تأثیر بسترهای مختلف کاشت بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش فلزات سنگین

حمیدرضا بلوچی*، فاطمه امینی، محسن موحدی دهنوی و محمود عطارزاده

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت: ١٣٩٤/١١/١٠، تاریخ پذیرش نهایی: ١٣٩٥/٠٥/٠٦)

چکیده:

آلودگی فلزات سنگین در خاک یک مشکل گسترده جهانی است. یک رویکرد برای کاهش تجمع فلزات سنگین در گیاهان استفاده از بسترهای مختلف کاشت است. به‌منظور بررسی تأثیر ترکیبات مختلف بستر کاشت و فلزات سنگین بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی لوبیا چیتی (رقم صدری) آزمایشی اجرا گردید. عامل اول شامل چهار نوع نمک فلزات سنگین شامل نیترات کادمیوم، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس با غلظت ٥٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و یک تیمار شاهد بدون فلز و عامل دوم شامل بسترهای مختلف کاشت در چهار سطح (شاهد (خاک زراعی)، کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاک‌اره سپیدار) بود. نتایج نشان داد فلزات سنگین، سرعت فتوسنتز را نسبت به شاهد کاهش و سبب افزایش نشت یونی، پرولین، قند محلول و مالوندی‌آلدهید گردید. استفاده از ورمی‌کمپوست با بهبود وضعیت و ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک منجر به افزایش محتوای کلروفیل، کارایی مصرف آب لحظه‌ای، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و قند محلول برگ و همچنین کاهش نشت الکترولیت‌ها لوبیا چیتی شد. درنتیجه تا حدودی می‌تواند نقش مثبتی را در تعدیل اثرات تنش فلزات سنگین بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی لوبیا چیتی ایفا کند.

واژگان کلیدی: پرولین، کلروفیل، کمپوست، نیکل، ورمی‌کمپوست.

مقدمه:

فلزات سنگین از آلاینده‌های مهم زیست محیطی به شمار می‌روند که سلامت انسان و محیط زیست را بطور جدی تهدید می‌کند (Abioye *et al.*, 2013). با اینکه فلزات سنگین عناصر ضروری برای گیاهان نیستند، اما به راحتی می‌تواند توسط گیاهان جذب شود. تجمع بیش از اندازه فلزات سنگین در بیشتر گیاهان موجب بروز سمیت در گیاه شده که در صورت زیاد بودن غلظت فلزات سنگین صدمات متابولیسمی گیاه را در پی دارد (Hadi and Aziz, 2015). فلزات سنگین با تجمع در دیواره سلول، ورود به سیتوپلاسم و ایجاد اختلال در متابولیسم طبیعی سلول منجر به کاهش رشد می‌شوند (Yadav, 2010). انباشته شدن فلزات سنگین در محیط ریشه سبب کاهش جذب آب و عناصر غذایی، مهار فعالیت آنزیم‌ها، کاهش متابولیسم سلولی، کاهش فتوسنتز، کاهش جذب و در نتیجه مهار رشد، تسریع پیری و حتی مرگ گیاه می‌شود (Countrey, 2006). فلزات سنگین به وسیله مهار آنزیم‌های گاما آمینو لوالونیک اسید دهیدوژناز و پروتوکلروفیلد ردوکتاز سبب مهار بیوسنتز کلروفیل می‌شوند. این فلزت سنتز گاما

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

آمینو لوالونیک اسید و تشکیل کمپلکس آنزیم پروتوکلرفیلد ردوکتاز با سوبسترا را مهار می‌کنند. برهمکنش متقابل فلز سنگین با گروه سولفیدریل آنزیم‌ها مهم‌ترین مکانیسم این مهارها عنوان شده است (خطیب و همکاران، ۱۳۸۷). از اثرات دیگر فلزات سنگین بر بیوسنتز کلروفیل می‌توان به جانشین شدن آنها به جای منیزیوم مرکزی کلروفیل اشاره کرد که این جانشینی سبب کاهش دریافت نور به وسیله کلروفیل و منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود (Sharma and Dubey, 2005).

اضافه کردن مواد آلی به خاک جهت رفع سمیت فلزات سنگین یکی از روش‌های اصولی و مطمئن است. ترکیبات آلی خاک می‌تواند کربن محلول در خاک را افزایش دهد (Hanc *et al*., 2009). این امر به این علت است که خود مواد آلی به عنوان منبع کربن عمل می‌کنند. کربن آلی محلول با فلزات کمپلکس فلز-کربن را تشکیل می‌دهد که از قابلیت جذب آن توسط گیاهان و حتی ریز جانداران می‌کاهد (Han and Lee, 1996). به‌طور معمول یکی از علل افزایش رشد و فعالیت‌های گیاهان در خاک آلوده به عناصر سنگین بر اثر افزودن مواد آلی، افزایش کربن آلی کل و کربن آلی محلول است که سبب ایجاد محیطی مناسب جهت رشد گیاه می‌شوند (Hanc *et al*., 2009). از سوی دیگر محصولات جانبی کشاورزی از جمله ورمی‌کمپوست به دلیل هزینه کم و فراوانی زیاد آن‌ها و به علت دارا بودن گروه‌های عامل از قبیل هیدروکسیل، کربوکسیل و فنل و میل ترکیبی قوی با فلزات سنگین، از بین جاذب‌های مختلف برای حذف فلزات سنگین مناسب‌تر می‌باشند (Jadia and Fulekar, 2008). Park و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که کاربرد کمپوست، کادمیوم قابل تبادل را حدود ٪۷۰ کاهش داد و بر کاهش مسمومیت گیاهی نیز مؤثر بود.

لوبیا یکی از پر مصرف‌ترین مواد غذایی کشت شده در جهان می‌باشد که از نظر میزان پروتئین، نشاسته و فیبر غنی بوده و منبعی سرشار از آهن، پتاسیم، سلنیوم، مولیبدن، تیامین و اسید فولیک می‌باشد. از آنجایی که بقولات به راحتی در اراضی غیر حاصلخیز مستقر می‌شوند به همین دلیل در مطالعات و تحقیقات گیاه پالایی مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین لوبیا بیشتر از دانه آن استفاده شده و از ساقه و برگ و ریشه آن کمتر استفاده می‌گردد لذا با توجه به جذب بیشتر فلزات سنگین در اندام رویشی و عدم جذب بالا توسط دانه این گیاه انتخاب گردید. همچنین استفاده از فلزات سنگین مختلف که در ساختار گیاه نقش دارند و آنهایی که نقش نداشته یا سمی هستند نیز بر تفاوت اثر آنها در مطالعه مفید واقع می‌شود. لوبیا صدری اولین رقم لوبیا چیتی دانه درشت در ایران است که علاوه بر دارا بودن خصوصیات رقم محلی خمین، از نظر عملکرد، رنگ دانه، فرم بوته، بازار پسندی و اجزای عملکرد نسبت به رقم خمین برتر است. لاین G- 14088 معروف به رقم صدری در سال ۱۳٦۷ به همراه ٦۰ لاین دیگر از مرکز تحقیقات بین المللی گیاهان حاره (CIAT) وارد ایران شد و در آزمایش‌های مختلف مقایسه عملکرد که در ایستگاه تحقیقاتی خمین اجرا شد، بررسی و عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با سایر ارقام تولید کرد (بیضایی و همکاران، ۱۳۹۱). از آنجایی که تنش فلزات سنگین عامل محدود کننده‌ای برای بسیاری از گیاهان زراعی محسوب می‌شود، از سوی دیگر با توجه به گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت ترکیبات بستر کاشت در کاهش سمیت فلزات سنگین، هدف از پژوهش حاضر بررسی خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه لوبیا چیتی در ارتباط با تأثیر ترکیبات بستر کاشت در شرایط حظور نمک‌های فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل و مس می‌باشد.

