تاثیر آلودگی سرب و کادمیوم بر جوانه‌زنی بذر سورگوم (*Sorghum bicolor* L.)

The effects of lead and cadmium contamination on seed germination of sorghum (*Sorghum bicolor* L.)

سید ابوالقاسم موسوی[۱]، میثم اویسی*[۱] و علیرضا ایرانبخش[۲]

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین- پیشوا، ورامین- ایران.
۲- گروه زیست شناسی، دانشکده علوم،دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران- ایران.

*نویسنده مسوول مکاتبات: meysamoveysi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر آلودگی سرب و کادمیوم بر جوانه‌زنی بذر سورگوم رقم کیمیا، آزمایشی در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین - پیشوا، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی عبارتند از: کلریدسرب در سه سطح (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میکرومول در لیتر) و کلریدکادمیوم در چهار سطح (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میکرومول در لیتر). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کلریدسرب بر صفات درصد جوانه‌زنی نهایی، وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه درسطح پنج درصد و بر صفات وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، آنزیم کاتالاز و آنزیم اسید فسفاتاز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثرساده کلریدکادمیوم بر صفات وزن تر ریشه، وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، در سطح پنج درصد و بر صفات آنزیم کاتالاز و آنزیم اسید فسفاتاز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر صفات وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه در سطح یک درصد معنی‌دار بود و بر سایر صفات معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر طول ریشه‌چه نشان داد که بیش‌ترین مقدار با چهار میلی‌متر مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدسرب و کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۱/۸ میلی‌متر مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و ۹۰ میکرومول کلریدکادمیوم بود. همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار به‌ترتیب با ۰/۰۱۸ گرم و ۰/۰۰۱ گرم مربوط به تیمار عدم مصرف کلریدسرب و ۶۰ میکرومول بر لیتر کلریدکادمیوم و تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم بود. بهترین عملکرد در صفات مورد بررسی مربوط به تیمار شاهد بود.

واژگان کلیدی: کلریدسرب، کلریدکادمیوم، سورگوم، جوانه‌زنی، رقم کیمیا

مقدمه

سورگوم از نظر اهمیت غذایی پنجمین غله دنیا پس از گندم، ذرت، برنج و جو محسوب می‌شود، مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده سورگوم کشورهای آمریکا، هندوستان، آرژانتین، چین، مکزیک، نیجریه و سودان هستند. عملکرد سورگوم در جهان از ۴/۳۹ تن در هکتار در آمریکا تا ۰/۷۵ تن در هکتار در آفریقا و هائیتی متغیر است. سورگوم در شمال و جنوب آمریکا، اروپا و استرالیا به‌مصرف تغذیه دام می‌رسد؛ اما در آسیا، آفریقا و آمریکای مرکزی بیش‌تر مصرف خوراکی دارد. سورگوم گیاه مقاومی هست و در شرایطی که برای بیش‌تر غلات نامناسب است قادر به تولید بذر می‌باشد (FAO, 2014).

