بررسی اثرات آلودگی فلزات سنگین پالایشگاه گازی بیدبلند ۱ بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک گیاه لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris*) رقم کوشا

علی حیدری کاهکش[۱]، نظام آرمند*[۲] و شکوفه حاجی هاشمی[۳]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا (ص) بهبهان، بهبهان. ایران.
۲ و ۳) استادیار گروه زیست شناسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا (ص) بهبهان، بهبهان ایران.

*نویسنده مسئول: **armandnezam@yahoo.com**

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۳۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۴**

چکیده

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های زیست محیطی هستند که در جوامع صنعتی به وفور یافت می‌شوند. سمیت فلزات سنگین و تجمع آن‌ها در زنجیره غذایی، یکی از اصلی‌ترین معضلات زیست‌محیطی جوامع امروزی است. در این راستا به‌منظور بررسی اثر فلزات سنگین موجود در خاک اطراف پالایشگاه گازی بیدبلند ۱ بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه لوبیا (رقم کوشا)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۶ در دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان به اجرا درآمد. تیمارها شامل چهار سطح خاک بدون آلودگی (کنترل) و با آلودگی کم، متوسط و زیاد بود که به‌ترتیب از منطقه زراعی اطراف پالایشگاه با فواصل ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ متر از پالایشگاه برداشت شدند و غلظت فلزات سنگین آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه و تحلیل خاک حاکی از آلودگی خاک اطراف پالایشگاه به فلزات کادمیوم، کروم، سرب، وانادیوم، جیوه و آرسنات بود که با افزایش فاصله از پالایشگاه غلظت فلزات در سطح معنی‌داری کاهش یافتند. گیاهان کشت شده پس از یک‌ماه در مرحله رویشی گیاه جهت انجام آزمایشات برداشت شدند. نتایج نشان داد که آلودگی فلزات سنگین در سطح معنی‌داری میزان وزن تر، وزن خشک، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، فتوسنتز خالص، فلورسانس کلروفیل (F_v/F_m; PI_{ABS})، CO_2 بین‌سلولی، تعرق، کارایی مصرف آب و رشد گیاه را کاهش داد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، خاک مناطق نزدیک به پالایشگاه آلودگی شدید به فلزات سنگین را نشان داد که با افزایش فاصله از پالایشگاه و کاهش آلودگی، اثرات سمیت آلودگی خاک بر عملکرد گیاه لوبیا کاهش یافت. براساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان پیشنهاد نمود که تنش فلزات سنگین ناشی از فعالیت پالایشگاه گاز سبب اثر منفی بر عملکرد سیستم فتوسنتزی و رشد گیاه لوبیا شد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، فلورسانس کلروفیل‌ها، رنگیزه‌های فتوسنتزی و مورفولوژی.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

مقدمه

در طی تکامل، موجودات زنده و محیط شیمیایی اطرافشان به‌طور پویا با هم برهم‌کنش دارند. آلودگی آب و خاک به فلزات سنگین علاوه بر تهدید اکوسیستم سبب کاهش کیفیت آب، باروری خاک و در نتیجه سلامت انسان می‌گردد (جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۷). فلزات سنگین عناصری هستند که در غلظت‌های کم برای گیاهان سمی هستند و به دو گروه عناصر ضروری و غیرضروری دسته‌بندی می‌شوند. فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند استخراج معادن، ذوب و آبکاری فلزات، و تولید و استخراج انواع سوخت‌های فسیلی و غیرفسیلی نقش مهمی در ایجاد آلودگی‌های محیطی دارند. مشکل اصلی مربوط به فلزات سنگین آن است که این آلاینده‌های غیرآلی بر خلاف آلاینده‌های آلی تجزیه‌پذیر نمی‌باشند (Wang and Chen, 2006). فلزات سنگین اثرات سمی و عوارض زیادی برای جانوران و در نهایت، در راس هرم چرخه مواد غذایی برای انسان در پی دارند. وجود مقادیر سمی فلزات سنگین در محیط‌زیست گیاهان باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی شده و می‌تواند موجب کاهش توان رشد گیاه و در حالت شدیدتر باعث از بین رفتن آن شود. گیاهان حساس در چنین شرایطی آسیب دیده و از بین می‌روند، در حالی‌که گیاهان مقاوم در این شرایط همچنان به رشد و تولید مثل خود ادامه می‌دهند (Seregin and Ivaniov, 2001). از آن‌جایی که رشد گیاهان زراعی و تولید محصولات تحت تاثیر تنش‌های محیطی قرار دارند، لذا در دهه اخیر مسئله تنش در کشاورزی و خصوصا محصولات زراعی نظر بسیاری از محققان را به‌خود جلب کرده است (Khayat *et al*., 2007; Ajam, 2015). افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک باعث تغییر ویژگی‌های شیمیایی خاک، به‌خصوص ظرفیت تبادل کاتیونی، کاهش میزان فسفات و سولفات قابل استفاده گیاه، تغییرات زراعی و کاهش فعالیت موجودات ذره‌بینی شده و از این طریق نیز بر فعالیت‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه اثر می‌گذارند. فاضلاب پالایشگاه‌های نفت و گاز حاوی آلاینده‌های زیست‌محیطی است که می‌توانند اتمسفر و خاک را آلوده کنند. این آلاینده‌ها شامل عناصری مثل روی، آرسنیک، کادمیوم، جیوه و سرب هستند (Alonso Hernandez *et al*., 2011). تنش فلزات سنگین بسیاری از ویژگی‌های رشد، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بررسی صفات مورفولوژیکی گیاهان مانند زیست‌توده، سطح برگ و طول گیاه نشان دهنده سلامت گیاهان تحت تنش فلزات سنگین است. گزارش‌های زیادی در مورد اثرات نامطلوب فلزات سنگین بر مورفولوژی بسیاری از گیاهان وجود دارد (Stiborova *et al*., 1987; Sharma and Agrawal, 2005). از جمله فرآیندهایی که تحت تأثیر تنش ناشی از فلزات سنگین قرار می‌گیرند فتوسنتز و رنگیزه‌های فتوسنتزی است. فتوسنتز یکی از حساس‌ترین فرآیندهای متابولیکی نسبت به سمیت فلزات سنگین است و مطالعات متعددی بازدارندگی فتوسنتز در گیاهان مختلف رشد یافته تحت تنش فلزات سنگین را گزارش کرده‌اند (Ashraf and Harris, 2013). سرب از طریق بازگشایی روزنه‌ها، آسیب به سازماندهی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

فراساختاری کلروپلاست، تغییر در متابولیت‌های فتوسنتزی، جایگزینی یون‌هایی مانند منیزیم با سرب در کلروپلاست و ممانعت از ساختن یا القاء تجزیه رنگیزه‌های فتوسنتزی سبب کاهش فتوسنتز در گیاهان می‌شود (Sharma and Dubey 2005). در یک تحقیق گزارش شده است که شاخص‌های فیزیولوژیک شامل میزان فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای تحت‌اثر آلودگی سرب کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که غلظت‌های بیش از ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات سرب باعث کاهش میزان فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای نسبت به گیاه شاهد شد (Sharma and Agrawal, 2005). حبوبات و به‌ویژه لوبیا ازمنابع مهم تأمین کننده پروتئین در اکثر کشورها به‌ویژه کشورهای درحال توسعه می‌باشد که به‌دلیل دارا بودن پروتئین، فیبر و ویتامین در دانه، ارزش غذایی بالایی دارد (حبیب‌پور کاشفی و همکاران، ۱۳۹۴). کنترل غلظت فلزات سنگین در گیاهان به‌ویژه در بخش‌های خوراکی برای تضمین امنیت غذایی، مهم و ضروری است. با توجه به اهمیت موضوع و نقش حبوبات به عنوان دومین منبع تامین نیاز غذایی انسان و ارزش تغذیه ای زیاد لوبیا و سطح زیر کشت آن در کشور، این پژوهش با هدف اثر برخی فلزات سنگین خاک اطراف پالایشگاه بیدبلند ۱ بهبهان در این گیاه و اثر آن‌ها بر صفات مورفولوژیکی، فلورسانس کلروفیل و فتوسنتز انجام گردید. بررسی و تحلیل این اثرها می‌تواند کمک شایانی به تولید و کشت این گیاه در اطراف صنایع مشابه با پالایشگاه گاز یا صنایعی با آلودگی فلزات سنگین نماید.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تجزیه خاک

