Lebedev, N. and Timco, P. M. (1998) Protochlorophyllide photoreduction. Photosynthesis Research 58: 5-23.

Mousavi, S. R., Galavi, M. and Rezaei, M. (2013) Zinc (Zn) Importance for Crop Production. International Journal of Agronomy and Plant Production 4: 64-68.

Mozafari1, H., Asrar, Z., Rezanejad, F., Pourseyedi, S. and Yaghoobi, M. M. (2013) Calcium and L-histidine interaction on growth improvement of three tomato cultivars under nickel stress. Acta Biologica Szegediensis 57: 131-144.

Parker, M. B., Gaines, T. P., Walker, M. E, Plank, C. O and Davis-Carter, J. G. (1990) Soil zinc and pH effects on leaf zinc and the interaction of leaf calcium and zinc on zinc toxicity of peanuts. Communication in Soil Science and Plant Analysis 21: 2319-2332.

Parvaiz, A. and Satyawati, S. (2008) Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. Plant, Soil and Environment 54: 89-99.

Rout, G. R., and. Das, P (2003) Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism; Zinc. Agronomy and Soil Science 23: 3–11.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]

Sagardoy, R., Morales, F., Lopez-Millan,A. F., Abadla, A. and Abadla, J. (2008) Effects of zinc toxicity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants grown in hydroponics. Plant Biology 11: 339-350.

Siddiqui, M. H., AL-Whaibi, M. H., Sakran, A. M., Basalah, M. O. and Ali, H. M. (2012) Effect of calcium and potassium on antioxidant system of *Vicia faba* L. under cadmium stress. International Journal of Molecular Science 13: 6604-6619.

Vasconcelos, A. C. F., Nascimento, C. W. A. and Filho F. F. C. (2011) Distribution of zinc in maize plants as a function of soil and foliar Zn supply. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science 1: 001-005.

Zorrig, W., Shahzad, Z., Abdelly C. and Berthomieu, P. (2012) Calcium enhances cadmium tolerance and decreases cadmium accumulation in lettuce. African Journal of Biotechnology 11: 8441-8448.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.29.7]