مواد و روش‌ها:

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر فلزات سنگین مختلف و ترکیبات مختلف بستر کاشت بر صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی لوبیا چیتی رقم صدری در سال ۱۳۹۲ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج اجرا گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با سه تکرار و دو گیاه در هر گلدان اجرا گردید. فاکتور اول آزمایش شامل چهار نوع فلزات سنگین شامل نیترات کادمیوم، نیترات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

جدول ۱- غلظت فلزات سنگین در خاک و ترکیبات بستر کاشت مورد آزمایش

ترکیبات بستر کاشت	کادمیوم	سرب	نیکل	مس
	(میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک)			
خاک زراعی	۲/۱۸	۲۹/۷٤	۷۰/۳۰	۱/۹۷
ورمی‌کمپوست	۸/۸۳	۳۱/٦۸	۳۸/۳۷	۳/۰۰
کمپوست	٦/۹۰	۳٤/۵۱	۲۲/٦۰	۱۰/۰۰
خاک‌اره	۲/۱۰	۲/٤۰	۱/۲۰	۱/٦۰

سرب، نیترات نیکل و سولفات مس هر یک با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و یک سطح شاهد بدون فلز و فاکتور دوم شامل ترکیب‌های مختلف بستر کاشت با چهار ترکیب (شاهد (خاک زراعی)، کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاک‌اره) بود. غلظت فلزات سنگین در خاک و ترکیبات آلی قبل از اعمال تیمارهای فلزات سنگین در آزمایشگاه آب و خاک استان فارس اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ آورده شده است.

ابتدا خاک و شن را برای ایجاد یکنواختی اندازه بافت از الک نیم سانتی‌متری عبور داده و آن‌ها را به ترتیب به نسبت چهار به یک مخلوط کرده و سپس ترکیب‌های آلی خاک با نسبت پنج درصد وزنی (بر مبنای وزن پایه خشک) به طور دستی با خاک هر گلدان مخلوط شد (Angelova *et al.*, 2010). در مرحله‌ی بعد فلزات سنگین نیترات کادمیوم، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک توسط افشانه به خاک‌های تقویت شده (با کودها و خاک‌اره سپیدار) اضافه شد (Jadia and Fulekar, 2008). سپس گلدان‌های کشت با هفت کیلوگرم از خاک فوق پر گردید. بعد از گذشت یک ماه (به دلیل یکنواخت شدن فلز سنگین با خاک) کاشت صورت گرفت. لازم به ذکر است که قبل از کاشت ۰/۳ گرم کود فسفات آمونیوم در لایه‌ی یک سانتی‌متری زیر بذر قرار داده شد (معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ۰/۵ گرم کود اوره (معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با اولین آب آبیاری و ۰/۵ گرم دیگر کود اوره (معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) نیز به صورت سرک طی مرحله گلدهی همراه با آب آبیاری اضافه گردید. نمونه‌برداری در مرحله ٪۵۰ گلدهی انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل با نمونه‌گیری تصادفی از جوان‌ترین برگ‌های بالغ نزدیک به غلاف روی ساقه اصلی و عصاره‌گیری با استون صورت گرفت. میزان جذب نور عصاره تهیه شده از نمونه‌ها در طول موج‌های ٦٦۳ و ٦٤۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Lambda EZ 20 ساخت شرکت پرکین المر آمریکا قرائت شد و در نهایت غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل با استفاده از معادله ۱، ۲ و ۳ بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ محاسبه گردید (Arnon, 1949).

:(1)

$$\text{کلروفیل a} = [12.7(D663)-2.69(D645)] \times [V/1000\times W]$$

:(2)

$$\text{کلروفیل b} = [22.9(D645)-4.68(D663)] \times [V/1000\times W]$$

:(3)

$$\text{کلروفیل کل} = [(0.00802\times OD645) - (0.02021\times OD663)] \times [V/W \times 1000]$$

اندازه‌گیری خصوصیات فتوسنتزی شامل سرعت فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، میزان دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای و کارایی مصرف آب لحظه‌ای با استفاده از دستگاه فتوسنتزمتر مدل LCA4-002, BioScientific Ltd, Hoddesdon, UK در مرحله‌ی ۵۰ درصد گلدهی گیاه لوبیا چیتی انجام گرفت. اندازه‌گیری مؤلفه‌های پارامترهای فتوسنتزی روی جوان‌ترین برگ کاملاً باز شده و بین ساعت ۱۰ صبح تا ۱٤ ظهر انجام گرفت. اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها با استفاده از روش Beltrano و Ranco (۲۰۰۸) انجام شد. این روش بر اساس میزان نفوذپذیری غشاء می‌باشد به‌طوری که نشت الکترولیت بیشتری از سلول‌های بافت برگی آسیب دیده توسط تنش در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

مقایسه با بافت برگی گیاهان شاهد وجود دارد. میزان مالون‌دی‌آلدهید به عنوان فراورده نهایی پراکسیداسیون غشا با استفاده از روش Heath و Packer (۱۹٦۸) و با عصاره‌گیری از نمونه‌های منجمد برگ به میزان ۰/۲ گرم در ۳ میلی‌لیتر TCA (تری‌کلرواستیک‌اسید) ۱۰٪ شروع گردید. سپس به یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون صاف شده ۱ میلی‌لیتر TBA (تیوباربی‌توریک اسید) ۰/۵٪ اضافه شد و در حمام آب‌گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت پس از سرد شدن میزان MDA با اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ٦۰۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی ($\mu M^{-1}. cm^{-1}$ 155) محاسبه شد. اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ به روش Paquine و Lechasseur (۱۹۷۹) و قند محلول با روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) با استفاده از عصاره الکلی از ۰/۵ گرم نمونه تازه برگ توسعه یافته انجام شد. بدین منظور بعد از اضافه کردن ۵ میلی‌لیتر ناین‌هیدرین و ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال (٪۹۹.۹) به هر نمونه آنها به مدت ٤۵ دقیقه داخل حمام آب جوش (بن ماری) قرار داده شدند. سپس به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر بنزن اضافه و به شدت تکان داده شد تا پرولین وارد فاز بنزن گردد. در نهایت میزان جذب نور نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده ازدستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید و غلظت پرولین به کمک منحنی کالیبراسیون استاندارد آن بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر برگ مشخص گردید. جهت اندازه گیری قند محلول، به ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی ۳ میلی‌لیتر آنترون اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب‌جوش قرار داده شد. درنهایت میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ٦۲۵ نانومتر قرائت گردید. سپس منحنی کالیبراسیون با استفاده از استاندارد گلوکز رسم و میزان قندهای محلول نمونه‌ها بر اساس میلی‌گرم در هر گرم وزن‌تر برگ محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS صورت پذیرفت و برای صفاتی که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار گردید، برش‌دهی و مقایسه میانگین‌ها با رویه L.S.Means در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث:

محتوای کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نوع خاک و فلزات سنگین در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش آن‌ها بر میزان کلروفیل، سرعت فتوسنتز و تعرق در سطح احتمال پنج درصد و بر کارایی مصرف آب لحظه‌ای در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ۲).