پالایشگاه گاز بیدبلند در ۳۲ کیلومتری غرب بهبهان و ۴۰ کیلومتری شمال آغاجری در استان خوزستان واقع شده است. پالایشگاه گاز بیدبلند در اطراف روستاهای آب امیری از دهستان تشان، بخش مرکزی شهرستان بهبهان با ارتفاع ۴۱۰ متر از سطح دریا، دشتی با آب و هوای گرم و خشک در ۲۳ کیلومتری شمال باختری بهبهان و روستای بیدبلند از دهستان حومه بخش مرکزی شهرستان بهبهان با ارتفاع ۳۱۸ متر از سطح دریا می‌باشد.

در این تحقیق نمونه‌برداری از خاک سطحی زمین‌های اطراف پالایشگاه بیدبلند در سال ۱۳۹۶ انجام شد. پس از تعیین محل نمونه‌برداری که در آن سه ایستگاه به‌علاوه یک ایستگاه شاهد به فواصل ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر از پالایشگاه در نظر گرفته شد. در عرض و طول جغرافیایی مشخص از پالایشگاه، سطح محل نمونه‌برداری در ابعاد ۵۰ سانتی‌متر مربع بوسیله بیل، صاف و چاله‌ای به عمق ۳۰ سانتی‌متر حفر گردید. سپس از یک سمت چاله برشی به قطر ۳ سانتی‌متر توسط بیل باغبانی یا بیلچه ایجاد شد و با دقت تمام به گونه‌ای که خاک رویی که به سمت دسته بیل قرار می‌گیرد، حذف نگردد، نمونه خاک برداشت انجام شد. این عمل در هر محل مشخص، در سه تکرار صورت گرفت. برای دستیابی به نتایج و سنجش

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

مقدار و نوع فلزات سنگین به آزمایشگاه جهت تجزیه و تحلیل ICP (Varian, 735 ICP-OES, Australia) فرستاده شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

به‌منظور افزایش حجم و تخلخل خاک، سه سطح خاک با آلودگی ضعیف، متوسط و شدید و یک سطح خاک شاهد (محل نمونه‌برداری از مزرعه‌ای در بهبهان و دور از پالایشگاه) را به میزان ۲:۱ با پرلیت مخلوط کرده و از هر نوع خاک شش گلدان آماده شد. بذرهای لوبیا رقم کوشا از مرکز تحقیقات لرستان تهیه شدند. بذرها را قبل از کشت با هیپوکلریت سدیم ۲۰٪ به مدت ۲۰ دقیقه استریل کرده و بعد با آب مقطر چندین بار شستشو داده تا هیپوکلریت کاملا از بذرها خارج گردد. سپس بذرهای استریل شده را به تعداد ۱۵ عدد داخل هر پتریدیش حاوی کاغذ صافی قرار داده و ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر به پتری دیش‌ها اضافه شد. سپس پتری‌دیش‌ها به ژرمیناتور با دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد و دوره نوری ۱۶ ساعت و دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد و هشت ساعت تاریکی به مدت چهار روز انتقال داده شد. پس از چهار روز تعداد هشت عدد بذر جوانه‌زده را به گلدان‌های برچسب‌گذاری شده منتقل شد. در نهایت همه گلدان‌ها را با توجه به نیازهای دمایی و نوری به اتاقک رشد با دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲۰ درجه سانتی‌گراد در شب و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی قرار داده شد. پس از یک هفته گیاهان هر گلدان به چهار عدد کاهش یافتند. آبیاری گلدان‌ها به مدت یک‌ماه بصورت هر چهار روز یک‌بار با آب مقطر صورت گرفت. پس از یک‌ماه تا زمان برداشت گیاه، آبیاری گلدان‌ها بصورت یک‌بار در میان با هوگلند ۱۰٪ و آب مقطر انجام گرفت. پس از چهار هفته گلدان‌ها تخلیه و گیاهان جهت انجام تجزیه و تحلیلهای مورد نظر برداشت شدند.

تجزیه و تحلیل شاخص‌های رشد

به‌منظور مطالعه تغییرات مورفولوژیکی گیاه لوبیا در پاسخ به آلودگی فلزات سنگین، طول ساقه، طول ریشه اصلی، سطح برگ، وزن تر و خشک ساقه، ریشه و برگ در ۴ گیاه از ۴ گلدان مختلف به ازای هر سطح آلودگی خاک اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری سطح برگ گیاهان از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ Portable Leaf Area Meter مدل Korea Tech ساخت کشور کره استفاده شد و سطح تمام برگ‌های چهار گیاه از چهار گلدان اندازه‌گیری شد. سپس خاک گلدان‌ها به‌طور کامل و با دقت خالی شدند، طوری‌که به ریشه گیاهان آسیبی وارد نشود. پس از برداشت گیاهان، اندام‌های هوایی و ریشه از یکدیگر تفکیک شدند. ریشه گیاهان به‌طور کامل با آب شسته شده و در انتها با آب مقطر آب‌کشی شدند. سپس ریشه گیاهان بر روی کاغذ صافی قرار داده شدند تا آب اضافی آن‌ها کاملا حذف شود. وزن تر ساقه، ریشه و برگ چهار گیاه اندازه گیری شد. سپس ریشه‌ها با استفاده از اسکنر متصل به دستگاه تجزیه و تحلیل ریشه WinRHIZO Pro, Regent Instruments ساخت کشور کانادا اسکن شدند، و قطر و حجم ریشه‌ها اندازه گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک،

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

ساقه، برگ و ریشه، اندام‌های مذکور به‌طور جداگانه در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. سپس وزن آن‌ها با ترازوی AND مدل GT-300 ساخت کشور چین با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم تعیین شدند.

تجزیه و تحلیل شاخص‌های فتوسنتز

سنجش عملکرد فتوسیستم‌ها بوسیله دستگاه کلروفیل فلوریمتر Pocket PEA. Hansatech, Instrument Ltd ساخت کشور انگلستان بررسی شد. برای سنجش ابتدا گلدان‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در اتاقک رشد تاریک انکوبه شدند. سپس برگ‌های دوم و سوم هر گیاه از بالا انتخاب شدند و پارامترهای F_V/F_m و PI_{ABS} اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری تمامی صفات ذکر شده چهار گیاه از هر تیمار مورد بررسی قرار گرفتند.

تعیین میزان فتوسنتز، CO_2 درون‌سلولی، کارایی مصرف آب و تعرق به‌وسیله دستگاه پرتابل فتوسنتزمتر KR8700 system; Korea Tech Inc ساخت کشور کره انجام شد. برای اندازه‌گیری از برگ‌های سالم و توسعه‌یافته (برگ‌های دوم و سوم فوقانی در هر گیاه) استفاده شد. در زمان اندازه‌گیری صفات ذکر شده، به‌منظور رعایت شرایط استاندارد و یکسان برای تمامی تیمارها، شرایط محیطی اتاقک برگ دستگاه با شرایط موجود در اتاقک رشد تنظیم شد. به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های فتوسنتزی، گیاهان به مدت چهار ساعت تحت شرایط نورانی و دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد در اتاقک رشد قرار گرفتند.

