بررسی اثر کادمیم و تیمار همزمان سدیم نیتروپروساید (SNP) بر رشد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه زیتون تلخ (*Melia azedarach*)

اصغر مصلح آرانی[1*]، نسیبه میرزایی[1]، حمید سودایی‌زاده[1] و هدایت الله میرشمسی[2]

[1] گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد و [2]کارشناسی ارشد اداره کل منابع طبیعی استان یزد

(تاریخ دریافت: ١٣٩٢/٠٧/١١ ، تاریخ پذیرش نهایی: ١٣٩٣/٠٧/٢٨)

چکیده:

به منظور بررسی اثر کادمیم و تیمار همزمان سدیم نیتروپروساید بر رشد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه زیتون تلخ پژوهش حاضر بر اساس یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج، افزایش مقدار انباشت کادمیم و پرولین ریشه را به طور معنی‌داری با افزایش غلظت کادمیم در خاک نشان داد. طول و وزن ریشه با افزایش کادمیم خاک کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند. با افزایش غلظت کادمیم در خاک تغییری در مقدار قندهای محلول، محتوای آب برگ و مقدار مالون دآلدئید بوجود نیامد. تیمار سدیم نیتروپروساید باعث افزایش معنی‌دار وزن تر ریشه نسبت به تیمار بدون سدیم نیتروپروساید شد.از آنجا که اکثر فاکتورهای رشدی اندازه‌گیری شده در زیتون تلخ تحت تاثیر ماده سدیم نیتروپروساید قرار نداشتند نتیجه‌گیری شد که این ماده نقش محسوسی در حفاظت این گیاه در برابر عناصر سنگین ایفا نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی : پرولین، فیزیولوژی، گیاه پالایی، سدیم نیتروپروساید.

مقدمه:

کادمیم یک فلز آلاینده محیطی است که در طبیعت منتشر می شود. منابع مختلف شامل صنایع، فاضلاب شهری و مواد سوختی غلظت این آلاینده را افزایش می‌دهند. همچنین استفاده از کودهای شیمیایی، به‌ویژه کودهای فسفاته مقدار این عنصر را در خاک افزایش می‌دهد (Baryla *et al*., 2001; Hsu and Kao, 2004; Mejare and Bulow, 2001). کادمیم اگر چه برای رشد گیاه ضروری نیست، اما این فلز به راحتی از طریق پوست ریشه جذب می‌شود و سپس از راه سیمپلاستی یا آپوپلاستی وارد بافت چوب می‌شود (Sanita and Gabbrielli, 1999). کادمیم بر تقسیم و رشد سلول‌ها، رشد کلی گیاه، تقسیم سلولی منطقه مریستمی و تنظیم رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد که تاثیر آن بر حسب نوع گیاه متغیر می‌باشد (Das *et al*., 1997). کادمیم سبب کلروز و نکروز برگها (Hernandez *et al*., 2001; Zhang *et al*., 2002)، کاهش مقدار کلروفیل کل، کلروفیل *a* و *b* و کاروتنوئیدها در گیاهان عالی می‌شود (Ramos *et al*., 2002 ; Sheoran *et al*., 1990). کادمیم به غشای تیلاکوئیدی کلروپلاست آسیب می‌زند، ظرفیت فتوسنتزی را به شدت کاهش داده و رشد گیاه را متوقف می‌کند. مهمترین دلیل اثر تخریبی کادمیم این است که این عنصر سبب تولید رادیکال های فعال اکسیژن مثل رادیکال‌های آزاد سوپراکساید، رادیکال های هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن می‌شود. گیاهان برای مقابله با این رادیکال‌های آزاد از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی استفاده می‌کنند (He *et al*., 2011; Shanti and

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: amosleh@yazduni.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.5.3]

(Dietz, 2006). در بین آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی پرولین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پرولین آنتی‌اکسیدانی است که پاک‌کننده رادیکال‌های آزاد بوده و با اتصال به کادمیم و تشکیل کمپلکس کادمیم-پرولین مانع سمیت این عنصر می‌گردد (Alia *et al*., 2001; Farago and Mullen, 1979). در آرابیدوپسیس و *Groenlandia densa* افزایش غلظت پرولین در اثر افزایش کادمیم گزارش گردیده است (Xu *et al*., 2010; Yilmaz and Parlak, 2011).

سدین نیتروپروساید یک رادیکال نسبتا پایدار است. در ابتدا این گاز به عنوان آلوده‌کننده‌ی محیطی مورد توجه قرار گرفت، هرچند بررسی‌های اخیر نشان داد که NO می‌تواند در فرایندهای مختلف فیزیولوژیک و نمو مثل جوانه‌زنی دانه، بسته شدن روزنه، پاسخ به عوامل بیماری‌زا و نمو ریشه دخالت نماید (Duan *et al*., 2007; Neill *et al*., 2003). از طرف دیگر، NO می‌تواند به عنوان واسطه در عمل تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و متابولیسم رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) شرکت کند و در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که در انتقال پیام و پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نیز دخالت دارد (Del Rio *et al*., 2004). مقدار زیاد NO می‌تواند با O_2^- ترکیب شده، رادیکال پراکسید نیتریت ($ONOO^-$) را تولید کند و گزارش شده است که این رادیکال باعث تخریب لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Beligni and Lamattina, 1999). چون O_2^- و H_2O_2 بسیار سمی تر از NO و $ONOO^-$ هستند بنابراین اعتقاد بر این است که NO دارای نقش دوگانه است: سمی و حفاظتی و این بستگی به غلظت آن، نوع گیاه، سن گیاه، بافت گیاه و نوع تنش وارد شده دارد (Del Rio *et al*.,2004 ; Beligni and Lamattina, 1999). نقش نیتریک اکسید در کاهش تنش کادمیم در آفتابگردان گزارش شده است (Laspina *et al*., 2005).