مقایسه میانگین نشان داد که در تیمار شاهد (فاقد فلز سنگین) بیشترین میزان کلروفیل a در سطح بدون کاربرد ترکیبات آلی و کمترین مقدار این صفت در تیمار خاک‌اره بود. همچنین سطح‌های بدون کاربرد ترکیبات آلی، کمپوست و ورمی‌کمپوست با یکدیگر فاقد اختلاف معنی‌دار بودند؛ اما تنها سطح بدون کاربرد ترکیبات آلی با سطح خاک‌اره تفاوت آماری معنی‌داری داشت (جدول ۳). کاربرد ورمی‌کمپوست میزان کلروفیل a را در شرایط حضور نیترات کادمیوم نسبت به کاربرد خاک‌اره افزایش معنی‌داری داد، اما نسبت به بدون کاربرد ترکیبات آلی و کمپوست فاقد اختلاف معنی‌دار بود. در تیمار نیترات نیکل و سولفات مس نیز بیشترین میزان کلروفیل a در ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار این صفت در سطح خاک‌اره بود. کاربرد خاک‌اره با کمپوست از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت.

در تیمار شاهد (فاقد فلز سنگین) بیشترین میزان کلروفیل b مربوط به کاربرد کمپوست و کمترین مقدار این صفت در سطح بدون کاربرد ترکیبات آلی بود. در سطح فوق کاربرد کمپوست و ورمی‌کمپوست با یکدیگر فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بودند؛ اما با سطح‌های کاربرد خاک‌اره و بدون کاربرد ترکیبات آلی تفاوت آماری معنی‌داری داشتند. در تیمار نیترات کادمیوم، میزان کلروفیل b در ورمی‌کمپوست نسبت به کاربرد خاک‌اره ۱۰۰ درصد و نسبت به خاک زراعی ۲۷ درصد افزایش نشان داد که نسبت به تیمار خاک زراعی و کمپوست فاقد اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۳). در سطح نیترات نیکل و سولفات مس نیز بیشترین میزان کلروفیل b مربوط به کاربرد کمپوست و کمترین مقدار این صفت در کاربرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات محتوای کلروفیل، سرعت فتوسنتز، تعرق و کارایی مصرف آب لحظه‌ای در لوبیا چیتی تحت تأثیر تنش فلزات سنگین و نوع خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	سرعت فتوسنتز	تعرق	کارایی مصرف آب لحظه‌ای
نوع خاک	۳	۱/۵۰ **	۱/۳٤ **	۵/۱٦ **	۱۸/۵۹**	٤/٦۹ **	٤/۹۹**
فلزات سنگین	٤	۰/۸٤ **	۰/٤۷ **	۱/۷۱ **	۲۷/۹٤ **	۰/٤۱ *	٤/٤۹ **
فلزات سنگین × نوع خاک	۱۲	۰/۲۹ *	۰/۱۷ *	۰/٤۲ *	۲/٤۹*	۰/٦۳ **	۱/۲۱ **
اشتباه آزمایشی	٤۰	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۹۷	۰/۰۹	۰/۲۳
ضریب تغییرات ٪	-	۱۵/۷۱	۲٤/۵۵	۱۱/۳۳	۲٤/۵۳	۱۹/٦۰	۱۷/۱٤

n.s، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد را نشان می‌دهند.

خاک‌اره بدست آمد. همچنین بین کاربرد خاک‌اره و سطح بدون کاربرد ترکیبات آلی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. (جدول ۳).

در تیمار شاهد (فاقد فلز سنگین) و نیترات کادمیوم، کمترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد خاک‌اره بدست آمد. در سطح فوق سطح‌های بدون کاربرد ترکیبات آلی، کمپوست و ورمی‌کمپوست با یکدیگر فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳). در تیمار نیترات نیکل نیز بیشترین میزان کلروفیل کل مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار این صفت در کاربرد خاک‌اره بود. در سولفات مس، بیشترین میزان کلروفیل کل مربوط به کاربرد کمپوست و کمترین مقدار این صفت در کاربرد خاک‌اره مشاهده شد و کاربرد ورمی‌کمپوست و کمپوست با یکدیگر از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند؛ هرچند که کاربرد خاک اره با عدم کاربرد ترکیبات آلی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت.

نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از کود کمپوست و ورمی‌کمپوست در تیمارهای مختلف تنش فلزات سنگین سبب افزایش میزان کلروفیل a، b و کل لوبیا چیتی گردیده است، به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل در ترکیبات آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست بدست آمد. با توجه به اینکه ارتباط مستقیمی بین نیتروژن و کلروفیل وجود دارد و کودهای آلی به تدریج نیتروژن آزاد می‌کنند (رضوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۳)، در نتیجه سبب افزایش میزان کلروفیل شده است. مقدار کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهمترین عوامل موثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند، زیرا بطور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و در نهایت تولید زیست توده موثر هستند. میزان کلروفیل در گیاه به قابلیت دسترسی به نیتروژن خاک و توانایی جذب نیتروژن توسط گیاه بستگی دارد. نیتروژن علاوه بر شرکت در سنتز پروتئین در ساختمان کلروفیل نقش دارد (Saijeen *et al*., 2009). از سوی دیگر تمام تیمارهای فلزات سنگین میزان محتوای کلروفیل را نسبت به تیمار شاهد (فاقد فلز سنگین) کاهش دادند. اما خاک اره با توجه به میزان نیتروژن کمی که دارد تاثیر چندانی بر میزان کلروفیل نخواهد داشت. Irfan و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند کادمیوم به دستگاه‌های فتوسنتزی به ویژه به مجموعه‌ی برداشت نوری فتوسیستم I و II آسیب می‌رساند. کادمیوم در ساخت کلروفیل، نسبت کلروفیل a به b، در سیستم برداشت نوری II (LHCII)، هیدرولیز آب در مراحل ابتدایی واکنش‌های نوری، تنفس نوری غیر چرخه‌ای و تثبیت کربن در چرخه کالوین اختلال ایجاد می‌کند (Orcut and Nilsen, 2000).

سرعت فتوسنتز: در تیمار شاهد (فاقد فلز سنگین)، بیشترین میزان سرعت فتوسنتز مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نوع خاک در هر سطح از فلزات سنگین برای صفات محتوای کلروفیل، سرعت فتوسنتز، تعرق و کارایی مصرف آب لحظه‌ای در لوبیا چیتی