برای سنجش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها، ۰/۱ گرم برگ با چهار میلی‌لیتر استن ۸۰٪ در هاون چینی ساییده شد و سپس محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفوژ شد. سپس جذب محلول رویی جهت تعیین میزان کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مدل SPEKOL 2000 Analyticjena ساخت کشور آلمان در طول موج‌های ۶۴۷، ۶۶۴ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید. میزان کلروفیل a و b، کلروفیل کل و میزان کاروتنوئیدها از طریق رابطه-های ۱، ۲، ۳ و ۴ محاسبه گردید (Wellburn, 1994):

رابطه ۱: $$Chl\ a = 12.25\ A664 - 2.79\ A647$$

رابطه ۲: $$Chl\ b = 21.21\ A647 - 5.1\ A466$$

رابطه ۳: $$Chl_T = Chl\ a + Chl\ b$$

رابطه ۴: $$Carotenoids = (1000A470 - 1.8\ Chla - 85.02\ Chlb) / 198$$

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیلهای آماری به‌وسیله نرم‌افزار SPSS و ترسیم نمودارها به وسیله نرم‌افزار Excell انجام شد. به‌منظور تعیین سطح معنی‌داری ($P\leq0.05$) کلیه پارامترها از تجزیه و تحلیل واریانس ANOVA استفاده شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر مقایسه شد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل فلزات سنگین

نتایج جدول ۱ نشان داد مقدار میانگین غلظت عناصر با افزایش فاصله از پالایشگاه از یک فرایند کاهشی پیروی می‌کنند. داده‌ها نشان می‌دهد که بالاترین مقدار آلودگی خاک با فلزات سنگین کادمیوم، سرب، جیوه، وانادیوم، کروم و آرسنات در نزدیک پالایشگاه اتفاق افتاده است و بیش‌ترین مقدار عناصر در شعاع ۵۰۰ متری از پالایشگاه مشاهده شد. بنابراین پالایشگاه می‌تواند عامل اصلی در این الگوی پراکنش فلزات باشد. در شعاع ۵۰۰ متری از پالایشگاه، بیش‌ترین و کم‌ترین تجمع فلزات به‌ترتیب مربوط به آرسنات و کادمیوم می‌باشد که کاهش بسیار معنی‌داری را در شعاع‌های ۱۰۰ و ۱۵۰۰ متری نشان دادند.

جدول ۱: غلظت فلزات سنگین در خاک‌های نمونه‌برداری شده از اطراف پالایشگاه گاز بیدبلند ۱

فلزات سنگین خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)	مناطق نمونه‌برداری از خاک			
	شاهد	منطقه ۱ (۵۰۰ متر)	منطقه ۲ (۱۰۰۰ متر)	منطقه ۳ (۱۵۰۰ متر)
جیوه	۰^{d}	۱/۵۳±۰/۰۸۳^{a}	۱/۱۵±۰/۰۵۷^{b}	۰/۶۱±۰/۳۵^{c}
وانادیوم	۰^{d}	۰/۸۸±۰/۲۸^{a}	۰/۳۹±۰/۰۱^{b}	۰/۱۵±۰/۰۰۷^{c}
کروم	۰^{d}	۰/۸۹±۰/۰۲۵^{a}	۰/۵۱±۰/۰۲۵^{b}	۰/۳۷±۰/۰۱۳^{c}
آرسنیک	۰^{d}	۱/۸۷±۰/۰۵۷^{a}	۱/۴۱±۰/۰۶۴^{b}	۱/۱۶±۰/۰۵۷^{c}
سرب	۰^{d}	۱/۲۶±۰/۰۷۲^{a}	۰/۹±۰/۰۲۵^{b}	۰/۲۳±۰/۰۱۱^{c}
کادمیوم	۰^{d}	۰/۶۵±۰/۰۶۴^{a}	۰/۵۲±۰/۰۵۱^{b}	۰/۳۳±۰/۰۱۵^{c}

در هر ستون تیمارهای دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

تجزیه و تحلیل شاخص‌های رشد

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که آلودگی خاک با فلزات سنگین در سطح معنی‌داری سبب کاهش طول گیاه، سطح برگ، طول ریشه و قطر ریشه گیاه لوبیا شد (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، آلودگی فلزات سنگین خاک اثر معنی‌داری بر طول ساقه لوبیا داشت ($P\leq0.05$). ارتفاع گیاهان کشت شده در خاک‌های با آلودگی متوسط و شدید نسبت به گیاه شاهد کاهش معنی‌داری را نشان دادند ($P\leq0.05$)، اما طول گیاه در آلودگی کم کاهش

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

معنی‌داری را نسبت به گیاه شاهد نشان نداد (شکل ۱ الف). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که آلودگی متوسط و زیاد خاک با فلزات سنگین سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ گیاهان شد ($P\leq0.05$) و میزان این صفت در گیاهان کشت شده در خاک‌های با آلودگی کم، کاهش معنی‌داری نشان نداد (شکل ۱ ب). نتایج تجزیه و تحلیل طول ریشه نشان داد که آلودگی کم فلزات سنگین اثر معنی‌داری بر میزان طول ریشه نداشت ($P\leq0.05$)، در حالی‌که سطوح آلودگی متوسط و زیاد خاک با فلزات سنگین سبب کاهش معنی‌دار صفت مذکور شد (شکل ۱ ج). قطر ریشه کاهش معنی‌داری در پاسخ به آلودگی خاک نشان داد ($P\leq0.05$) و بیش‌ترین و کم‌ترین میزان قطر ریشه به‌ترتیب مربوط به گیاهان شاهد (۰/۲۵ سانتی‌متر) و گیاهان کشت شده در خاک با آلودگی زیاد (۰/۰۷ سانتی‌متر) بودند (شکل ۱ د).

بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل واریانس، آلودگی خاک با فلزات سنگین سبب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام‌های مختلف گیاه شد (جدول ۲). آلودگی خاک با مقادیر متوسط و زیاد فلزات سنگین سبب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک ساقه در گیاه لوبیا شد ($P\leq0.05$) (شکل ۲ الف و ب). گیاهان شاهد بیش‌ترین میزان وزن تر و خشک ساقه به‌ترتیب به‌میزان ۱/۲۴ و ۰/۲۵ گرم را نشان دادند درحالی‌که کم‌ترین میزان صفات مذکور مربوط به سطح شدید آلودگی فلزات سنگین به‌ترتیب به‌میزان ۰/۸۱ و ۰/۰۸۷ گرم است. وزن تر برگ تحتاثر آلودگی متوسط و شدید خاک قرار گرفت و کاهش معنی‌داری را نشان داد ($P\leq0.05$) (شکل ۲ ج). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان وزن تر برگ به‌ترتیب به‌میزان ۲/۶۲ و ۰/۸۷ گرم مربوط به گیاهان کشت شده در خاک شاهد و خاک با آلودگی شدید فلزات بود. میزان وزن خشک برگ در گیاهان رشد یافته در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین کاهش معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد نشان داد ($P\leq0.05$) و بیش‌ترین کاهش در آلودگی شدید خاک ملاحظه شد (شکل ۲ د). وزن تر ریشه در پاسخ به آلودگی خاک کاهش معنی‌داری را نشان داد ($P\leq0.05$) و میزان آن در تمام سطوح آلودگی خاک تقریبا یکسان بود (شکل ۲ و). نتایج وزن خشک ریشه حاکی از کاهش معنی‌دار صفت مذکور در آلودگی‌های متوسط و شدید خاک بود ($P\leq0.05$)، در حالی‌که آلودگی کم اثر معنی‌داری بر آن نداشت ($P\leq0.05$) (شکل ۲ ی).