از دیدگاه جهانی خاک پس از آب و هوا سومین جزو عمده محیط زیست انسان تلقی می‌شود. خاک علاوه بر آنکه پایگاه موجودات خشکی‌زی است، محیط منحصر به‌فردی برای انواع گیاهان به‌شمار می‌رود. آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه بر اثرات زیانبار بر جوامع گیاهی و جانوری خاک و آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی از طریق آب‌شویی، موجب کاهش عملکرد و کیفیت محصول و در نهایت به‌خطر افتادن سلامتی افراد جامعه و دیگر موجودات زنده می‌شود. اگرچه فلزات سنگین می‌توانند به‌طور طبیعی و از طریق هوادیدگی سنگ‌ها و کانی‌ها و طی فرآیند خاک‌سازی در خاک تجمع یابند، اما این منبع طبیعی در مقایسه با فعالیت‌های انسان منجمله احداث کارخانجات صنعتی، استخراج معادن، استفاده از آب‌های آلوده و پساب‌های صنعتی در کشاورزی استفاده از آفت‌کش‌ها و علفکش‌ها ، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب دارای اهمیت کمی است. فلزات سنگین بر سوخت و ساز بذر تاثیر گذاشته و مانع از رشد گیاه می‌شود (Alvarez-Ayuso, 2008). سرب یکی از مهم‌ترین عناصر سنگین با ماندگاری اثر سمی طولانی شناخته شده است. قرار گرفتن در معرض سرب به‌علت ماهیت سمی آن، باعث وقوع نگرانی بزرگی در طول عمر سیستم‌های بیولوژیکی گردید. منابع عمده سرب در خاک معمولا مشتق از سنگ بستر، مواد اولیه از معادن سرب، عملیات ذوب، استفاده از آرسنات سرب و استفاده از تترا متیل سرب به‌عنوان ماده افزودنی ضدخوردگی به بنزین است. سرب برخلاف برخی دیگر از فلزات سنگین برای گیاهان عالی و موجودات دیگر ضروری نیست. سرب در غلظت‌های بالا، برای انسان، حیوانات و گیاهان بسیار سمی است، به‌همین دلیل است آن را در زمره آلاینده‌های خطرناک به‌شمار می‌آورند. منابع آلودگی عبارتند از: وسایل حمل و نقل، صنعت و محصولاتی که در تکنولوژی تولید آنها سرب به‌کار رفته است (Rudolf *et al*., 2012). سرب از فلزات سنگین متداولی است که در باتری، سرامیک، مواد شیمیایی و کودها یافت می‌شود و همچنین در محصولات و تولیدات مختلفی از قبیل بنزین، رنگ مو، شیشه سرب‌دار، جاذب‌های کاغذهای چاپ، رنگ، کش‌ها، سفال و لاستیک اسباب بازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Shafiq *et al*., 2008).

محمدزاده و همکارن (۱۳۸۹) آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار و با تیمارهایی شامل فلزات کادمیوم، نیکل، سرب و مس هر کدام در چهار سطح ۱۵، ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ ppm و همچنین تیمار شاهد (آب مقطر) انجام دادند. نتایج آزمایش نشان داد که تیمار نیکل در غلظت ppm ۱۵ سبب افزایش معنی‌دار طول و وزن ساقه‌چه نسبت به تیمار شاهد گردید. همچنین بیش‌ترین طول ریشه‌چه مربوط به تیمار ۴۵ و ۶۰ ppm فلز سرب بود. کم‌ترین طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز مربوط به تیمار ppm۶۰ کادمیوم و مس بود. در پژوهشی تأثیر فلز سرب بر گیاه یونجه در مرحله جوانه‌زنی مورد بررسی قرارگرفت. بدین منظور دانه رست‌های هفت روزه یونجه در محیط هیدروپونیک تحت تیمار غلظت‌های صفر، ۱۲۰، ۲۴۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار سرب قرارگرفتند و پس از ۱۰ روز بررسی‌های ریخت‌شناختی و فیزیولوژیک بر روی آن‌ها انجام شد. براساس نتایج میزان جذب سرب در اندام هوایی و ریشه‌ها با افزایش غلظت سرب در محیط افزایش یافت و در نتیجه میزان رشد گیاه با افزایش میزان جذب سرب کاهش یافت. میزان تولید پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید به‌عنوان