فلزات سنگین	نوع خاک	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	سرعت فتوسنتز	تعرق	کارایی مصرف آب لحظه‌ای
		(میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)			(میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)	(مول بر مترمربع بر ثانیه)	(میکرومول بر مول آب مصرفی)
شاهد (فاقد فلز سنگین)	خاک زراعی	۳/۱۱ a	۱/۰٤ b	٤/۱٥ a	٤/۷۹ b	۱/٤۱ a	۳/۳۹ b
	کمپوست ورمی‌کمپوست	۲/۸۳ ab	۱/۹۲ a	٤/۷٥ a	٥/٥٥ b	۱/٤۷ a	۳/۱٥ b
	خاک‌اره	۲/۳٥ ab	۱/۸۹ a	٤/۲٤ a	۸/٥٥ a	۱/۹٤ a	٥/۰۰ a
		۲/۰۸ b	۱/۰٥ b	۳/۱۳ b	٥/۹٦ b	۱/٦۷ a	۳/۷٤ b
	میانگین	۲/٥۹	۱/٤۷	٤/۰٦	٦/۲۱	۱/٦۲	۳/۸۲
نیترات کادمیوم	خاک زراعی	۲/۱۷ a	۱/۰۳ a	۳/۲۱ a	٤/۰۱ a	۱/٤۸ b	۲/۷۰ a
	کمپوست ورمی‌کمپوست	۲/۳۰ a	۱/۱۸ a	۳/٤۹ a	۲/۷٤ b	۱/۳٤ b	۲/۹۳ a
	خاک‌اره	۲/۲٤ a	۱/۳۱ a	۳/٥٦ a	۳/۰۸ ab	۲/۹۰ a	۲/۹۱ a
		۱/۱۸ b	۰/٦٥ b	۱/۸٤ b	۱/۷۱ c	۱/۳٤ b	۱/۲۹ b
	میانگین	۱/۹۷	۱/۰٤	۳/۰۲	۲/۸۸	۱/۷٦	۲/٤٦
نیترات سرب	خاک زراعی	۲/۳۰ a	۰/۹٦ a	۳/۲٦ a	٤/۰٤ b	۱/۹٦ b	۲/۰٤ b
	کمپوست ورمی‌کمپوست	۲/۸۱ a	۱/۱۰ a	۳/۹۲ a	٤/٥۰ ab	۰/۹۰ c	۳/۸٦ a
	خاک‌اره	۲/۷٤ a	۰/۷۹ a	۳/٥۳ a	٦/٥٥ a	۲/۷۱ a	۳/۲٦ ab
		۲/٦۸ a	۰/۹۹ a	۳/٦۷ a	٤/۳۸ ab	۱/۳۸ bc	۲/۹۷ ab
	میانگین	۲/٦۳	۰/۹٦	۳/٥۹	٤/۸۷	۱/۷٤	۳/۰۳
نیترات نیکل	خاک زراعی	۲/٥٥ a	۰/۸٥ bc	۳/٤۰ b	۲/٤٥ b	۲/۲٤ a	۱/۰۱ b
	کمپوست ورمی‌کمپوست	۲/٤٤ ab	۱/٤۷ a	۳/۹۲ ab	٤/٤۸ ab	۱/٦٤ bc	۲/۸۲ a
	خاک‌اره	۲/۷۹ a	۱/۳۷ ab	٤/۱۷ a	٤/۹۷ a	۲/۱۹ ab	۳/٦٤ a
		۱/۷٦ b	۰/۷۳ c	۲/٥۰ c	۲/٦۰ b	۱/۳۰ c	۲/۷٥ a
	میانگین	۲/۳۸	۱/۱۰	۳/٤۹	۳/٦۳	۱/۸٤	۲/٥٦
سولفات مس	خاک زراعی	۲/۱۲ ab	۰/۹۳ b	۳/۰٥ bc	۱/۱٦ c	۰/٤٤ c	۱/۸۳ a
	کمپوست ورمی‌کمپوست	۲/٤٦ ab	۱/۷۰ a	٤/۱٦ a	۲/۹۷ b	۱/۲۲ b	۲/٤۰ a
	خاک‌اره	۲/۷٤ a	۱/۰٦ b	۳/۸۰ ab	٤/۷۳ a	۲/۷٥ a	۲/۸٥ a
		۱/۸۳ b	۰/٦٦ b	۲/٥۰ c	۱/۰۹ c	۱/۰٦ b	۲/۱۷ a
	میانگین	۲/۲۹	۱/۰۸	۳/۳۷	۲/٤۹	۱/۳٦	۲/۳۱

در هر ستون و در هرسطح از فلزات سنگین وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس رویه L.S.Means می‌باشد.

بود و با سطح بدون کاربرد ترکیبات آلی دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود. کمترین مقدار این صفت مربوط به سطح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

بدون کاربرد ترکیبات آلی بود (جدول ۳). در تیمار نیترات کادمیوم، میزان سرعت فتوسنتز با کاربرد خاک‌اره و کمپوست نسبت به خاک زراعی به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد، اما نسبت به ورمی‌کمپوست اختلاف آماری معنی‌دار نداشت. در تیمار نیترات سرب و نیکل بیشترین میزان سرعت فتوسنتز مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار این صفت در بدون کاربرد ترکیبات آلی مشاهده شد. در سولفات مس، بیشترین میزان سرعت فتوسنتز در ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار این صفت در کاربرد خاک‌اره مشاهده شد (جدول۳). تمام تیمارهای فلزات سنگین سرعت فتوسنتز را نسبت به تیمار شاهد (بدون فلزات سنگین) کاهش دادند. محققان گزارش کردند تنش فلزات سنگین باعث کاهش سرعت تبادل دی‌اکسید کربن در برگ‌های گیاهان می‌شود. فلزات سنگین با کاهش هدایت مزوفیلی و فتوسنتز همراه است. در این رابطه می‌توان گفت که گیاه در مواجهه با تنش فلزات سنگین روزنه‌های خود را به حالت بسته یا نیمه بسته نگه می‌دارد، این حالت به دلیل اثر فلزات سنگین بر کانال‌های یونی و آبی درون گیاه می‌باشد. یون فلز سنگین یک بازدارنده کانال کلسیم و بطور غیر مستقیم سایر کانال‌های یونی بوده و تغییرات غلظت کلسیم سیتوسل را در سلول نگهبان روزنه متوقف می‌کند و از این طریق باعث توقف کانال‌های آب به سمت غشا سلول نگهبان روزنه شده و روزنه را بسته نگه می‌دارد (Yang *et al.*, 2004). بنابراین، به دلیل کاهش CO_2 درون سلول، تثبیت CO_2 کاهش می‌یابد (Popova *et al.*, 2008). کادمیوم بازدارنده‌ی مؤثر فتوسنتز می‌باشد. کادمیوم هم‌چنین منجر به بسته شدن روزنه، بازداری همه‌جانبه‌ی فتوسنتز و تغییر تبادل گاز در برگ گیاهان گردید. از سوی دیگر افزودن ورمی‌کمپوست میزان سرعت فتوسنتز را در تیمارهای شاهد، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس افزایش داد (Irfan *et al.*, 2013). Sallaku و همکاران (۲۰۰۹) نیز افزایش سرعت فتوسنتز را در ورمی‌کمپوست گزارش کردند. به نظر این محققان ورمی‌کمپوست از طریق افزایش سطح برگ، کلروفیل و دریافت نور بیشتر، سبب سنتز بیشتر مواد آلی و فتوسنتز می‌شود. اما با توجه به اینکه خاک اره تاثیر چندانی بر میزان کلروفیل و سطح برگ نخواهد داشت درنتیجه بر سرعت فتوسنتز نیز تاثیر معنی‌داری ندارد.

تعرق: در تیمار نیترات کادمیوم و نیترات سرب، کاربرد ورمی‌کمپوست میزان تعرق را بترتیب ۹۵ و ۳۸ درصد نسبت به خاک زراعی افزایش داد (جدول ۳). در تیمار نیترات نیکل بیشترین میزان تعرق مربوط به سطح بدون کاربرد ترکیبات آلی و کمترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد خاک‌اره بود و تیمارهای عدم کاربرد ترکیبات آلی و ورمی‌کمپوست با یکدیگر فاقد تفاوت معنی دار بودند؛ ولی با سایر ترکیبات آلی خاک اختلاف آماری معنی‌داری داشتند. در تیمار سولفات مس میزان تعرق در کاربرد ورمی‌کمپوست نسبت به عدم کاربرد ترکیبات آلی افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). تیمارهای فلزات سنگین به‌غیر از تیمار سولفات مس میزان تعرق را نسبت به شاهد تغییر معنی‌داری ندادند. از سوی دیگر افزودن ورمی‌کمپوست میزان تعرق را در سطح نیترات کادمیوم، سولفات مس و نیترات سرب افزایش داد. گزارش شده است، در لوبیا قرمز در مرحله‌ی گلدهی و گیاهچه‌ای، ورمی‌کمپوست تعرق را افزایش داد (بیک‌خورمیزی و همکاران، ۱۳۹۱) که نتایج مطالعه‌ی حاضر را تأیید می‌نماید. این موضوع شاید به دلیل ساختار فیزیکی، شیمیایی و زیستی ورمی‌کمپوست باشد، چرا که ورمی‌کمپوست به دلیل دارا بودن ساختار متخلخل آب زیادی را در خود نگاه می‌دارد (Atiyeh *et al.*, 2001). همچنین این کود حاوی میکروارگانیسم‌ها از جمله مایکوریزا هست (Oliva *et al.*, 2008) که باعث افزایش سطح ورود آب به ریشه می‌شوند و بنابراین با افزایش آب موجود در گیاه میزان تعرق نیز افزایش می‌یابد (Elvan, 2001).