از طرف دیگر برخی از عناصر سنگین مانند سرب و کادمیم می‌توانند جذب گیاه شده و در برگ و یا شاخه‌ها انباشت شوند. اطلاع از این امر کمک شایانی به مدیریت طرح-های زیست پالایی در مناطق آلوده می‌نمایند (آفتاب طلب، ۱۳۸٦؛ خداکرمی، ۱۳۸٦). این روش رفع آلودگی، سبب حفظ فعالیت بیولوژیک و ساختار فیزیکی خاک شده و بطور چشمگیری ارزان است (Pulford and Watson, 2003). همچنین به دلیل هماهنگ بودن با محیط زیست و داشتن کمترین آسیب، بیشترین توجهات را به خود معطوف کرده است (آفتاب طلب، ۱۳۸٦). گیاهان مورد استفاده در گیاه‌پالایی باید قادر به انباشت مقدار زیادی از فلز سنگین بوده، بردبار به حضور فلز سنگین در خاک باشند و همچنین توانایی تولید زی‌توده بالا در خاک آلوده را داشته باشند (Abul Kashem *et al*., 2013; Bączek-Kwinta *et al*., 2011 ; McGrath *et al*., 2002). در سالهای اخیر، بررسی‌های گیاه‌پالایی بر گیاهان بیش‌انباشت کننده که توانایی انباشت مقدار زیادی از فلزات را دارند، متمرکز شده است (Doumett *et al*., 2008). این پژوهش علاوه بر بررسی اثر کادمیم و تیمار همزمان سدیم نیتروپروساید (SNP) بر رشد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه زیتون تلخ، پتانسیل زیتون را برای گیاه‌پالایی بررسی می‌کند. مطالعات گیاه‌پالایی بیشتر روی گونه‌های علفی بدلیل تکثیر سریع آنها متمرکز شده است و کمتر گونه‌های درختی مطالعه شده است. از آنجا که گونه‌های درختی برای ایجاد فضای سبز در خاکهای آلوده و گیاه‌استخراجی به دلیل زیتوده بالا مناسب‌تر می‌باشد، تحقیق در خصوص این گونه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها:

گیاه مورد مطالعه: زیتون تلخ (*Melia azedarach*) از خانواده Meliaceae، درختی است، روشنی پسند و بلندی گونه‌ی اصلی آن معمولا به ۱۵ متر می‌رسد. این درخت طالب مکان‌های آفتابگیر و خاک‌های حاصلخیز و عمیق است، اما در اغلب خاک ها توان زیستن دارد. به خشکی و یخبندان مقاومت دارد و تا حدی به شوری خاک مقاومت نشان می‌دهد (جزیره‌ای، ۱۳۸٤).

روش تحقیق: نهال‌های یک ساله و هم‌اندازه زیتون تلخ از نهالستان شهرستان یزد تهیه شد. خاک گلدان‌ها از ترکیب ماسه بادی، خاکبرگ و خاک باغچه به نسبت مساوی تهیه شده بود و در هفته دو بار مورد آبیاری قرار گرفته بودند. نهال‌ها به-صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در سه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.5.3]

تکرار در شرایط گلخانه قرار داده شد. فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش شامل ۱- غلظت‌های مختلف کادمیم با ٤ سطح (صفر به عنوان شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). علت انتخاب این غلظت‌ها بررسی اثر سمیت کم تا نسبتا زیاد کادمیم بر این گیاه بود (Nedjimi and Daoud, 2009) ۲- غلظت SNP (صفر به عنوان شاهد و ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) که در محلول‌های کادمیم حل شده بودند. علت انتخاب این غلظت بررسی غلظت زیاد سدیم نیتروپروساید جهت کاهش اثر کادمیم بر این گیاه بود (Filippou, 2013). گونه مورد مطالعه هر هفته تحت تیمار ۲۰۰ میلی لیتر از محلول‌های مذکور (از طریق خاک) به مدت ٦۰ روز قرار گرفت. پس از درآوردن نهال‌ها از خاک طول ریشه و ساقه با استفاده از خط-کش میلی‌متری اندازگیری شد. وزن ریشه و ساقه با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ توزین شد.

برای اندازه‌گیری مقدار کادمیم، نمونه‌های ریشه، ساقه و برگ با آسیاب برقی به صورت پودر در آورده شد. سپس یک گرم از هر نمونه گیاهی به طور جداگانه در بالن ژوژه‌های ۲۵۰ میلی لیتری ریخته شد و با اضافه نمودن اسید نیتریک و اسید کلریدریک غلیظ با نسبت ۱:۳ به مدت ۱٦ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند تا نمونه‌های گیاهی به خوبی در اسید حل شوند. پس از آن محلول حاصل را گرم کرده تا بخارات اسیدی از محلول خارج گردد، سپس محلول مذکور را از کاغذ صافی واتمن ٤۲ عبور داده و حجم محلول را با آب مقطر Deionized به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده و مقدار کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل (NovAA300) مورد سنجش قرار گرفتند.

برای اندازه‌گیری مقدار پرولین مقدار ۰/۵ گرم از برگ گیاهان را توزین و در ۱۰ میلی لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفو سالیسیلیک ساییده و سپس نمونه‌ها صاف گردید. آنگاه به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)مقدار پرولین آنها اندازهگیری شد. برای سنجش قندهای محلول ۱۰ میلی لیتر اتانول ۷۰ درصد به ۰/۱ گرم از ماده خشک گیاهی (برگ) اضافه و به روش Kochert (1978) مقدار قندهای محلول اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری غلظت مالون دآلدئید (MDA) به روش Heath و Packer (1968) انجام شد.