شاخص‌های تنش اکسیداتیو افزایش داشت. تحت تنش سرب میزان تولید فلاونوئیدها و فعالیت آنزیم پراکسیداز در اندام هوایی و ریشه‌ها افزایش یافت و میزان ترکیبات فنولی در ریشه‌ها کاهش و در اندام هوایی افزایش نشان داد (قلیچ و همکاران، ۱۳۹۴). به‌منظور بررسی سمیت فلزات سنگین ضروری (نیکل) و غیرضروری(کادمیوم) بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ی لوبیا، چیتی رقم صدری، آزمایشی به‌صورت طرح کاملا تصادفی در پنج تکرار شامل غلظت‌های مختلف نیترات کادمیوم (به‌میزان۱۲ و ۲۴ و ۳۶ و ۴۸ PPM کادمیوم و (نیترات نیکل) به‌میزان ۸ و ۱۶ و ۲۴ و ۳۲ ppm نیکل و (یک تیمار شاهد) بر روی جوانه‌زنی و رشد بذرهای لوبیا انجام شد. نتایج نشان دادند که شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد بذر با افزایش غلظت کادمیوم در مقایسه با تیمار نیکل یا شاهد به‌طور بسیار معنی‌داری کاهش یافت. قرارگیری در معرض کادمیوم وزن خشک ریشه‌چه، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی را نسبت به شاهد به‌ترتیب۶۴/۳ و ۳۰/۲ و ۲۲/۷ درصد کاهش، اما غلظت ۳۲ ppm نیکل وزن خشک ساقه‌چه را حدود ۲/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. درکل می‌توان نتیجه گرفت که جوانه‌زنی و رشد اولیه لوبیا چیتی رقم صدری به فلز کادمیوم حساس، اما به نیکل حساسیت ندارد. غلظت‌های بسیار پایین نیکل نقش مثبتی را در جوانه‌زنی بذر ایفا می‌کند (امینی و همکاران، ۱۳۹۱). پژوهش حاضر با هدف بررسی جوانه‌زنی و صفات بنیه بذری سورگوم رقم کیمیا (*Sorghum bicolor* L.) در شرایط آلودگی سرب و کادمیوم در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی ورامین صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، بررسی اثر آلودگی سرب و کادمیوم بر جوانه‌زنی بذر سورگوم رقم کیمیا تهیه شده از مؤسسه تحقیقات کشاورزی کرج به صورت تحقیقی در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین - پیشوا به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد.

تیمارهای مورد نظر عبارتند از: کلریدسرب در سه سطح: بدون استفاده از کلریدسرب، استفاده به میزان ۶۰ میکرومول در لیتر، استفاده به‌میزان ۱۲۰ میکرومول در لیتر و کلریدکادمیوم در چهار سطح: بدون استفاده از کلریدکادمیوم، استفاده به‌میزان ۳۰ میکرومول در لیتر، استفاده به‌میزان ۶۰ میکرومول در لیتر، استفاده به‌میزان ۹۰ میکرومول در لیتر بود. صفات مورد اندازه‌گیری عبارت بودند از: درصد جوانه‌زنی نهایی، وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، آنزیم کاتالاز و آنزیم اسید فسفاتاز.

برای انجام این آزمایش ابتدا پس از آماده‌سازی پتری دیش‌ها، آلودگی بذور با سرب و کادمیوم با مقادیر تعیین شده انجام پذیرفت. با استفاده از پتری دیش‌های ۹ سانتی‌متری (قطر) تعداد ۳۰ عدد بذرسورگوم را در شرایط کشت BP (درون کاغذی)، بر روی کاغذ صافی کشت و با استفاده از سطوح محلول آلودگی، اعمال تیمار گردید و برای جلوگیری از تبخیر از سطح ظروف، درب ظرفها به‌طور کامل با پارافیلم پوشیده شد. ظروف در داخل انکوباتور با دمای ۱ + ۲۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و به‌طور روزانه بازبینی و تعداد بذور جوانه‌زده ثبت می‌گردند و در روز آخر نیز طول ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه‌گیری گردید. در طی این مراحل نیز صفات ذیل مورد مطالعه قرارگرفت.

درصد جوانه‌زنی نهایی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$FGP=(Ng/Nt)\times 100$$

Ng= تعداد کل بذرهای جوانه‌زده

Nt= تعداد کل بذرهای مورد ارزیابی (میرزایی، ۱۳۹۴).

جهت اندازه‌گیری ماده خشک، ریشه‌چه و ساقه‌چه به‌طور جداگانه در آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک گردید و وزن آن‌ها با استفاده از ترازو بر حسب گرم تعیین شد. جهت اندازه‌گیری وزن تر، ساقه‌چه آن‌ها قطع گردید. علاوه بر این ریشه‌چه‌ها به آرامی جدا شد و وزن تر آن‌ها با

استفـاده از ترازو برحسب گـــرم تعییـن گـردیـد (Sheng *et al*., 2006).