کارایی مصرف آب لحظه‌ای: در تیمار شاهد (بدون تنش فلزات سنگین)، بیشترین میزان کارایی مصرف آب لحظه‌ای مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست بود که نسبت به خاک زراعی و ترکیبات کمپوست و خاک اره افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). در تیمار نیترات کادمیوم، میزان کارایی مصرف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

جدول ٤- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت، پرولین برگ، قند محلول و مالون دی آلدهید در لوبیا چیتی تحت تأثیر تنش فلزات سنگین و نوع خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای	هدایت روزنه‌ای	نشت الکترولیت	پرولین برگ	قند محلول	مالون دی‌آلدهید
نوع خاک	۳	۱۷٤۲۲/۱۵**	۰/۰۰۰۳۱۱**	۷۸۰/۳۰**	٤٦/٦۸**	۱/۳۹**	۲/۸۲$^{n.s}$
فلزات سنگین	٤	۲٤۸۱۳/۳۰**	۰/۰۰۰۱۰۹**	۲۰۹۵/۲۰**	۷/۲۵**	۳/۸۷**	۲۹/۰۳**
فلزات سنگین× نوع خاک	۱۲	۸۹٤۹/٦۰**	۰/۰۰۰۱۰٦**	۱۸۷/٤۰*	۵/۸۰**	۱/۳۹**	۵/۵۸**
اشتباه آزمایشی	٤۰	۲٤۷۰/۹٦	۰/۰۰۰۰۰٦	۸۰/٤۱	۰/۵۵	۰/۲٤	۱/۹۲
ضریب تغییرات ٪	–	۲٦/٤۱	۱٦/۷۱	۱۲/۲٤	۱۸/۷۰	۲۱/۸۷	۱٤/۳۷

n.s، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد را نشان می‌دهند.

آب لحظه‌ای در کاربرد خاک‌اره نسبت با سایر ترکیبات آلی خاک کاهش معنی‌دار نشان داد. در تیمار نیترات سرب کاربرد کمپوست میزان کارایی مصرف آب لحظه‌ای را ۸۹ درصد نسبت به خاک زراعی افزایش داد (جدول ۳). در تیمار نیترات نیکل نیز کاربرد ورمی کمپوست میزان کارایی مصرف آب لحظه‌ای را حدود ۲/۵ برابر نسبت به خاک زراعی افزایش داد. بیشترین میزان کارایی مصرف آب لحظه‌ای در تیمار شاهد (بدون فلزات سنگین) مشاهده شد و تنش فلزات سنگین میزان کارایی مصرف آب لحظه‌ای را نسبت به شاهد کاهش دادند. Howladar (۲۰۱٤) در گیاه لوبیا، کاهش کارایی مصرف آب لحظه‌ای را در حضور کلرید کادمیوم گزارش نمود که نتایج مطالعه‌ی فوق را تأیید می‌کند. محققان ساختار مولکولی ترکیبات آلی و ریز بودن اندازه‌ی ذرات آن، عامل اصلی حفظ بهتر رطوبت در خاک گزارش کردند (Chalker Scott, 2002). به نظر می‌رسد اندازه‌ی ذرات ترکیبات آلی خاک در حفظ رطوبت خاک نسبت به مواد سازنده عامل مهم‌تری باشد و هرچه اندازه‌ی ذرات ریزتر باشد رطوبت خاک بهتر حفظ می‌شود. در مطالعه حاضر نیز کمپوست و ورمی‌کمپوست کارایی مصرف آب لحظه‌ای را در سطح‌های شاهد و فلزات سنگین را به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای: نوع خاک، فلزات سنگین و برهم‌کنش آن‌ها بر غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت، پرولین برگ و قند محلول در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ٤).

در تیمار شاهد (بدون تنش فلزات سنگین) و نیترات نیکل بیشترین میزان غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای مربوط به عدم کاربرد ترکیبات آلی خاک بود و کمترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد کمپوست بود (جدول ۵). به‌طور کلی بیشترین میزان غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای در سطح نیترات نیکل و کمترین در نیترات کادمیوم مشاهده شد که این به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و مقاومت روزنه‌ای توسط کادمیوم می‌باشد که با مطالعات Popova و همکاران (۲۰۰۸) روی گیاه لوبیا مطابقت دارد. فراوانی و اندازه روزنه‌ها در گیاهان مختلف متفاوت است و این تفاوت با پدیده‌هایی مانند انتشار CO_2، تعرق، کارایی مصرف آب، فتوسنتز و تولید ماده خشک ارتباط دارد (کاظمی اربط، ۱۳٦۵).

هدایت روزنه‌ای: در تیمار نیترات کادمیوم، کاربرد ورمی‌کمپوست هدایت روزنه‌ای را نسبت به کاربرد خاک‌اره پنج برابر و نسبت به خاک زراعی ۱/۵ برابر افزایش داد (جدول ۵). در تیمار نیترات سرب، بیشترین هدایت روزنه‌ای در ورمی‌کمپوست و خاک زراعی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و نسبت به کاربرد کمپوست و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ترکیبات آلی خاک در هر سطح از فلزات سنگین برای غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت، پرولین برگ، قند محلول و مالون دی آلدهید در لوبیا چیتی