داده‌های حاصل با نرم افزار Spss (Version 16) و با استفاده از آنالیز واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون Duncan استفاده شد. محاسبه احتمال معنی‌دار بودن تفاوت‌ها در سطح $P<0.05$ انجام شد. رسم نمودارها به کمک نرم افزار Excel صورت گرفت.

نتایج:

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر غلظت بر مقدار کادمیم ریشه، ساقه، برگ و همچنین بر مقدار پرولین و وزن ریشه معنی‌دار بود. اثر SNP بر مقدار کادمیم ساقه و برگ و وزن ریشه معنی‌دار بود. اثر متقابل غلظت × SNP نیز بر کادمیم ساقه و برگ و وزن ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱).

نتایج نشان داد که مقدار کادمیم ریشه به‌طور معنی‌داری بیشتر از ساقه و برگهاست به‌طوریکه مقدار آن در غلظت ٤۰۰ بیش از ۱۰ برابر آن در برگهاست. با افزایش غلظت کادمیم در خاک در هر دو تیمار SNP و بدون SNP میزان کادمیم ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کادمیم ریشه در غلظت ۲۰۰ و ٤۰۰ اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان داد. مقدار کادمیم ریشه در غلظت ٤۰۰ حدود ۱٤۰ بار نسبت به شاهد افزایش یافت. در غلظت ۲۰۰ کادمیم همراه با SNP مقدار کادمیم در ریشه به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار بدون SNP افزایش نشان داد (شکل ۱).

میزان کادمیم ساقه در غلظت ٤۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تیمار بدون SNP افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد به-طوریکه مقدار آن در این غلظت ۷۰ برابر شاهد بود. در تیمار SNP با افزایش غلظت کادمیم در خاک کادمیم ساقه به‌ویژه در غلظت ٤۰۰ کاهش یافت ولی این اختلاف معنی‌دار نبود. SNP مقدار جذب کادمیم را در ساقه به‌مقدار ۱٤۰ بار نسبت به تیمار بدون SNP کاهش داد (شکل ۱). در تیمار بدون SNP در برگ زیتون تلخ نیز میزان کادمیم در غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ٤۰۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-11]

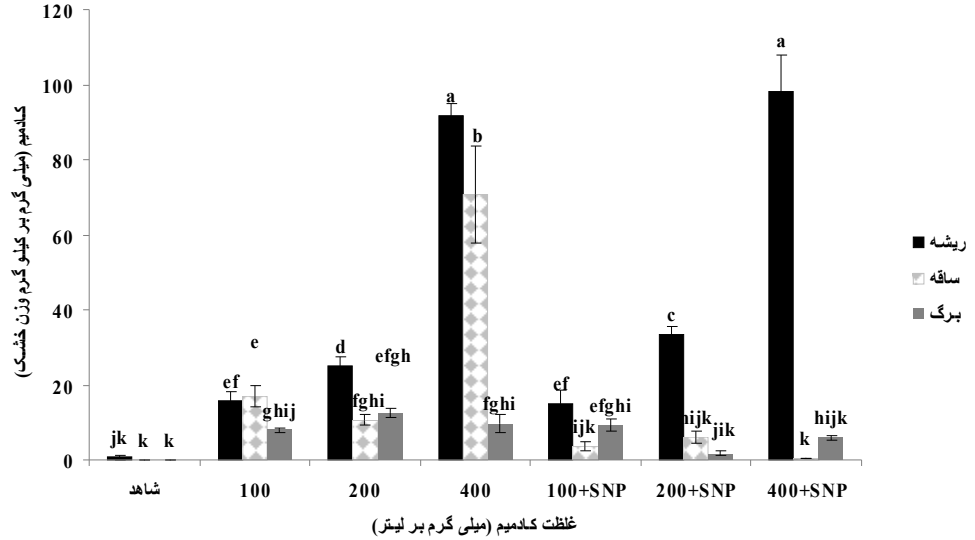
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.5.3]

جدول ۱- جدول آنالیز واریانس اثر غلظت کادمیم و SNP بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه زیتون تلخ.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کادمیم ریشه	کادمیم ساقه	کادمیم برگ	پرولین	محتوای آب برگ
غلظت کادمیم	۳	۱۰٤۱۱/۹۳**	۱٤۱۳/۳۳*	۹٤/٦**	۳۱٤/۱۲*	٤٥/٥^{ns}
تیمار SNP	۱	٦۷/۱٦^{ns}	۲۹۳۱*	٦۸/۹٦*	۱۸/٤۹^{ns}	۲/۲٥^{ns}
غلظت کادمیم × SNP	۳	۳۳/٤۹^{ns}	۱٥۹٤/٦*	٤٥/٥۸*	۷۷/۸۹^{ns}	٤۰/۱^{ns}
خطا	۱٦	۹۰/٦٦	۳٥۱/٤۳	۹/۱	۹۲/۱٤	۲۷/٦

ادامه جدول ۱- جدول آنالیز واریانس اثر غلظت کادمیم و SNP بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه زیتون تلخ.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		مالون دآلدهید	طول ریشه	طول ساقه	وزن ریشه	وزن ساقه
غلظت کادمیم	۳	٤/۳ns	۸۹/٦ns	۱٦/٥۹ns	۳۱۹/٤**	۲/٦۲ns
تیمار SNP	۱	۱/۳۱ns	٥٤ns	٤/٥۹ns	۷۸/۲۲*	۱۳/۳٥ns
غلظت کادمیم × SNP	۳	۲۹/۹ns	٤۸/٥٥ns	۷/۹ns	۳٦/٦۲*	۲/۷٤ns
خطا	۱٦	۲۷/۲	۲۹/٤	۱۰	۹/۷	۳/۲



شکل ۱- تاثیر غلظت‌های مختلف کادمیم بدون SNP و همراه با SNP بر میزان انباشت کادمیم در ریشه گیاه زیتون تلخ. براساس آزمون دانکن حروف متفاوت در هر متغیر نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰٥ است.

اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد به‌طوریکه مقدار آن تا ۱۰ برابر افزایش یافت اما بین این سه غلظت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در تیمار SNP کادمیم برگها در غلظت ۱۰۰ افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. (شکل ۱).

مقدار پرولین ریشه زیتون تلخ در تیمار بدون SNP با افزایش غلظت کادمیم افزایش یافت. این افزایش در غلظت ٤۰۰ میلی گرم بر لیتر با شاهد اختلاف معنی‌دار داشت. افزایش کادمیم تا غلظت ٤۰۰ باعث افزایش بیش از دو برابری مقدار پرولین نسبت به شاهد شد. در تیمار SNP افزایش غلظت کادمیم تاثیر معنی‌داری بر میزان پرولین در هیچکدام از تیمارها نداشت. اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار بدون SNP و SNP در هیچکدام از غلظت‌ها مشاهده نشد (شکل ۲).

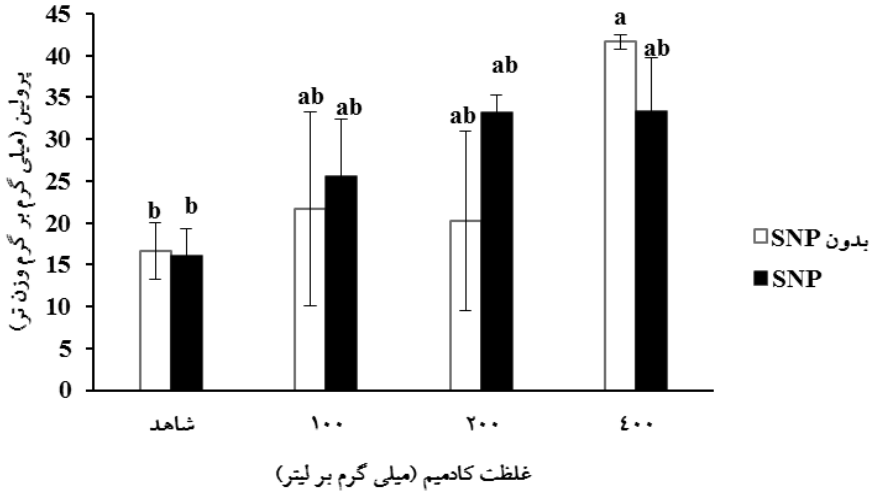
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.5.3]

جدول ۲- تاثیر غلظت‌های مختلف کادمیم بدون SNP و همراه با SNP بر طول و وزن تر ریشه گیاه زیتون تلخ.

فاکتورهای اندازه‌گیری شده	تیمار	شاهد	غلظت ۱۰۰	غلظت ۲۰۰	غلظت ٤۰۰
طول ریشه	بدون SNP	۲۱/۳±۰/۲ ^{a}	۱٦/٦±۰/۱ ^{ab}	۲۱/٦±۰/۵ ^{a}	۱۲/۳±۰/۱ ^{b}
(cm)	SNP	۲۳ ±۱^{a}	۲٦ ±۱^{a}	۲۱ ±۱^{a}	۱۸ ±۱/۱^{ab}
وزن تر ریشه	بدون SNP	۲٤/۲۹ ±۲^{a}	۸/۰۷ ±۰/۵^{c}	۱۳/٤٦±۱ ^{b}	۸/۵ ±۱^{c}
(gr/ FW)	SNP	۱۵/٤٦ ±۱^{ab}	۱۷/٤۳ ±۱^{ab}	۲۲/٤۸ ±۱^{a}	۷/ ۱±۰/۲^{c}

* براساس آزمون دانکن حروف متفاوت در هر متغییر نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.



شکل ۲- تاثیر غلظت‌های مختلف کادمیم بدون SNP و همراه با SNP بر میزان پرولین در برگ گیاه زیتون تلخ. براساس آزمون دانکن حروف متفاوت در هر متغیر نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

طول ریشه در غلظت ٤۰۰ در تیمار بدون SNP کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. طول ریشه در غلظت ٤۰۰ به نصف نسبت به شاهد کاهش یافت. در سایر غلظت‌ها این کاهش معنی‌دار نبود. با افزایش غلظت کادمیم طول ریشه در تیمار SNP تغییر معنی‌داری نشان نداد. تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار در هیچکدام از غلظتها مشاهده نشد. با افزایش غلظت کادمیم بدون SNP وزن تر ریشه در همه غلظت‌ها نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد، در حالی که در تیمار SNP فقط در غلظت ٤۰۰ کادمیم کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان داد. در غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ تیمار SNP وزن تر ریشه افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار بدون SNP داشت (جدول۲).

افزایش غلظت کادمیم تاثیر معنی‌داری بر میزان قندهای محلول، محتوای نسبی آب برگها، مقدار مالون دآلدئید، طول و وزن ساقه در گیاه زیتون تلخ نداشت.