اندازه‌گیری میزان کاتالاز

آماده‌سازی عصاره برای سنجش آنزیمی: بدین منظور بافت گیاه در شرایط سرد در محلول بافر فسفات با غلظت ۵۰ میلی‌مول به‌همراه یک درصد کلرورسدیم یک مول و یک درصد از1m MEDTA با pH 7.0 هموژن شد. سپس در g۲۰۰۰۰ به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید آنگاه از محلول روئی برای سنجش فعالیت آنزیمی استفاده شد. براساس میزان تجزیه آب اکسیژنه طبق روش آبی (Aeby, 1984) انجام می‌گیرد. بدین منظور محلول واکنش شامل ۱۰۰ میلی‌مول بافر فسفات پتاسیم، ۱۵ میلی‌مول آب اکسیژنه می‌باشد که پس از اضافه‌کردن عصاره نمونه بافت تغییر جذب در اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر ارزیابی می‌گردد (Aeby, 1984) فعالیت آنزیم‌ها بر حسب "واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت" بود

اندازه‌گیری میزان اسید فسفاتاز

محلول بافر استخراج پروتئین از جنین شامل آب مقطر استریل و ۱۰۰ میلی‌مولار تریس با اسیدیته برابر ۷ بود. استخراج پروتئین گیاه‌چه به‌منظور انـدازه‌گیـری آنزیـم فسفـاتـاز اسیـدی بـه‌روش (Lee, 2000) انجام‌گرفت. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم اسید فسفاتاز از روش (Pan & Chen, 1998) استفاده شد. واکنش با افزودن پنج میلی‌مولار پارانیتروفنل فسفات و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم استات بافر با اسیدیته ۵/۴ به ۵ میکرولیتر نمونه استخراجی در اندازه کل ۲۰۰ میکرولیتر شروع می‌شود و این محلول برای هر تکرار آزمایشی به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس به آن ۵۰ میکرولیتر هیدروکسیدپتاسیم یک مولار اضافه گردید. میزان جذب PNP آزاد شده در طول موج ۴۰۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. بعد از محاسبه داده‌های مربوط به هر صفت، انـدازه‌گیـری انفـرادی هر متغیـر را با استفـاده از نرم افزار ۲۴Spss تجزیه کرده و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده کلریدسرب بر صفات وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، آنزیم کاتالاز و آنزیم اسید فسفاتاز در سطح احتمال یک درصد و درصد جوانه‌زنی نهایی، وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه در سطـح پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات ساده کلریدکادمیوم بر صفات آنزیم کاتالاز، آنزیم اسید فسفاتاز در سطح احتمال یک درصد و وزن تر ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و طول ریشه‌چه در سطح احتمال پنج درصد معنـی‌دار بـود. اثـرات متقـابل کلـریدسـرب و کلریدکادمیوم بر صفات وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس سطوح کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر صفات مورد بررسی

Table 1. Analysis of variance of lead and cadmium chloride levels on studied traits

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات M.S						
			درصد جوانه‌زنی germination percentage	وزن تر ریشه‌چه F.W of Root	وزن تر ساقه‌چه F.W of Shoot	وزن خشک ساقه‌چه D. W. of shoot	طول ریشه‌چه Root length	آنزیم کاتالاز Catalase Enzyme	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase
Pb chloride	کلریدسرب	2	181.628*	0.004*	0.048*	0.000092**	5.794**	1.70**	1.296**
chloride Cd	کلریدکادمیوم	3	14.927 ^{ns}	0.002*	0.014 ^{ns}	0.000025*	1.002*	6.40**	4.107**
Pb chloride chloride ×cd	کلریدسرب × کلریدکادمیوم	6	58.541 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.000030**	0.974**	0.130 ^{ns}	0.092 ^{ns}
Error	خطا	24	42.053	0.0001	0.016	0.000008	0.230	0.091	0.062
CV	ضریب تغییرات(٪)	-	7.20	12.55	8.5	15.25	8.5	10.11	13.72

ns ,* و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، درسطح احتمال پنج درصد و یک درصد معنی‌دار

ns * and ** non-significant at 5% and 1% significant

درصد جوانه‌زنی نهایی

تجزیه واریانس اثر کلریدسرب بر درصد جوانه‌زنی نهـایی بیانگـر این موضـوع است که غلظت‌های کلریدسرب بر درصد جوانه‌زنی نهایی گیاه سورگوم تأثیر معنی‌داری داشت، بیش‌ترین مقدار درصد جوانه‌زنی نهایی با۹۳/۸۶ درصد مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدسرب و کم‌ترین مقدار آن با ۸۶/۰۹ درصد مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر بود (جدول دو).