فلزات سنگین	نوع خاک	دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای (مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه)	نشت الکترولیت‌ها (درصد)	پرولین برگ (میکرومول بر گرم وزن تر برگ)	قند محلول برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	مالون دی‌آلدهید (میکرومول بر گرم وزن تازه)
شاهد	خاک زراعی	۳۷۷/۳۳ a	۰/۰۱ a	۵۲/۴۶ a	۴/۸۴ a	۱/۳۳ a	۷/۵۷ a
	کمپوست	۱۴۳/۳۳ b	۰/۰۱ a	۴۵/۰۳ a	۲/۱۱ b	۱/۶۱ a	۸/۰۲ a
	ورمی‌کمپوست	۱۶۲/۶۷ b	۰/۰۱ a	۴۶/۱۰ a	۲/۵۳ b	۱/۲۷ a	۸/۷۲ a
	خاک‌اره	۲۱۵/۳۳ b	۰/۰۱ a	۵۶/۶۰ a	۱/۴۵ b	۱/۳۷ a	۶/۲۳ a
	میانگین	۲۲۴/۶۷	۰/۰۱	۵۰/۱۱	۲/۷۳	۱/۳۹	۷/۶۳
نیترات کادمیوم	خاک زراعی	۱۴۷/۳۳ a	۰/۰۲ b	۸۴/۴۷ a	۸/۳۷ a	۱/۶۵ c	۶/۹۱ a
	کمپوست	۱۳۵/۰۰ a	۰/۰۱ c	۸۰/۰۰ a	۳/۲۵ b	۳/۰۰ b	۸/۵۵ a
	ورمی‌کمپوست	۱۳۰/۰۰ a	۰/۰۳ a	۷۵/۸۳ a	۲/۷۶ b	۳/۹۸ a	۹/۵۷ a
	خاک‌اره	۱۲۹/۳۳ a	۰/۰۰۶ d	۷۲/۹۷ a	۱/۹۲ c	۳/۲۴ ab	۹/۳۵ a
	میانگین	۱۳۵/۴۲	۰/۰۱	۷۸/۳۱	۴/۰۷	۲/۹۶	۸/۵۹
نیترات سرب	خاک زراعی	۱۷۳/۳۳ a	۰/۰۲ a	۸۵/۹۰ a	۸/۷۳ a	۱/۲۹ b	۷/۳۲ b
	کمپوست	۱۵۸/۰۰ a	۰/۰۱ b	۸۷/۵۳ a	۲/۷۹ b	۲/۵۲ a	۱۰/۳۸ ab
	ورمی‌کمپوست	۱۲۱/۰۰ a	۰/۰۲ a	۶۵/۴۰ b	۲/۴۶ b	۲/۶۴ a	۹/۴۴ ab
	خاک‌اره	۱۶۷/۰۰ a	۰/۰۱ b	۶۲/۸ b	۳/۳۳ b	۲/۳۵ a	۱۲/۰۰ a
	میانگین	۱۵۴/۸۳	۰/۰۱	۷۵/۴۰	۴/۲۳	۲/۲۰	۸/۰۳
نیترات نیکل	خاک زراعی	۳۰۹/۰۰ a	۰/۰۱ b	۸۹/۰۰ a	۵/۳۵ ab	۳/۵۴ a	۱۱/۸۹ a
	کمپوست	۱۶۱/۶۷ b	۰/۰۲ a	۸۷/۳۶ a	۶/۵۲ a	۱/۶۲ c	۱۰/۵۵ a
	ورمی‌کمپوست	۲۷۴/۶۷ ab	۰/۰۱ b	۸۶/۴۶ a	۳/۵۹ c	۲/۵۹ b	۱۱/۰۱ a
	خاک‌اره	۲۲۷/۰۰ ab	۰/۰۱ b	۶۶/۷۶ b	۳/۸۸ bc	۲/۰۲ bc	۱۲/۴۷ a
	میانگین	۲۴۳/۰۸	۰/۰۱	۸۲/۳۶	۴/۸۳	۲/۴۴	۱۱/۴۸
سولفات مس	خاک زراعی	۱۸۷/۶۷ a	۰/۰۱ b	۹۴/۲۳ a	۴/۹۶ a	۱/۵۷ b	۱۲/۱۷ a
	کمپوست	۲۳۰/۶۷ a	۰/۰۰۳ c	۸۷/۳۰ ab	۴/۷۴ a	۲/۵۱ a	۱۰/۰۹ a
	ورمی‌کمپوست	۱۸۴/۳۳ a	۰/۰۲ a	۶۵/۱۰ c	۲/۴۳ b	۲/۵۷ a	۹/۶۱ a
	خاک‌اره	۱۲۸/۳۳ a	۰/۰۱ b	۷۳/۵۳ bc	۳/۵۹ ab	۲/۷۴ a	۱۱/۰۲ a
	میانگین	۱۸۲/۷۵	۰/۰۱	۸۰/۰۴	۳/۹۳	۲/۳۴	۱۰/۷۲

در هر ستون و در هر سطح از فلزات سنگین وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس رویه L.S.Means می‌باشد.

خاک اره دو برابر افزایش نشان دادند. در تیمار نیترات نیکل بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به کاربرد کمپوست

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

بود، اما بین سطح عدم کاربرد ترکیبات آلی، خاک‌اره و ورمی‌کمپوست اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت. در تیمار سولفات مس کاربرد ورمی‌کمپوست میزان هدایت روزنه‌ای را نسبت به خاک زراعی ۱۰۰ درصد افزایش داد (جدول ۵).

استفاده از کودهای آلی با افزایش ظرفیت نگهداری آب، هوادهی مناسب، بهبود شرایط مناسب و تسهیل در جذب عناصر غذایی سبب افزایش هدایت روزنه‌ای می‌شود (گلی کلانپا، ۱۳۹٤). به نظر می‌رسد ترکیبات آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست در شرایط تنش فلزات سنگین قابلیت نگهداری آب خاک را افزایش داده و در نتیجه آب بیشتری برای جذب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و سبب افزایش هدایت روزنه‌ای شده است.

از سوی دیگر با کمبود آب ایجاد شده توسط فلزات سنگین و اختلال در تعادل آبی گیاه به دلیل کاهش اندازه و تعداد آوندهای چوبی رخ می‌دهد (Barcelo and Poschenrieder, 1990). اعلام شده در شرایط تنش فلزات گیاه نیاز به حفظ آب دارد و در نتیجه هدایت روزنه‌ای آن کاهش می‌یابد (Andrades-Moreno *et al*., 2013).

نشت الکترولیت (پایداری غشاء) برگ: در تیمار نیترات سرب و نیترات نیکل کمترین مقدار نشت الکترولیت‌ها مربوط به کاربرد خاک‌اره بود (جدول ۵). اما در تیمار سولفات مس کمترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ٪٦۵/۱ مشاهده شد که با تیمار کاربرد خاک‌اره فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود (جدول ۵). به‌طور کلی تمام تیمارهای فلزات سنگین میزان نشت الکترولیت‌ها را نسبت به تیمار شاهد (بدون فلزات سنگین) افزایش دادند. افزایش نشت‌پذیری غشاهای زیستی و آسیب به غشاهای زیستی در تنش‌های مختلف محیطی به دلیل افزایش پراکسیداسیون لیپیدها می‌باشد (Wahid, 2007). Bhardwaj و همکاران (۲۰۰۹) گزارش نمودند که فلز کادمیوم و سرب در لوبیا میزان نشت الکترولیت‌ها را نسبت به سطح شاهد (بدون فلزات سنگین) افزایش داد، که تأییدی بر آزمایش فوق است. پوراکبر و ابراهیم‌زاده (۱۳۹۲) گزارش کردند که با افزایش غلظت نیکل و مس در بستر گیاه، میزان نشت الکترولیت‌ها نسبت به سطح شاهد افزایش یافت.

پرولین برگ: در تیمار شاهد (بدون تنش فلزات سنگین) و نیترات کادمیوم، بیشترین میزان پرولین مربوط به تیمار عدم کاربرد ترکیبات آلی بود و کمترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد خاک‌اره بدست آمد (جدول ۵). همچنین کاربرد کمپوست با ورمی‌کمپوست فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود. در تیمار نیترات سرب بیشترین میزان پرولین مربوط به عدم کاربرد ترکیبات آلی و کمترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست بود. در نیترات نیکل میزان پرولین در کمپوست نسبت به کاربرد ورمی‌کمپوست و خاک اره اختلاف معنی‌داری نشان داد، اما نسبت به شاهد فاقد اختلاف معنی‌داری بود. در سطح سولفات مس بیشترین میزان پرولین در عدم کاربرد ترکیبات آلی و کمترین مقدار این صفت در ورمی‌کمپوست مشاهده شد (جدول ۵). به‌طور کلی تمام تیمارهای فلزات سنگین میزان پرولین را نسبت به تیمار شاهد (بدون فلزات سنگین) افزایش دادند. در تنش کادمیوم یون‌های کادمیوم و کلسیم بر سر اتصال به آنزیم پرولین کربوکسیلاز رقابت کرده و اتصال یون کلسیم به جایگاه‌های این یون در آنزیم مذکور موجب فعالیت شدید این آنزیم شده و در نهایت بر غلظت پرولین افزوده می‌شود (Hendry, 1993). Faiazan و همکاران (۲۰۱۱) در گیاه نخود تیمار شده با فلز کادمیوم، افزایش پرولین را گزارش کردند. از آنجایی که فلزات سنگین باعث افزایش رادیکال های آزاد می‌شود، پرولین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی در جهت کاهش رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند. مکانیسم‌هایی که پرولین به‌وسیله آن‌ها باعث کاهش آسیب رادیکال‌های آزاد می‌شود، شامل خاموش‌سازی فیزیکی اکسیژن منفرد و واکنش شیمیایی با رادیکال‌های هیدروکسیل می‌باشد که این کار برای حفظ غشای سلول امری ضروری است (Schaller, 2003). پرولین به عنوان وسیع‌ترین اسمولیت انباشته شده در شرایط تنش عمل می‌کند (Shah *et al*., 2001).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