امروزه آلودگی محیط زیست، به عنوان یکی از مباحث بسیار مهم در زندگی بشر مطرح است. فلزات سنگین از منابع آلاینده محیط زیست از جمله خاک می‌باشند که در صورت تجمع در خاک و جذب به وسیله گیاه به زنجیره‌های غذایی وارد می‌شوند و مسمومیت‌هایی را در گیاهان و یا افراد تغذیه‌کننده از آن‌ها ایجاد می‌کنند (Antoniadis and Alloway, 2001). گیاه لوبیا چیتی (رقم کوشا) در این مطالعه به مدت سی روز در چهار تیمار (سه سطح فلزات سنگین و شاهد) کشت شد. گزارشاتی مبنی بر نقش پالایشگاه‌های نفت و گاز در آلودگی خاک توسط عناصر سمی کروم، جیوه، نقره، سرب، کادمیوم و وانادیوم وجود دارد (Sharma and Agrawal 2005; Nagajyoti *et al*., 2010). نتایج تجزیه خاک نشان داد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

که زمین‌های کشاورزی در اطراف پالایشگاه گاز طبیعی بیدبلند به فلزات سنگین مختلف کروم، جیوه، سرب، کادمیوم، وانادیوم و آرسنات آلوده است و بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر عناصر مذکور به‌ترتیب در فواصل ۵۰۰ و ۱۵۰۰ متر دور از محل پالایشگاه ملاحظه شدند.

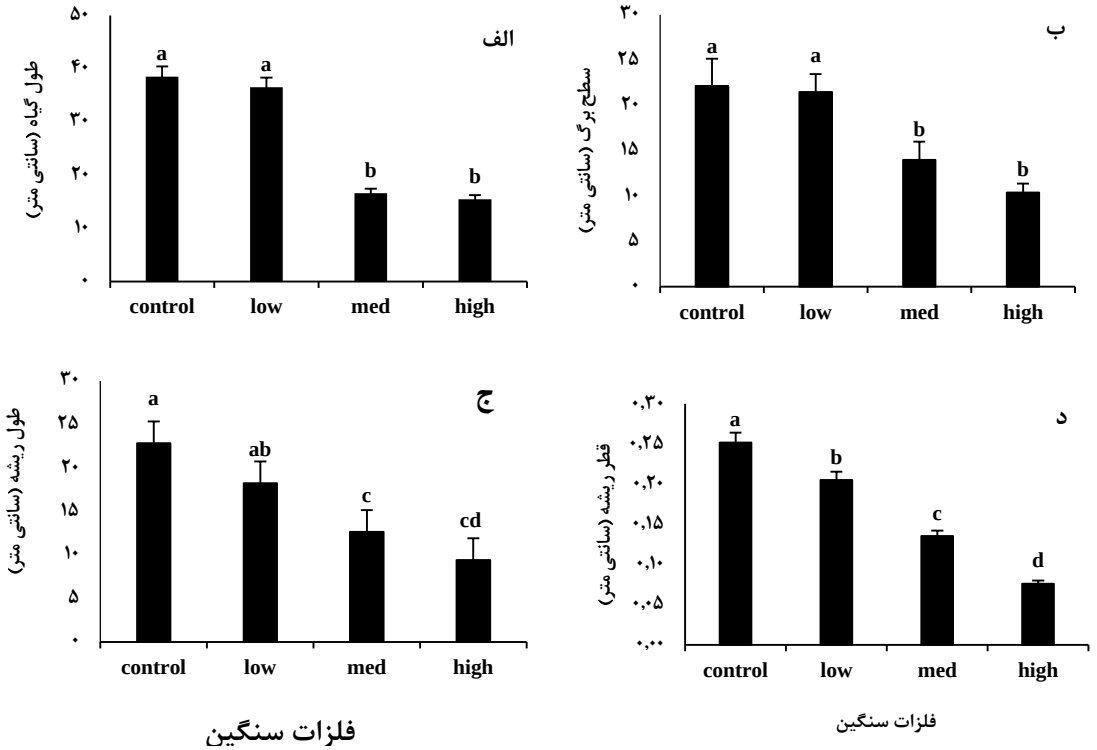
تنش فلزات سنگین از طریق فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سبب کاهش رشد و عملکرد فتوسنتزی گیاهان می‌شود (Shanker *et al.*, 2005). داده‌های مطالعه حاضر نشان داد که آلودگی خاک با فلزات سنگین سبب کاهش ارتفاع گیاه، سطح برگ، طول و قطر ریشه، و وزن تر و خشک ساقه، برگ و ریشه‌ها گردید. بیش‌ترین اثر مضر آلودگی خاک بر شاخص‌های مورفولوژیکی گیاه لوبیا در نزدیکترین منطقه (۵۰۰ متر) به پالایشگاه بیدبلند به علت غلظت بیشتر فلزات سنگین در این منطقه مشاهده شد. گزارش‌هایی وجود دارد که سمیت فلزات سنگین وابسته به غلظت آن‌ها است و میزان بالاتر فلزات منجر به کاهش بیشتر در فرایندهای رشد گیاه کاج می‌شود (Godbold and Huttermann, 1986). اثر منفی سرب در رشد گیاه از طریق اختلال در فرآیندهای متابولیکی گیاه و مهار اکسیداسیون ایندول اسید استیک اسید می‌باشد (Sharma and Dubey, 2005). فلزات سنگین با کاهش جذب عناصر پتاسیم، آهن و روی سبب کاهش رشد گیاهان می‌شوند (Qian *et al.*, 2013). تنش فلزات سنگین از جمله عوامل محدود کننده رشد ریشه است و کاهش رشد ریشه فعالیت‌های رشدی گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. عدم توسعه و گسترش مناسب سیستم ریشه‌ای باعث کاهش سطوح جذب کننده مواد غذایی، تغییر در ساختار غشا سلولی و کاهش جذب و محتوی آب می‌شود که این امر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تعرق، تنفس و فتوسنتز اثر گذاشته و در نهایت موجب کاهش رشد در سایر قسمت‌های گیاه و از جمله کاهش زیست توده و سطح برگ می‌شود (Sharma and Dubey, 2005). پژوهشگران آسیب‌های ریشه‌ای ناشی از فلزات سنگین و کاهش میزان کلروفیل را علت اصلی کاهش رشد اندام هوایی دانسته‌اند (Arduini *et al.*, 1994; Fuentes *et al.*, 2006). با افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک، وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی گیاهان کاهش معنی‌داری یافت که با نتایج به دست آمده از برخی پژوهشگران مانند کریمی و همکاران (۱۳۹۲) هم‌خوانی دارد. کاهش رشد ناشی از سمیت کادمیوم، به علت کاهش فتوسنتز و تنفس و کاهش متابولیسم هیدرات‌های کربن و ایجاد کلروز است (Moya *et al.*, 1993; Sanita and Gabbrielli, 1999). نیکل باعث کاهش وزن تر ریشه، ساقه و برگ‌ها و وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاهان و به طور کلی سبب کاهش زیست‌توده گیاه می‌شود. یکی از پیامدهای اصلی کاهش رشد ریشه گیاه، کاهش میزان جذب آب و یون‌های معدنی می‌باشد که در نتیجه رشد عمومی گیاه کاهش می‌یابد (Moya *et al.*, 1993; Fuentes *et al.*, 2006).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

جدول ۲: تجزیه واریانس اثر آلودگی خاک با فلزات سنگین بر صفات مورد بررسی در گیاه لوبیا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		طول گیاه	سطح برگ	طول ریشه	قطر ریشه	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
تنش	۳	۶۱۶*	۱۲۲*	۲۱۲*	۰/۰۳۶*	۰/۱۹۱*	۰/۰۳۸*	۲/۹۶*	۰/۰۴۹*	۱۶۴*	۰/۰۵۲*
خطا کل	۸	۳۲	۱۲	۱۳	۰/۰۰۱	۰/۳۸	۰/۰۰۷	۰/۰۸۸	۰/۰۰۲	۰/۳۱۴	۰/۰۱۰

*و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری.