بحث:

بررسی نتایج تیمار کادمیم بدون SNP : نتایج نشان داد با افزایش غلظت کادمیم در خاک میزان انباشت این عنصر در ریشه، ساقه و برگ افزایش یافت. احتمالا دلیل افزایش غلظت کادمیم، افزایش زیست‌فراهمی این عنصر در خاک بوده است. مشابه مطالعه حاضر در بررسی اثر کادمیم در گیاه *Atriplex halimus* نشان داده شد که با افزایش این عنصر تجمع آن در ریشه و ساقه گیاه افزایش یافت (Nedjimi and Daoud, 2009). همچنین در بررسی اثر کادمیم بر گونه تاجریزی نشان داده شد که افزایش غلظت کادمیم باعث افزایش تجمع این عنصر در ریشه و ساقه آن گردید (Sun *et al.*, 2007). نتایج

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-11]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.5.3]

مشابه در مطالعات فان و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی اثر کادمیم بر روی گونه Swietenir macrophyl و مطالعات نیکولیک و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر کادمیم بر گونه‌های هیبرید تبریزی به دست آمد. مقدار کادمیم ریشه به‌طور معنی داری بیشتر از ساقه و برگهاست به‌طوریکه مقدار آن در غلظت ٤۰۰ بیش از ۱۰ برابر آن در برگهاست.در گیاهان اصولاً انتقال یون‌ها از طریق غشای سلولی توسط پروتئین‌هایی به نام ترانسپورترها میانجی‌گری می‌گردد. این ترانسپورترها (حمل کننده‌های یونی) انتقال دهنده یک یون خاص بوده و به صورت اختصاصی عمل می‌کند. از کل یون‌هایی که در اطراف ریشه قرار می‌گیرند فقط قسمت اندکی جذب گیاه می‌شود. قسمت اعظم این یون‌ها به طور فیزیکی جذب دیواره سلولی می‌شوند. در دیواره سلولی بخشی که به طور منفی باردار می باشد و به نام سایت Coo^- نامیده می‌شود مسئول جذب سطحی در دیواره سلولی می‌باشد. یون‌هایی که به این قسمت می چسبند نمی‌توانند وارد سلول شده و همچنین نمی‌توانند به قسمت‌های هوایی گیاه منتقل شوند. یکی دیگر از دلایل افزایش میزان کادمیم در ریشه گیاهان مورد تحقیق ممکن است تجمع آن‌ها در واکوئل‌ها نیز باشد. تجمع این عناصر در واکوئل‌های سلولی مانع انتقال آن‌ها به قسمت‌های هوایی شده و به همین دلیل مقدار این عنصر در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی است. در هر صورت، جذب عناصر سنگین در واکوئل ها و به ویژه در دیواره سلولی برای گیاه از سمیت بسیار کمتری برخوردار است (Ramos *et al*., 2002). حالتی که احتمالاً برای گیاه مورد تحقیق حاضر اتفاق افتاده است. در اغلب گونه‌های گیاهی کادمیم در ریشه تجمع می‌یابد و به مقدار ناچیز به برگ‌ها منتقل می‌شود (Ramos *et al*., 2002). در بررسی تحمل گیاه *Thlaspi caerulescens* نشان داده شد که واکوئل‌ها و دیواره سلولی مهم‌ترین مکان‌های تجمع یون کادمیم می‌باشند (Wojcik *et al*., 2005). نتایج مشابه بر روی گیاه *Colocasia antiqourum* بدست آمد که میزان تجمع کادمیم در ریشه بیشتر از ساقه و برگ بود (Abul Kashem *et al*., 2013). طبق تعریف یک بیش انباشت کننده باید دست کم قادر به انباشت ۱۰۰ppm یا ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم (۰/۰۱٪ وزن خشک) کادمیم باشد (Wantanable, 1997). بر اساس نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد گیاه زیتون تلخ با توجه به انتقال و انباشت حدود ۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم به ساقه نمی تواند به عنوان یک گیاه بیش‌انباشت کننده معرفی شود.

مهمترین دلیل اثر تخریبی کادمیم این است که این عنصر سبب تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن مثل رادیکال‌های آزاد سوپراکساید (O_2^-)، رادیکال‌های هیدروکسیل (OH^-) و پر اکسید هیدروژن (H_2O_2) می‌شود. گیاهان برای مقابله با این رادیکال‌های آزاد از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی استفاده می‌کنند (He *et al*., 2011; Shanti and Dietz, 2006). یکی از مهمترین آنتی‌اکسیدانهای غیر آنزیمی پرولین می‌باشد. میزان پرولین با افزایش غلظت کادمیم در ریشه زیتون افزایش یافت ولی فقط در غلظت ٤۰۰ این افزایش معنی‌داری بود. پرولین یکی از مهم‌ترین اسیدهای آمینه در گیاهان می‌باشد که در برابر انواع تنش‌ها از جمله شوری، خشکی، سرما، گرما و هم‌چنین عناصر سنگین از گیاهان محافظت می‌کند. به طور کلی می‌توان سه نقش عمده را برای پرولین در مواجهه با عناصر سنگین قائل شد. پرولین می‌تواند با ترکیب شدن با کادمیم و تشکیل کمپلکس پرولین – کادمیم، کادمیم سمی را به یک ترکیب غیرسمی تبدیل نماید. شارما و همکاران (۱۹۹۸) نیز تجمع پرولین در محیط کشت حاوی کادمیم را به دلیل نقش این ماده در اتصال به کادمیم و تشکیل یک کمپلکس غیرسمی از پرولین- کادمیم می‌دانند. پرولین همچنین می‌تواند به عنوان یک ماده تنظیم‌کننده اسمزی در گیاهان عمل کند. پرولین می‌تواند به عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل کرده و با ممانعت از پراکسیداسیون لیپید خطر رادیکال‌های آزاد را کاهش داده باعث حفظ تمامیت غشاها گردد (Alia *et al*., 2001; Mehta and Gaur, 1999). تجمع پرولین در لوبیا نیز تحت تأثیر کادمیم گزارش شده است (Zengin and Munzuroglu, 2005). کادمیم همچنین باعث افزایش میزان پرولین در گیاه اسفناج باغی شد (Nedjimi and Daoud, 2009).

نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه با افزایش غلظت کادمیم طول ساقه و وزن تر آن کاهش معنی‌داری نداشت، اما طول و وزن ریشه زیتون کاهش معنی‌داری یافت. نتایج مشابه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.5.3]

نشان داد کاهش رشد ریشه، تولید پایین‌تر زیست توده (به خصوص در برگ) و ریشه های کوتاه‌تر از علائم مسمومیت کادمیم در گیاه گوجه هستند (Chaffei *et al.*, 2004). کادمیم، وزن تر و خشک، طول ریشه، سطح برگ و سایر پارامترهای بیومتریک را مهار می کند و تقریبا در همه تحقیقات، گزارش شده است (Vassilev and Yordanov, 1997). وزن تر ریشه در تیمار بدون SNP در همه غلظتها نسبت به شاهد کاهش یافت. ریشه اولین اندامی است که در تماس با کادمیم بوده و بیشترین تجمع این ماده را نشان داد. بنابراین بیشترین تنش و تولید رادیکالهای آزاد در سلولهای ریشه اتفاق می‌افتد. عناصر سنگین موجب تغییر در رژیم آبی گیاهان می‌شوند. تجمع پرولین در گیاه *Silene vulgaris* را به کمبود آب که در نتیجه‌ی اثر عناصر سنگین حاصل می‌شود نسبت داده شده است (Schat *et al.*, 1997). احتمالا سیستم جذب آب در زیتون تلخ با مشکل روبرو شده و این باعث شده تا هم وزن تر و هم طول ریشه با کاهش روبرو شود. وزن تر ریشه در غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ تیمار SNP افزایش معنی داری نسبت به تیمار بدون SNP داشت. این موضوع می‌تواند به نقش NO در کنترل رادیکالهای آزاد نسبت داده شود.

نتایج این تحقیق نان داد که اکثر فاکتورهای رشدی اندازه‌گیری شده در زیتون تلخ تحت تاثیر ماده سدیم نیتروپروساید نبودند. سدیم نیتروپروساید یک ترکیب رهاکننده نیتریک اکسید است که در حالت محلول به‌شدت به نور حساس بوده، تجزیه آن توسط اکسیژن و دمای زیاد تسریع می‌شود(Wieczorek *et al.*, 2006). نیتریک اکسید یک رادیکال گازی نسبتا پایدار و یک گونه واکنش‌پذیر نیتروژن محسوب می‌شود که می‌تواند نقش حفاظتی یا تنشی (میل شدید $NO^{\cdot}$ به اکسیداسیون و احیاء) داشته باشد (Beligni and Lamattina, 2001). آنزیم های نیتریک اکسید سنتتار، آرژیناز و آرژینین دکربوکسلاز سه مسیر اصلی متابولیسم آرژینین را کاتالیز می‌کنند. آنزیم نیتریک اکسید سنتتار (NOS) آرژینین را به نیتریک اکسید و سیترولین هیدرولیز می‌کند در حالیکه محصولات اصلی مسیرهای وابسته به آرژیناز و آرژینین دکربوکسیلاز ترکیبات پلی آمین و پرولین است. نصیبی (۱۳۹۰) در بررسی اثر غلظت‌های مختلف نیتروپروساید سدیم (SNP) در تخفیف صدمات اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی در گیاه گوجه‌فرنگی بیان کرد پیش تیمار با غلظت ۱۰۰ میکرومولار یا کمتر می‌تواند احتمالا از طریق تداخل با ROS یا القای آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو نقش حفاظتی در برابر خشکی داشته باشد. نصیبی و همکاران (۱۳۹۰) در مقایسه پیش تیمار سدیم نیترو پروساید و آرژنین بر برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه گوجه تحت تنش کم آبی نشان دادند که تاثیر کاربرد SNP تاثیری بر روی رنگیزه-های فتوسنتزی و قند محلول برگ نداشته است. احتمالا نقش NO در این میان ضعیف است و مسیر اصلی متابولیسم آرژنین را به طرف پلی آمین‌ها و پرولین است و از این طریق حفاظت خود را اعمال می‌کند(نصیبی و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین به نظر می‌رسد NO برای غلظت‌های مربوطه بخصوص غلظت بالا با تولید بیش از حد رادیکال – ONOO (پراکسی نیتریت) ایجاد تنش نیتروزاتیو می‌کند و با رادیکال‌های اکسیژن در تخریب سلول به‌صورت همکاری عمل می‌نماید.

نتیجه‌گیری:

بر اساس نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد گیاه زیتون تلخ با توجه به انتقال و انباشت حدود ۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم به ساقه نمی‌تواند به عنوان یک گیاه بیش‌انباشت کننده معرفی شود. از بین شاخص‌های رشدی اندازه‌گیری شده سبزینگی برگ، طول و وزن تر ریشه در غلظتهای استفاده شده در این آزمایش تحت تاثیر قرار گرفتند. از آنجا که اکثر فاکتورهای رشدی اندازه-گیری شده در زیتون تلخ تحت تاثیر ماده سدیم نیتروپروساید قرار نداشتند نتیجه‌گیری شد که این ماده نقش محسوسی در حفاظت این گیاه در برابر عناصر سنگین ایفا نمی‌کند.