قند محلول برگ: در تیمار نیترات کادمیوم ورمی‌کمپوست میزان قند محلول را نسبت به عدم کاربرد ترکیبات آلی ۱٤۰ درصد افزایش داد (جدول ۵). در نیترات سرب و سولفات مس کمترین قند محلول در عدم کاربرد ترکیبات بدست آمد. همچنین سطوح کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاک اره فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود. در تیمار نیترات نیکل، بیشترین میزان قند محلول مربوط به عدم کاربرد ترکیبات آلی و کمترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد کمپوست بدست آمد. به‌طور کلی بیشترین میزان قندهای محلول کل برگ در سطح نیترات کادمیوم و کمترین در تیمار شاهد (بدون فلزات سنگین) مشاهده شد. تمام سطوح فلزات سنگین میزان قندهای محلول کل برگ را نسبت به سطح شاهد (بدون فلزات سنگین) افزایش دادند. فلزات سنگین با کاهش انتقال آب به برگ‌ها منجر به بروز تغییرات فراساختاری اندامک‌های سلولی از قبیل تونوپلاست و تغییر در رفتار آنزیم‌های کلیدی چند مسیر متابولیسمی از جمله مسیر متابولیسم قند می‌شود. به دنبال تجمع فلزات در سلول‌ها، محتوای قندهای احیاکننده (کربوهیدرات‌ها) در گیاه افزایش می‌یابد، این پدیده احتمالا مکانیسم سازشی گیاه برای حفظ پتانسیل اسمزی در شرایط سمیت فلزات سنگین است (Prasad, 1997). در واقع کاهش پتانسیل آب، موجب تجمع و افزایش میزان قندهای محلول می‌شود (Sato *et al.*, 2004) علاوه بر نقش قندها در تنظیم فشار اسمزی تصور می‌شود با افزایش قندهای حل‌شونده، گیاه بتواند ذخیره‌ی کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه‌ی سلول در شرایط محیطی تحت تنش در حد مطلوب نگه‌دارد (Verma and Dubey, 2001). به نظر می‌رسد در این پژوهش افزایش قند محلول در گیاهان تیمار شده با فلزات سنگین می‌تواند به عنوان دلیلی بر مقابله بهتر این گیاه در مقابل تنش باشد. نورانی‌آزاد و کفیل‌زاده (۱۳۹۰) در گیاه گلرنگ گزارش کردند که با افزایش غلظت کلرید کادمیوم میزان قندهای محلول افزایش یافت.

پراکسیداسیون لیپیدها (مالون‌دی‌آلدهید): ترکیبات آلی خاک بر میزان مالون‌دی‌آلدهید معنی‌دار نبود؛ ولی فلزات سنگین و برهم‌کنش آن‌ها بر صفت فوق در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ٤). در تیمار نیترات سرب کاربرد خاک‌اره میزان مالون‌دی‌آلدهید نسبت به خاک زراعی ٦۳ درصد افزایش داد. همچنین کاربرد خاک‌اره با کمپوست و ورمی‌کمپوست فاقد اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۵). نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که تمام تیمارهای فلزات سنگین میزان پراکسیداسیون لیپیدها را نسبت به سطح شاهد (بدون فلزات سنگین) افزایش دادند. فلزات سنگین از عوامل بروز تنش اکسیداتیو در گیاهان محسوب می‌شوند، اسیدهای چرب اشباع نشده در غشاهای سلولی مستعد تخریب‌های اکسیداتیو می‌باشند، لینولئیک اسید و لینولنیک اسید بیشترین اسیدهای چرب غیراشباع در ساختمان سلول‌های گیاهی هستند (Skorzynska *et al.*, 2005). حاصل این فرایندها تشکیل محصولات تجزیه‌ای به‌ویژه آلدهیدهایی همانند مالون‌دی‌آلدهید می‌باشد (Prasad and Zeeshan, 2005). نتایج تحقیقات Bhardwaj و همکاران (۲۰۰۹) در گیاه لوبیا مبنی بر افزایش پراکسیداسیون لیپیدها با افزایش غلظت کادمیوم و سرب نتایج مطالعه‌ی فوق را تأیید می‌نماید.

نتیجه‌گیری:

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که تنش فلزات سنگین با کاهش میزان کلروفیل، سرعت فتوسنتز، تعرق، کارایی مصرف آب و هدایت روزنه‌ای و افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها، قندهای محلول و پراکسیداسیون لیپیدها باعث اختلال در پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی لوبیا چیتی شد. از سوی دیگر استفاده از ورمی‌کمپوست به عنوان یک کود آلی با بهبود وضعیت و ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک با افزایش میزان کلروفیل، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و پایداری غشا سلولی و کاهش نشت الکترولیت‌ها می‌تواند نقش مثبتی را در تعدیل اثرات فلزات سنگین ایفا کند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

منابع:

بیضایی، ا.، دری، ح.، قنبری، ع.ا.، غفاری خلیق، ح.، رحمانی قبادی، ع.، طاهری مازندرانی، م.، شهرآیین، ن.، هدایتی‌پور، ا.، صدری، ب.، ارده، م.ج.، یوسفی، م.، دادیور، م.، لک، م.ر.، حسنی مهربان، ا.، سمیعی، د.، آزرمی، م.، پوردوایی، ح.ا.، مستعد، ب.، باشتینی، ا.، هاشمی، ش.، مجد نصیری، ب.، کامل، م. و تکاسی، م. (۱۳۹۱) صدری رقم جدید لوبیا چیتی دانه درشت برای کاشت در مناطق معتدل سرد ایران. مجله به‌نژادی نهال و بذر، ۳۳۷-۳۳۵.

بیک‌خورمیزی، ع.، گنجعلی، ع.، ابریشم‌چی، پ. و پارسا، م. (۱۳۹۱) بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست بر میزان فتوسنتز، تعرق و کارایی مصرف آب لوبیا قرمز رقم تحت تنش شوری. مجله بوم‌شناسی کشاورزی ٤: ۲۳٤-۲۲۳.

پوراکبر، ل. و ابراهیم‌زاده، ن. (۱۳۹۲) اثر نیکل و مس بر بیومس، محتوای رنگیزه‌ای و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی گیاه ذرت. مجله علوم دانشگاه خوارزمی ۱۳: ۷۱۲-۷۰۱.

خطیب، م.، راشد محصل، م. ح.، گنجعلی، ع. و لاهوت، م. (۱۳۸۷) تاثیر غلظت های مختلف نیکل بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاه جعفری (*Petroselinum crispum*). مجله پژوهش‌های زراعی ایران ٦: ۲۵۹-۳۰۲.

رضوانی مقدم، پ. م.، امیری، ب. و سیدی، س. م. (۱۳۹۳) اثر مصرف کودهای آلی و زیستی بر عملکرد، میزان روغن و ترکیب اسیدهای چرب روغن کنجد (*Sesamum indicum* L). مجله علوم زراعی ایران ١٦: ۲۲۱- ۲۰۹.