شکل ۱: تغییرات ارتفاع بوته (الف)، سطح برگ (ب)، طول ریشه (ج) و قطر ریشه (د) تحت اثر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد). داده‌ها میانگین ۴ تکرار ±SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (P≤0.05) بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

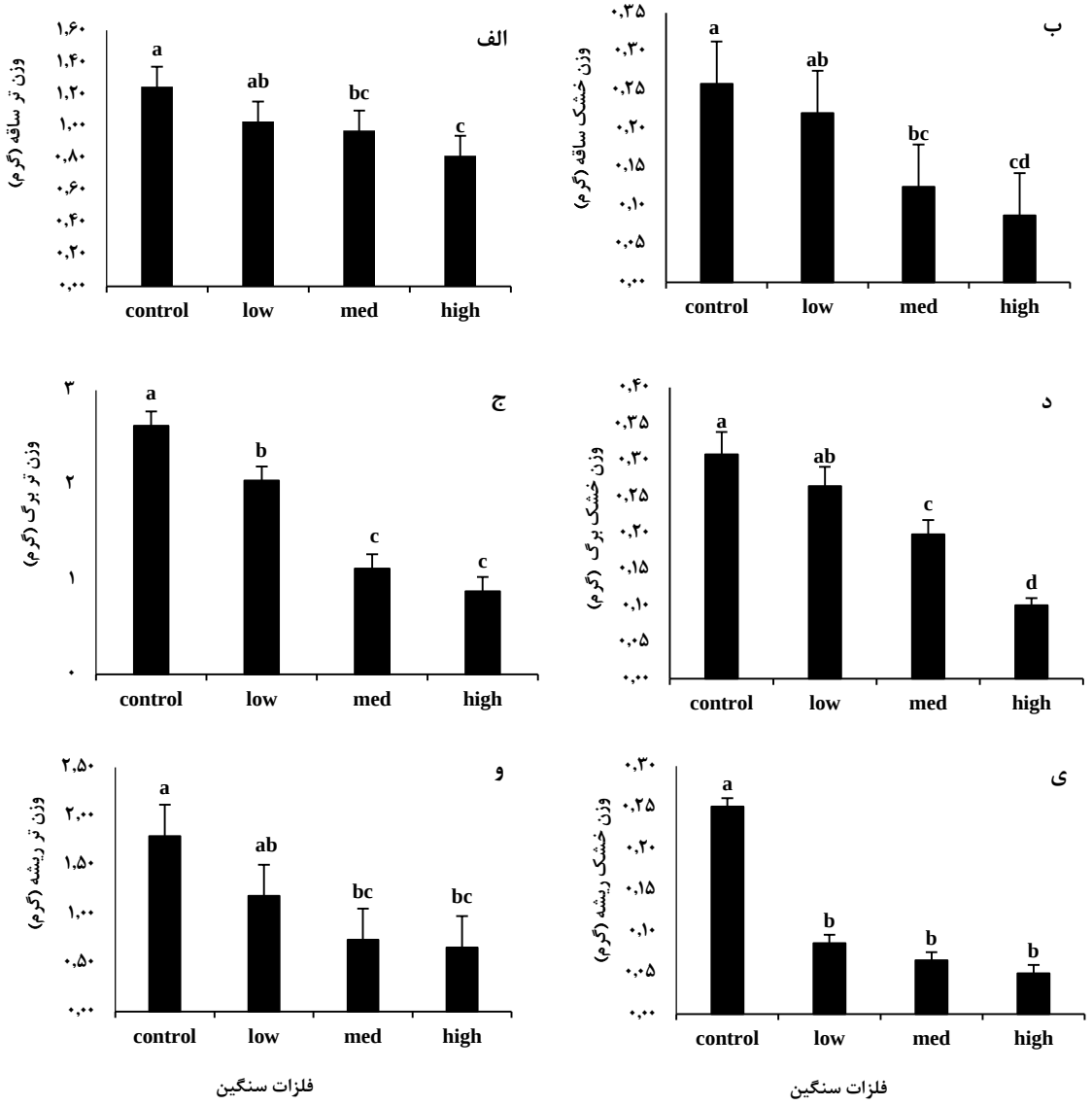
نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که آلودگی فلزات سنگین در خاک، اثر منفی معنی‌داری بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه لوبیا داشت (P≤0.05) (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات سطوح مختلف آلودگی فلزات سنگین نشان داد که در شرایط آلودگی زیاد فلزات سنگین، میزان کلروفیل a به طور معنی‌داری کاهش یافت (P≤0.05)، در حالی که در شرایط آلودگی‌های کم و متوسط کاهش معنی‌داری نسبت به گیاه شاهد ملاحظه نشد (شکل ۳ الف).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

میزان کلروفیل b تحتاثر آلودگی‌های متوسط و زیاد خاک با فلزات سنگین در سطح معنی‌داری کاهش یافت ($P\leq0.05$)، اما آلودگی کم اثر معنی‌داری بر صفت مذکور نداشت (شکل ۳ ب). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان کلروفیل کل در پاسخ به آلودگی‌های متوسط و زیاد خاک به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P\leq0.05$) و کم‌ترین میزان این صفت مربوط به گیاهان کشت شده در خاک با آلودگی زیاد بود، اما در خاک با سطح آلودگی کم کاهش معنی‌داری ملاحظه نشد (شکل ۳ ج). میزان کاروتنوئیدها در آلودگی‌های متوسط و زیاد خاک کاهش معنی‌داری نشان داد ($P\leq0.05$) و کم‌ترین میزان صفت مذکور مربوط به شدیدترین سطح آلودگی فلزات سنگین است که با گیاهان مربوط به سطوح دیگر تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۳ د). افزایش فلزات سنگین خاک، اثر معنی‌داری بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه مانند کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها و کلروفیل کل داشت به‌طوری‌که آلودگی فلزات سنگین در سطوح بالا باعث کاهش پارامترهای ذکر شده گردید. این نتایج با پژوهش‌های Zengin و Munzuroglu (۲۰۰۵) و همچنین Heckathorn و همکاران (۲۰۰۴) و Kambhampati و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت داشت. کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش ناشی از فلزات سنگین ممکن است نتیجه ممانعت آنزیم‌های مسئول در بیوسنتز کلروفیل باشد (Zengin and Munzuroglu, 2005). همچنین اثر سرب بر سنتز کلروفیل از طریق ممانعت از ۷- آمینو لوولینیک اسید دهیدراتاز است که این ممانعت فعالیت فتوسنتزی گیاهان را از طریق کاهش محتوای کلروفیل کاهش می‌دهد (Geebelen *et al*., 2002). به‌علاوه غلظت بالای سرب، سنتز کلروفیل را از طریق مختل کردن جذب یون‌های اساسی مانند منیزیم و آهن به‌وسیله گیاهان و یا با افزایش فعالیت کلروفیلاز کاهش می‌دهد (Bruzynski, 1987; Drazkiewicz, 1994). برخی از فلزات سنگین مانند کادمیوم از تشکیل کلروفیل از طریق تداخل با تولید پروتوکلروفیلید جلوگیری می‌کنند (Prasad *et al*., 2004). در پژوهشی توسط Sharma و Dubay (۲۰۰۵) نشان داده شده است که تنش سرب با ایجاد تغییر شکل در کلروپلاست‌ها، جلوگیری از سنتز کلروفیل‌ها، ممانعت از انتقال الکترون، جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین و کمبود دی‌اکسیدکربن در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها سبب کاهش میزان فتوسنتز می‌شود. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با بسیاری از یافته‌ها مشابه است. محتوای کلروفیل کل گیاه لوبیا به‌طور پیش‌رونده‌ای با افزایش غلظت سرب، مس، کادمیوم و جیوه کاهش می‌یابد (Zengin and Munzuroglu, 2005). گیاهانی که در معرض سرب قرار گرفته‌اند کاهش کلروفیل و راندمان فتوسنتزی را از خود نشان داده‌اند (Heckathorn *et al*., 2004). علاوه بر مهار بیوسنتز کلروفیل به‌وسیله فلزات سنگین، این فلزات باعث تجزیه زیستی کلروفیل نیز می‌شوند. از اثرات دیگر فلزات سنگین بر بیوسنتز کلروفیل می‌توان به جانشین شدن آن‌ها به‌جای منیزیم مرکزی کلروفیل اشاره کرد که این جانشینی سبب کاهش دریافت نور به‌وسیله کلروفیل و منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود (Patra *et al*., 2004). کاروتنوئیدها در سمیت‌زدایی کلروفیل نقش دارند و باعث کاهش اثرات سمی