تشکر و قدردانی:

نویسندگان مقاله از اداره کل منابع طبیعی استان یزد و همچنین از قطب تنش‌های گیاهی دانشگاه اصفهان تشکر می‌نماید.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.5.3]

منابع:

آفتاب طلب، ن. (۱۳۸٦) بررسی توان پالایش دو عنصر سمی کادمیم و سرب بوسیله نهال‌های دوسالهٔ دو گونهٔ چنار و سرو سیمین. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

جزیره‌ای، م. (۱۳۸٤) جنگل کاری در خشک بوم. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

خداکرمی، ی. (۱۳۸٦) ارزیابی توان زیست پالایی خاک در دو گونه بلوط ایرانی و بنه (*Pistacia atlantica* Quercus brantii &). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

شریعت، آ. (۱۳۸۷) اثر تنش خشکی بر رنگیزه‌های گیاهی، پرولین، قندهای محلول وپارامترهای چهارگونه از اکالیپتوس. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی ۱٤۰-۱٤۸.

نصیبی، فاطمه، ۱۳۹۰ . بررسی اثر غلظت‌های متفاوت نیتروپروساید سدیم (SNP) در تخفیف صدمات اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی در گیاه گوجه فرنگی، مجله زیست شناسی گیاهی، شماره ۹ ، ٦۳-۷٤.

نورانی‌آزاد، ح. و کفیل‌زاده، ف. (۱۳۹۰) تاثیر سمیت کادمیم بر رشد، قندهای محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی آنزیم‌ها در گلرنگ، مجله زیست شناسی ایران ۲٤: ۸۵۸-۸٦۷.

Abul Kashem., Huq, I., Singh, B. R. and Kawai1, Sh. (2013) Cadmium Tolerance and Phytoextraction Efficiency of Arum (*Colocasia antiqourum*) Grown in Spiked Cd Contaminated Soil. International Journal of Environmental Protection 3: 1-5.

Alia, G., Srivastava, P.S. and Iobal, M. (2001) Responses of bacopa moniera cultures to cadmium toxicity. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 66: 342-349.

Baryla, A., Carrier, P., Frank, F., Coulomb, C., Sahut, C. and Havaux, M. (2001) Leaf chlorosis oilseed rape plants (Brassica napus) grown on cadmium-polluted soil: Causes and consequences for photosynthetic and growth. Planta 212: 696-709.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant soil 39: 205-207.

Bączek-Kwinta, R., Bartoszek, A., Kusznierewicz, B. and Antonkiewicz, J. (2011) Physiological response of plants and cadmium accumulation in heads of two cultivars of white cabbage. Journal of Elementology Plant and Soil 39: 205-207.

Beligni, M. V. and Lamattina, L. (1999) Nitric oxide protects against cellular damage produced by Methyl viologen herbicides in potato plants. Nitric Oxide 3: 199-208.

Boycheva, S. and Babalakova, N. (2008) Does chelated Copper ameliorate in greening of Iron-deficient cucumber plants through nitric oxide signaling? Comparison with chemical schutt. Bulletin of High Institute of Public Health 25: 439-446.

Chaffei, C., Pageauk, S., Gouia, H., Ghorbel, M. H. and masclaxu –Daubresse, C. (2004) Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in Lycopersicon escu-lentum leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy. Plant and Cell Physiology 45: 1681–1693.

Chen, X., Wang, J., Shi, Y., Zhao, M. Q. and Chi, G. Y. (2011) Effects of cadmium on growth and photosynthetic activities in pakchoi and mustard. Botanical studies 52: 41-46.

Das, P., Samantaray, S. and Rout, G. R. (1997) Studies on cadmium toxicity in plants a review. Environmental Pollution 98: 29–36.

Del Rio, L. A., Corpas, F. J. and Barroso, J. B. (2004) Nitric oxide synthase activity in plants. Phytochemistry 65: 783- 792.

Doumett, S., Lamperi, L., checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S., Petruzzelli, G. and Del bubba, M. (2008) Heavy metal distribution between contaminated soil and Paulownia tomentosa, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: influence of different complexing agents. Chemosphere 72: 1481-1490.

Duan, X., Su, X., You, Y., Qu, H., Li, Y. and Jiang, Y. (2007) effect of nitric oxide on pericarp browing of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism. Food chemistry 104: 571-576.

Fan, K. C., Hsi, H. C., Cheng, C. W., Lee, H. L. and Hseu, Z. Y. (2011) Cadmium accumulation and tolerance of mahogany (Swietenia macrophylla) seedlings for phytoextraction pplications. Journal of Environmental Management 92: 2818-2822.

Farago, M. E. and Mullen, W. A. (1979) Plants which accumulate metals. Part IV. A possible copper-proline complex from the roots of Armeria maritima. Inorganica Chimica Acta 32: 93–94.

Filippou, P., Antoniou, C. and Fotopoulos, V. (2013). The nitric oxide donor sodium nitroprusside regulates polyamine and proline metabolism in leaves of *Medicago truncatula* plants. Free radical Biology and Medicine, 56: 172-183.

Gill, S. S., Khan, N. A. and tuteja, N. (2012) Cadmium at high dose perturbs groth, 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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.5.3]

root hydraulic conductivity and nutrient uptake. Flora 204: 316-324.

Neill, J. Radhika. D. Hancock. J. (2003) Nitric oxide signaling in plant. New Phytologists 159: 11-35.

Nikolic, N., Kojic, D., Pilipovic, A., Pajevic, S., Krstic, B., Borisev, M. and Orlovic, S. (2008) Responses of hybrid poplar to cadmium stress: Photosynthetic characteristics, cadmium and proline accumulation, and antioxidant enzyme activity. Acta Biological Cracoviensia Series Botanica 50: 95-103.

Pulford, I. D. and Watson, C. (2003) Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by tree- a review. Environment International 29: 529-540.

Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J. J. and Garate, A. (2002) Cd uptake and sub cellular distribution in plant of lactuca sp. Cd- Mn intraction. Plant Science 162: 761- 767.

Sanita, L. and Gabbrielli, R. (1999) Response to cadmium in higher plants. Environmental and xperimental Botany 41: 105-130.