کاظمی اربط، ح. و رحیم زاده خوبی، ف. (١٣٦٥) تغییرات تراکم روزنه‌های برگ نخود در شرایط دیم و آبی. مجله علوم کشاورزی ایران ۱۷ (۱): ۲٤٥-۲۳۵.

گلی کلانپا، ا.، امانی، ن. و اسماعیل پور، ب. (۱۳۹٤) تاثیر پسماند کمپوست قارچ بر خصوصیات رشدی و جذب عناصر پرمصرف در کاهو (*lactuca sativa* L) رقم سیاهو. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار ۵: ۱۳۰- ۱۱۳.

نورانی‌آزاد، ح. و کفیل‌زاده، ف. (۱۳۹۰) تأثیر سمیت کادمیوم بر رشد، قندهای محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی آنزیم‌ها در گلرنگ. مجله زیست‌شناسی ایران ۲٤ (٦): ۸٦۷-۸۵۸.

Abioye, O. P., Ijah, U. J. J. and Aransiola, S. A. (2013) Remediation mechanisms of tropical plants forlead-contaminated environment, In Plant-Based Remediation Processes. Soil Biology 35: 59–77.

Andrades-Moreno, L., Cambrolle, J., Figueroa, M.E. and Mateos-Naranjo, E. (2013) Growth and survival of *Halimione portulacoides* stem cuttings in heavy metal contaminated soils. Marine Pollution Bulletin 75: 28-32.

Angelova, V., Ivanova, R., Pevicharova, G. and Ivanov, K. (2010) Effect of organic amendments on heavy metals uptake by potato plants. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1-6 August, Brisbane, Australia 84-87.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenol oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology 2: 1-15.

Atiyeh, R. M., Arancon, N., Edwar ds, C. A. and Metzger, J. D. (2001) The influence of earthworm processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. Bioresource Technology 81: 103-108.

Barcelo, J. and Poschenrieder, C. (1990) Plant water relations as affected by heavy metal stress. Plant Nutrition 13:1-37.

Beltrano, J. and Ranco, G. M. (2008) Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. Brezilian Society of Plant Physiology 20: 29-37.

Bhardwaj, P., Chaturvedi, A. K. and Prasad, P. (2009) Effect of Enhanced Lead and Cadmium in soil on Physiological and Biochemical attributes of *Phaseolus vulgaris* L. Nature and Science 7: 63-66.

Chalker Scott, L. (2002) Bark mulch and sawdust are aesthetically preferable to wood chips and they work just as well. Horticultural Myths 22:88-92.

Countrey, N. (2006) Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. International Journal Applied Science and Engineering 3: 243-252.

Elvan, L. M. (2001) Effect of soil water regimes and inoculation with mycorrhizae on growth and nutrients content of maize plant. Zagazig Journal Agricultural Research 28: 163-172.

Faiazan, S., Kausar, S. and Perveen, R. (2011) Varietal differences for cadmium-induced seedling mortality, foliar

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

toxicity symptoms, plant growth, proline and nitrate reductase activity in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Biology and Medicine 3: 196-206.
Hadi, F. and Aziz, T. (2015) A Mini Review on Lead (Pb) Toxicity in Plants. Journal of Biology and Life Science 6: 91-101.
Han, D. H and Lee, J. H. (1996) Effects of liming on uptake of lead and cadmium by Raphanus sativa. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 31:488-493.
Hanc, A. P., Tlustos, J. and Szakova , J. (2009) Changes in cadmium mobility during composting and after soil application. Waste Management 29: 2282–2288.
Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photo peroxidation in isolated chloroplast kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Biochemistry and Biophysics 125: 189-198.
Hendry, G. A. F. (1993) Evolutionary origins natural functions of fractals climatologically biogeography and mechanistic appraisal. New Physiologist 123: 3-14.
Howladar, S. M. (2014) A novel moringa oleifera leaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in bean (*Phaseoulus vulgaris* L.) plants. Ecotoxicology and Environmental Safety 100: 69-75.
Irfan, M., Hayat, S. H., Ahmad, A. and Alyemeni, M. N. (2013) Soil cadmium enrichment: Allocation and plant physiological manifestations. Saudi Journal of Biological Sciences 20:1-10.
Irigoyen, J. J., Emerich, D. W and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 55- 60.
Jadia, C. D. and Fulekar, M. H. (2008) Phytoremediation: The application of vermin-compost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. Journal of Environmental Management 7: 547-558.
Oliva, M. A., Zenteno, R. E., Pinto, A., Dendooven, L. and Gutierrez, F. (2008) Vermicompost role against sodium chloride stress in the growth and photosynthesis in tamarind plantlets (*Tamarindus indica* L.). Gayana Botanica 65: 10-17.
Orcut, D. M. and E. Nilsen. (2000) The physiology of plant under stress. Soil and Biotic Factors, Joen Wiley Publishing pp 481-517.
Paquine, R. and Lechasseur, P. (1979) Observation method dosage labire dans lesde plants. Canadian Journal of Botany 57: 1851- 1854.
Park, J. H., Lamb, D., Paneerselvam, P., Choppala, G., Bolan, N. and Chung, J. W. (2011) Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. Hazardous Materials 185: 549–574.
Popova, L., Maslenkova, L., Yordanova, R., Krantev, A., Szalai, G. and Janda, T. (2008) Salicylic acid protects photosynthesis against cadmium toxicity in pea plants. General and Applied Plant Physiology 34: 133-148.
Prasad, M.. N. N. (1997) Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. Environment Experimental Botany 35: 525-545.
Prasad, S. M. and Zeeshan, M. (2005) UV-B Radiation and cadmium induced changes in growth, photosynthesis and antioxidant enzymes of cyanobacterium Plectonema Boryanum. Biologia Plantarum 49:229-236.
Saijeen, S., Kaewman, O. and Suksawat, M. (2009) Evaluation of media, organic and chemical fertilizer applications on growth of pot gerbera (*Gerbera jamesonii*). Asian Journal of Food and Agro-Industry 2: 51-56.
Sallaku, G., Babaj, I., Kaciu, S. and Balliu, A. (2009) The influence of vermicompost on plant growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under saline conditions. Food Agriculture and Environment 7: 869-872.
Sato, F., Yoshioka, H., Fugiwara ,T., Higashio, H., Uragami, A. and Tokud, S. (2004) Physiological resposes of cabbage plug seedlings to water stress during low temperature storage in darkness. Science Horticulture 101: 349-357.
Schaller, H. (2003) The role of sterolsin plant growth and development. Progrss in Lipid Resurch Plantarum 42: 63-175.
Shah, K., Kumar, R. G., Verma, S. and Dubey, R. S. (2001) Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Science 161: 1135–1144.
Sharma, P. and Dubey, R.S.H. (2005) Lead toxicity in Plants. Plant Physiology 17: 35–52.
Skorzynska, E., Pawlikowska pawlega, B., Szczuka, E., Drazkiewicz, M. and Krupaz, Z. (2005) The activity and localization of lipoxygenases in *Arabidopsis thaliana* under cadmium and copper stresses. Plant Growth Regulation 48:29-39.
Verma, S. and Dubey, R. S. (2001) Effect of cadmium on suloble sugar and enzymes of their metabolism in rice. Biologia Plantarum 44: 117-123.
Wahid, A. (2007) Physiological implications of metabolites biosynthesis in net assimilation and heat stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. Journal Plant Research 120: 219–228.
Yadav, S. K. (2010) Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metals stress tolerance of plants. South African Journal of Botany 76:167-179.
Yang, H. M., Zhang, X. Y. and Wang, G. X. (2004) Effects of heavy metals on stomatal movements in broad bean leaves. Russian Journal of Plant Physiology 51:464-468.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.14.6] [Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]