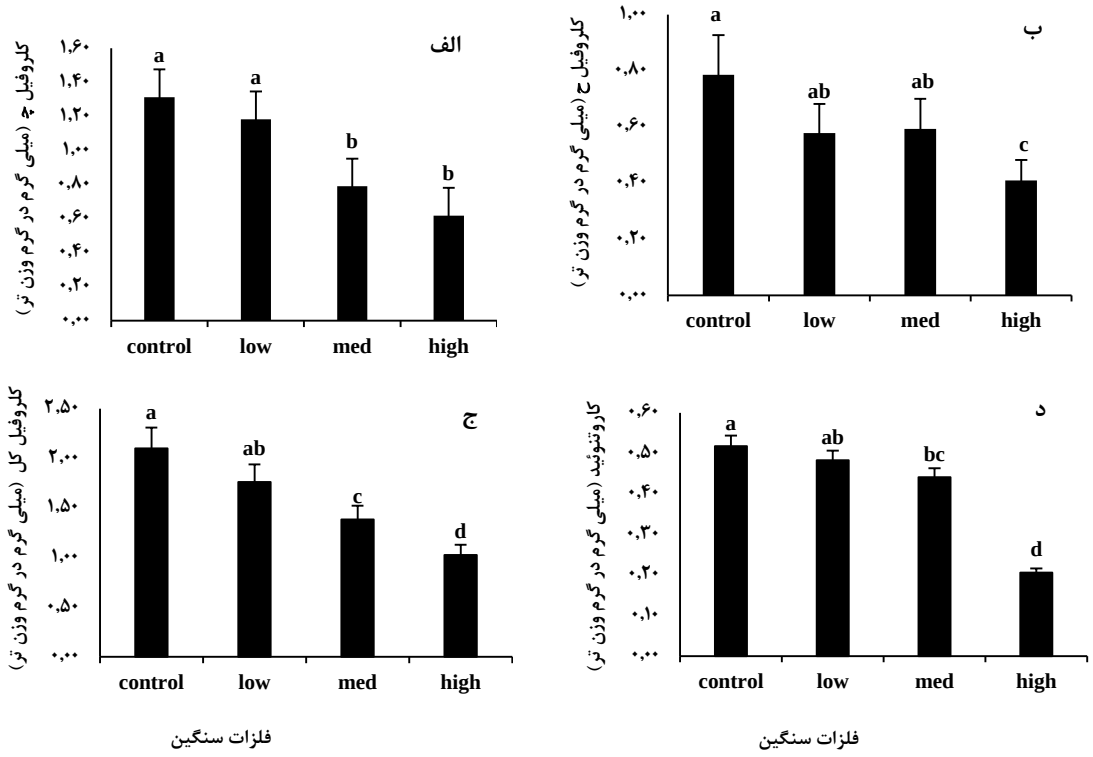
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

رادیکال‌های آزاد می‌شوند. همچنین کاهش چشمگیر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در گیاه لوبیا تحت تیمار سرب گزارش شده است (Aldoobie and Beltagi, 2013). کاروتنوئیدها نقش حفاظتی در برابر تنش اکسیداتیو دارند. این رنگیزه‌ها در سمیت‌زدایی کلروفیل نقش دارند و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (Sanitata and Gabbriella, 1999). فلزات سنگین عملکرد فتوسیستم‌های I و II را تحت تاثیر قرار داده و با تخریب و تجزیه پروتئین‌های کلروفیلی گیرنده پروتون در فتوسیستم II، ظرفیت گرفتن پروتون و در نتیجه بازده فتوسنتز را کاهش می‌دهند (Cheng and Zhou, 2002).



شکل ۲: تغییرات وزن تر ساقه (الف)، وزن خشک ساقه (ب)، وزن تر برگ (ج)، وزن خشک برگ (د)، وزن تر ریشه (ه) و وزن خشک ریشه (ی) تحت اثر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد). داده‌ها میانگین ۴ تکرار ±SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P\leq 0.05$) بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]



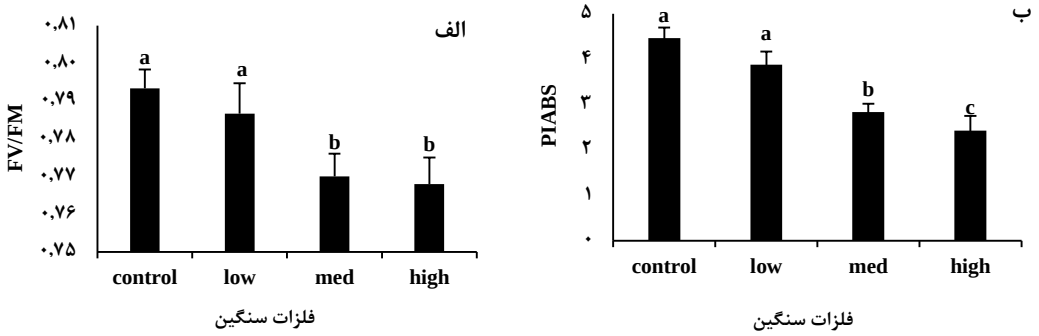
شکل ۳: تغییرات کلروفیل a (الف)، کلروفیل b (ب)، کلروفیل کل (ج) و کاروتنوئید (د) تحت اثر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد). داده‌ها میانگین ۴ تکرار ±SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (P≤0.05) بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

شاخص‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آلودگی فلزات سنگین خاک بر فلورسانس کلروفیل در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). میزان عملکرد فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) در پاسخ به آلودگی متوسط و زیاد خاک در سطح معنی‌داری کاهش یافت ($P\leq0.05$) و بیش‌ترین میزان این صفت (۰/۷۹۳) مربوط به گیاهان کشت شده در خاک شاهد بود و کم‌ترین میزان این صفت (۰/۷۶۸) هم مربوط به شدیدترین سطح آلودگی فلزات سنگین است. میزان این صفت در گیاهان کشت شده در خاک با سطح متوسط آلودگی تفاوت معنی‌داری نداشت، اما با دیگر سطوح تفاوت معنی-داری داشت ($P\leq0.05$) (شکل ۴ الف). عملکرد فتوشیمیایی هر دو فتوسیستم I و II (PI_{ABS}) کاهش معنی‌داری را در پاسخ به آلودگی فلزات سنگین نشان داد و بیش‌ترین کاهش به‌میزان ۴۶٪ در صفت مذکور در آلودگی شدید خاک مشاهده شد. یکی بارزترین واکنش‌های گیاهان به عوامل تنش‌زای محیطی افت فتوسنتز ناشی از اختلال در فعالیت فتوسیستم II می‌باشد (قهرمانی و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج تجزیه واریانس اثر آلودگی خاک با فلزات سنگین بر میزان شاخص‌های فتوسنتز خالص، CO_2 درون‌سلولی، کارایی مصرف آب و تعرق در گیاه لوبیا در جدول ۳ نشان داده شده است. آلودگی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