Schat, H., Sharma, S., and Vooijs, R. (1997). Heavy metal induced accumulation of free proline in a metal tolerant and non tolerant ecotype of Silene vulgaris. Physiologia Plantarum, 101: 477-482.

Shafi Tantrey, M. and Agnihotri, R. K. (2010) Chlorophyll and proline content of gram (*Cicer arietinum* L.) under cadmium and mercury treatments. Research Journal of Agricultural Sciences 1 (2): 119-122.

Shanti, S. S. and Dietz, K. J. (2006) The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. Journal of Experimental Botany 57: 711-726.

Sharma, S., Schat, H. and Vooijs, R. (1998) In vitro alleviation of heavy metal- induced enzyme inhibition by proline. Phytochemistry 49: 1531-1535.

Sheoran, I. S., Singal, H. R. and Singal, R. (1990) Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and the enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan*). Photosynthetic Research 23: 345-351.

Sun, Q., Ye, Z. H., Wang, X. R. and Wong, M. H. (2007) Cadmium hyperaccumulation leads to an increase of glutathione rather than phytochelatins in the cadmium hyperaccumulator Sedum alfredii. Journal of Plant Physiology 164: 1489–1498.

Tu, J., Shen, W. B. and Xu, L. L. (2003) Regulation of nitric oxide on ageing processes of wheat leaves. Acta Botanica Sinica 45: 1057-1061

Vassilev, A. and Yordanov, I. (1997) Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium treated plants: a review. Bulgarian Jornal of Plant Physiology 23: 114-113.

Watanabe, M.A. 1997. Phytoremediation on the brink of commercialization, Environmental Science and Technology 31: 182–186.

Wieczorek, J. F., Milczarek, G., Arasimovicz, M. and Ciszewski, A. (2006) Do nitric oxide donors mimic

Graziano, M., Beligni, M. V. and Lamattina, L. (2002) Nitric Oxide Improves Internal Iron Availability in Plants. Plant Physiology 16: 1852-1859.

Haouari, Ch. Ch., Nasraoui, A. H., Bouthour, D., Houda, M. D., Daieb, Ch. B., Mnai, J. and Gouia, H. (2012) Response of tomato (*Solanum lycopersicon)* to cadmium toxicity: Growth, element uptake, chlorophyll content and hotosynthetic rate. African Journal of Plant Science 6 (1): 1-7.

He, J., Qin, J., Long, L. Y., Ma, Y. L., Li, H., Li, K., Jiang, X. N., Liu, T. X., Polle, A., Liang, Z. and Luo, Z. B. (2011) Net Cadmium fluxand accumulatio nrevealt issue-specific oxidative stress an dde toxification in PopuLus 9 canescens. Physiol Plant 143: 50–63.

Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photoproxidation in isolated chloroplants, kinetics and stoichiometry of fatty acid proxidation. Arch. Biochem. Biophy 125: 189-198.

Hernandez, E. L., Lozano-Ridriguez, E., Garate, A. and Carpena-Ruiz, R. (2001) Influence of cadmium on the uptake, tissue accumulation and subcellular distribytion of manganese in pea seedling. Plant Science 132: 139-151.

Hsu, Y. T. and Kao, Ch. H. (2004) Cadmium toxicity is reduced by nitric oxide in rice leaves. Plant Growth Regulation 42: 227-238.

Kim, C. G., Bell, N. B. and Power, S. A. (2003) Effects of soil cadmium on pinus sylvestris L. Seedling. Plant and Soil 257: 443-449.

Kochert, G. (1978) Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Kopyra, M. and GwÓz´dz, E. A. (2003) Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts in inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of Lupinus luteus. Plant Physiology and Biochemistry 41: 1011-1017.

Laspina, N. V., Groppa, M. D. and Benvavides, M. P. (2005) Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stress. Plant Science 169 : 323-330.

Mehta, S. K. and Gaur, J. P. (1999) Heavy metal-induced proline accumulation and its role in ameliorating metal toxicity in *Chlorella vulgaris*. New Phytologist 143: 253-259.

Mejare, M. and Bulow, L. (2001) Metal binding proteins and peptides in bioremediation and hytoremediation of heavy metals. Trends in Biotechnology 19: 67-73.

McGrath, S. P., Zhao, F. J. and Lombi, E. (2002) Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides. Advance in Agronomy 7: 1– 56.

McGrath, S. P., Zhao, F. J. and Lombi, E. (2002) Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides. Advance in Agronomy 7: 1– 56.

Nedjimi, B. and Daoud, Y. (2009) Cadmium accumulation in *Atriplex halimus* subsp. Schweinfurthii and its influence on growth, proline,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.5.3]

activities in Groenlandia densa under cadmium stress. Ecological Indicators 11: 417-423.

Zengin, F. K. and Munzuroglu, O. (2005) Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. Acta Biological Cracoviensia Series Botanica 47: 157-164.

Zhang, G., Fukami, M. and Sekimoto, H. (2002) Influence of cadmium on mineral concentration and yield components in wheat genotypes differing in Cd tolerance at seedling stage. Field Crops Research 77: 93-98.

endogenous NO-related response in plants. Planta 224:1363-1372.

Wojcik, M., Vangronsveld, J. and Tukiendorf, A. (2005) Cadmium tolerance in *Thlaspi caerulescens*: Growth parameters, metal accumulation and phytochelatin synthesis in response to cadmium. Environmental and Experimental Botany 53: 151-161.

Xu, J., Yin, H. X., Li, Y. L., Liu, X. J. (2010) Nitric oxide is associated with long-term zinc tolerance in Solanum nigrum. Plant Physiology 154: 1319–1334.

Yilmaz, D. D. and Parlak, K. U. (2011) Changes in proline accumulation and antioxidative enzyme

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.5.3]