خاک با مقادیر متوسط و زیاد فلزات سنگین سبب کاهش معنی‌دار فتوسنتز خالص، CO_2 درون سلولی، کارایی مصرف آب و تعرق شد (شکل ۵ الف، ب، ج و د). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات سطوح مختلف آلودگی فلزات سنگین نشان داد که بیش‌ترین میزان فتوسنتز خالص (۳۵۶ میکرومول در متر بر ثانیه)، CO_2 درون سلولی (۶۹۱ میکروگرم در گرم)، کارایی مصرف آب (۲۳۸ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مول آب) و تعرق (۲۶۲ میکرومول در متر بر ثانیه) مربوط به گیاهان کشت شده در خاک شاهد بود و کم‌ترین میزان این صفات مربوط به شدیدترین سطح آلودگی فلزات سنگین به‌ترتیب به‌میزان ۱۷۰ میکرومول در متر بر ثانیه، ۵۱۳ میکروگرم در گرم ، ۷۸ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مول آب و ۱۱۶ میکرومول در متر بر ثانیه است که نسبت به شاهد و آلودگی کم تفاوت معنی‌داری داشتند. کاهش فتوسنتز به دلیل کاهش میزان کلروفیل در گیاه است. در مطالعه حاضر، افزایش فلزات سنگین سبب کاهش فتوسنتز شد که احتمالاً به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها می‌باشد، به‌طوری‌که گیاهان تحت تیمار در سطوح زیاد سرب، کم‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای و تعرق را داشته‌اند. غلظت بالای سرب سبب ایجاد تنش اکسیداتید در گیاه می‌شود (حسن‌پور درویشی، ۱۳۹۴؛ صادقی‌پور، ۱۳۹۶). Bazzaz و همکاران (۱۹۷۵) گزارش کردند که یک رابطه بسیار قوی بین استفاده از سرب و کاهش فتوسنتز وجود دارد، که به‌طور عمده از بسته شدن روزنه‌ها منتج می‌شود تا اثر مستقیمی که سرب بر فتوسنتز می‌گذارد. از سوی دیگر، جدا از بسته شدن روزنه‌ها، انتظار می‌رود که کاهش میزان فتوسنتز در نتیجه آسیب شدید سازمان داخلی کلروپلاست‌ها، از جمله غشای تیلاکوئیدها باشد. افزایش غلظت سرب سبب افزایش مقاومت روزنه‌ای و بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز و تعرق مشاهده می‌گردد. علت کاهش کارایی مصرف آب را می‌توان با کاهش میزان آسیمیلاسیون CO_2 بخاطر تنش فلزات سنگین مرتبط دانست (Makhdum *et al*., 2002).



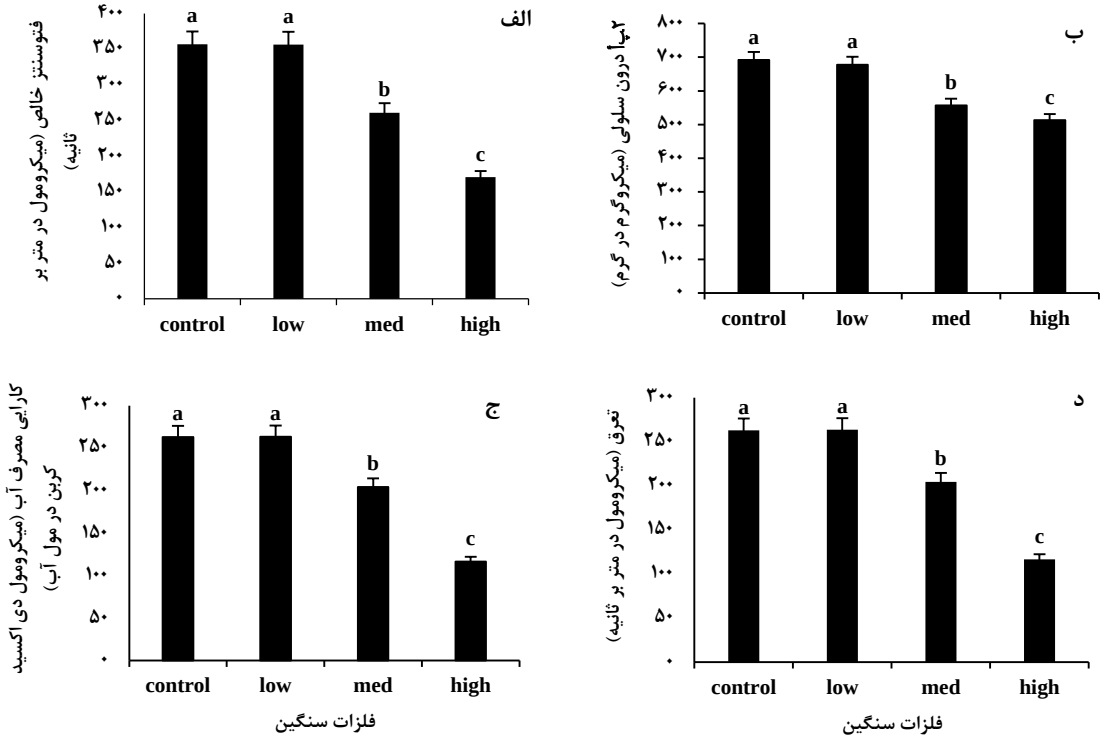
شکل ۴: تغییرات F_v/F_m (الف) و PI_{ABS} تحت اثر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد). داده‌ها میانگین ۴ تکرار ±SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P\leq 0.05$) بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر آلودگی خاک با فلزات سنگین بر صفات مورد بررسی در گیاه لوبیا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئیدها	F_v/F_m	PI_{ABS}	فتوسنتز خالص	CO_2 درون سلولی	کارایی مصرف آب	تعرق
تنش	۳	۰/۴۲۶*	۰/۰۹۵ns	۰/۸۶۱*	۰/۰۸۰*	۰/۰۰۳*	۵۲۵*	۲۴۸۳۷*	۳۱۰۴۷*	۲۱۶۳۷*	۱۹۲۵۱*
خطا کل	۸	۰/۰۱۸	۰/۰۳۶	۰/۰۵۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۱۲۱	۲۴۷۰	۵۷۸	۳۱۹	۲۰۰

*و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری



شکل ۵- تغییرات میزان فتوسنتز خالص (الف)، CO_2 درون سلولی (ب)، کارایی مصرف آب (ج) و تعرق (د) تحت اثر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد). داده‌ها میانگین ۴ تکرار ±SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P\leq0.05$) بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

نتیجه‌گیری

فلزات سنگین در خاک نمونه‌برداری شده، اثر معنی‌داری بر خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی و بیوشیمیایی ریشه و اندام هوایی گیاه لوبیا چیتی رقم کوشا داشت و با افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک‌ها، که تابعی از مسافت آن‌ها نسبت به پالایشگاه گاز بیدبلند ۱ بود، پارامترهای فیزیولوژیک و مورفولوژیکی گیاه مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی، شاخص‌های فتوسنتزی، وزن تر و خشک گیاه کاهش یافت. هر چه خاک‌های مربوط به زمین‌های کشاورزی مورد مطالعه به پالایشگاه

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

نزدیکتر باشد میزان آلودگی آن بیشتر است و در نهایت از راندمان تولید گیاهی آن کاسته می‌شود و اثرات منفی فراوانی از قبیل اثر بر سلامت، ایمنی غذایی، اثر منفی بر دام و طیور، زیست شناختی، فیزیولوژی گیاهان و بر کشاورزان حومه پالایشگاه وارد می‌کند. لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که این خاک‌ها که محل رشد گیاهان هستند همواره در معرض آلودگی قرار گرفته و در نهایت وارد زنجیره غذایی انسان‌ها می‌شوند. این نتایج با نتایج حاصل از استاندارد جهانی محیط زیست، سلامت و ایمنی کاملا مطابقت دارد. تحقیقات بیشتر در مورد واکنش‌های فیزیولوژیکی و مولکولی گیاه لوبیا به تنش‌های فلزات سنگین و بررسی میزان فلزات سنگین در گیاه ضرورت دارد.

منابع

حبیب‌پور کاشفی، ا.، قرینه، م.ح.، شافعی‌نیا، ع. و روزرخ، م. ۱۳۹۴. اثر سطوح زئولیت بر فلورسانس کلروفیل لوبیا قرمز (*Phasaeolus vulgaris* L.) تحت شرایط تنش خشکی. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۷ (۲۸): ۳۲-۱۹.

حسن‌پور درویشی، ح. ۱۳۹۴. بررسی اثر سرب و روی و نقش قارچ میکوریزا بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و بیومارکرهای تخریب در یونجه، خلر و ماشک گل خوشه‌ای. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۶ (۲۵): ۸۸-۷۳.

جوانمرد، ح.، مختاری کرچگانی، ح. و غلامی، ع. ۱۳۹۷. اثر پلیمر سوپر جاذب، اسید هیومیک و باکتری بر صفات فیزیولوژیک یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) در خاک‌های آلوده به سرب. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰ (۳۷): ۱۳۸-۱۱۹.

صادقی پور، ا. ۱۳۹۶. اثر کاربرد کلسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد دانه سویا در شرایط آلودگی خاک به سرب. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۹ (۳۵): ۱۰۴-۸۹.

قهرمانی، م.، عبادی، ع.، پرمون، ق.، جهانبخش، س. ۱۳۹۴. بررسی اثر تنش کم‌آبی بر شاخص‌های فتوسنتزی و عملکرد علوفه ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor*). نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۷ (۲۵): ۷۴-۵۹.

کریمی، ن.، خان‌احمدی، م. و مرادی، ب. ۱۳۹۲. اثر غلظت های مختلف سرب بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه کنگر فرنگی. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۰ (۱): ۶۲-۴۹.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Ajam, Sh. 2005. Effect of planting date and nitrogen fertilizer levels on yield of canola variety Hyola401 in Khuzestan. M.Sc. Thesis of Agriculture. Islamic Azad University. Science and Research Khuzestan Branch. and Exp. Bot. 45: 105 – 130.

Aldoobi, N. and Beltagi M. 2013. Physiological and biochemical and molecular responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* l) plants to heavy metals stress. Biotechnology Journal.12(29).4614-4622.

Alonso Hernandez, C., Bernal Castillo, J., Bolanos Alvarez, Y., Gomez Batista, M. and Diaz Asencio, M., 2011. Heavy metal content of bottom ashes from fuel oil powerplant and oil refinery in cuba. Journal of fuel. 90: 2820–2823.

Antoniadis, N. and Alloway, B. J. 2001. Availability of Cd, Ni and Zn to rye grass in seawage sludge treated soils at different temperatures. Water, Air and Soil Pollut. 132: 201– 204.

Arduini, I., Godbold D. L. and Onnis A. 1994. Cadmium and copper change root growth and morphology of Pinus pinea and Pinus pinaster seedlings. Physiologia Plantarum. 92(1): 675-680.

Ashraf, M., Harris P. **2013**. Photosynthesis under stressful environments: an overview. Photosynthetica. 51: 163-190.

Bazzaz, F. A., Carlson, R. W. and Rolfe, G. L. 1975. The inhibition of corn and soybean photosynthesis by lead. Physiologia Plantarum. 34: 326-329.

Bruzynski, M. 1987. The influence of lead and cadmium on the absorption and distribution of potassium, calcium, magnesium and iron in cucumber seedlings. Acta Physiologia Plantarum. 9: 229-238.

Cheng, Y. and Zhou, Q. X. 2002. Ecological toxicity of relative X3-B red dye and cadmium acting on cotton to methanol foliar application. Journal of Research. 48: 123-128.

Drazkiewicz, M. 1994. Chlorophyll-occurrence, functions, mechanism of action, effects of internal and external factors. Photosynthetica. 30: 321-331.

Fuentes, D., Disante K. B., Valdecantos, A., Cortina, J. and Vallejo, V. R. 2006. Response of Pinus halepensisMill. Seedling to biosolids enriched with Cu, Ni, Zn in three Mediterranean forest soils. Environmental Pollution 22: 1-8.

Geebelen, W., Vangronsveld, J., Adriano, D. C., Van Poucke, L. C. and Clijsters, H. 2002. Effects of Pb-EDTA and EDTA on oxidative stress reactions and mineral uptake in *Phaseolus vulgaris*. Physiologia Plantarum. 115: 377-384.

Godbold, D. and Huttermann A. 1986. The uptake and toxicity of mercury and lead to spruce (picea abifs karst. seedlings. Water, Air, and Soil Pollution. 31: 509-515.

Heckathorn, S.A., Mueller, J. K., LaGuidice, S., Zhu, B., Barrett, T., Blair B. and Dong, A. 2004. Chloroplast small heat-shock proteins protect photosynthesis during heavy metal stress. American Journal Botany. 91:103-110.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Kambhampati, M. S., Begonia, G. B. Begonia M. F. T and. Bufford, Y. 2005. Morphological and physiological responces of Morning glory (*Ipomoea lacunose* L.) grown in a lead- and chelate-amended soil. Internation Journal of Environmental Research Public Health 2: 299-303.

Khayat, M., Rahnama, A., Lorzadeh, S. and Lack, S. 2007. Curve of growth, yield and yield components of rapeseed promising genotypes on different sowing conditions Khuzestan (Ahwaz). Msc. Thesis of Agriculture. Islamic Azad University. Science and Research Khuzestan Branch.

Makhdum, I. M., Nawaz, A. Shabab, M., Ahmad, F. and Illahi, F. 2002. Physiological response of heat-shock proteins protect photosynthesis during heavy metal stress. American Journal Botany. 91:1312-1318.

Moya, J. L., Ros, R and Picazo, I. 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. Photosynthesis Research. 36(8): 75-80.

Nagajyoti, P., Lee, K., Sreekanth, T. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environmental Chemistry Letters 8: 199-216.

Patra, M., Bhowmik, N, Bandopadhyay, B., Sharma, A. 2015. Comparison of mercury, lead and arsenic with photosynthesis of young barley (H. *vulgare* L.) plants. Bulgarian Journal Plant Physiology. 4: 21-29.

Prasad, S., Dwivedi, R., Zeeshan, M. and Singh, R. 2004. UV-B and cadmium induced changes in pigments, photosynthetic electron transport activity, antioxidant levels and antioxidative enzyme activities of *Riccia* sp. Acta Physiology Plant. 26: 423-430.

Sanita di Toppi, L., Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants. Environment and Experimental Botany. 41(3): 105-130.

Seregin, I. V., Ivaniov, V. B. 2001. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. Russian Journal of Plant Physiol. 48(4): 606-630.

Shanker, A. K., Cervantes, C. 2005. Loza-Tavera H., Avudainayagam S.: Chromium toxicity in plants. Environment International. 31: 739-753.

Sharma, R. K. and Agrawal, M. 2005. Biological effects of heavy metals: an overview. Journal of environmental Biology 26: 301-313, 2005.

Sharma, P. and Dubey, R. S. 2005. Lead toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology. 17: 35–52.

Stiborova, M., Ditrichova M., Brezinova A. 1987. Effect of heavy metal ions on growth and biochemical characteristics of photosynthesis of barley and maize seedlings. Biologia plantarum 29: 453-467.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Qian, H., Peng X., Han X., Ren J., Sun L. and Fu Z. 2013. Comparison of the toxicity of silver nanoparticles and silver ions on the growth of terrestrial plant model Arabidopsis thaliana. Journal of Environmental Sciences. 25: 1947-1956.

Wang, A. and Chen, C. 2006. Biosorption of metals by Sacchharomyces cerevisia: A review Biotechnology Advances. 24.427-451.

Wellburn, A. R. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal of plant physiology. 144: 307-313.

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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]