همان‌طور که از نتایج مشخص است آلودگی کلریدسرب بر جوانه‌زنی بذر موثر است وجود سرب در محیط رشد گیاه، جوانه‌زنی دانه را به‌واسطه جذب آب توسط دانه تحت تاثیر قرار نمی‌دهد، چرا که پوشش دانه در مرحله اول جذب آب، زمانی‌که جذب آب نسبتا شدید است نسبت به سرب نفوذناپذیر بود، ولی در مراحل پایانی جذب آب توسط دانه، وقتی که جذب آب کاهش می‌یابد، پوشش دانـه به سرب نفـوذپـذیـرتـر می‌شـود. سـربـی که در مرحلـه پایانی جذب آب به داخل جنیـن نفوذ می‌کند، جوانه‌زنی را به تاخیر می‌اندازد (چراتی و خانلریان، ۱۳۸۷). طی تحقیقات آن (An, 2004) مشخص شد غلظت‌های مختلف سرب بر درصد جوانه‌زنی گیاهان اثرات متفـاوت دارد به‌عنوان مثال درصـد جوانـه‌زنـی در گیـاه ذرت خوشـه‌ای (*Sorghum bicolor*) در حضور $m\ g\ Kg^{-1}$ ۸۰-۶۴۰ سرب در خاک کاهش نشان داد، اما در غلظت‌هـای بالاتـر از ۶۴۰ تا ۱۲۸۰ درصـد جوانـه‌زنـی به تدریـج افـزایش‌یـافت. در دو گیـاه Cucumis sativus و گیاه ذرت *Zea mays* درصـد جـوانـه‌زنـی تغییـر معنـی‌داری در غلظـت $m\ g\ Kg^{-1}$ ۸۰-۱۲۸۰ سـرب نشـان نداد. در گنـدم *Triticum aestivum* حتی درصد جوانه‌زنی افزایش داشت، اما این افـزایـش نسبت بـه گیـاه شـاهـد معنـی‌دار نبـود (An, 2004). بررسی اثر سرب بر جوانه‌زنی در نتایج چراتی و خانلریان (۱۳۸۷) نشان داد که غلظت سرب شامل ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ میکرومول بر لیتر موجب کاهش جوانه‌زنی در هر دو رقم Hyola و PF کلزا گردید. در پژوهشی اثر سمی سـرب و اثـرات تـوام مس و سـالیسیلیک اسیـد بر جوانه‌زنی گیاه ماش پرتو و گوهر مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده درصـد و سـرعت جـوانـه‌زنی در هـر دو رقـم تحت تیمارهای مختلف نیترات سرب ۴و۳،۲،۱ میلی‌مول بر لیتر) نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری ($P< 0.01$) کاهش یافت (لاری‌یزدی و همکاران، ۱۳۸۹).

وزن تر ریشه‌چه

تجزیه واریانس اثر کلریدسرب بر وزن تر ریشه‌چه نشـان‌داد که غلظت‌های کلریدسرب بر وزن تر ریشه-چه گیـاه سورگوم تأثیـر معنـی‌دار داشت، بیش‌ترین مقدار وزن تر ریشه‌چه با متوسط ۰/۰۹۱۶ گرم مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدسرب که یا تیمار ۶۰ میکرومول بر لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت و کم‌ترین مقدار وزن تر ریشه‌چه با متوسط ۰/۰۵۸ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر بود. مقایسه میانگین اثر کلریدکادمیوم بر وزن تر ریشه‌چه نشان داد که غلظت‌های کلریدکادمیوم بر وزن تر ریشه گیاه سورگوم تأثیر معنی‌دار داشت، بیش‌ترین مقدار با میانگین ۰/۰۹۳۳گرم مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با میانگیـن ۰/۰۵۶ گـرم مربـوط به تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر بود (جدول دو).

کاهـش در وزن تـر ممکن است در ارتبـاط با سمیت کلریدکادمیوم باشد. بدین صورت که این ماده سمی می‌تواند ساز و کارهای فیزیولوژیکی معمول را مختل کند و در نهایت از این طریق اثرات منفی بر بیوماس بگذارد. وزن تر و خشک ریشه‌چه به‌دلیل مسمومیت با سرب کاهش می‌یابد. اثر کاهش زیست توده‌ی ریشه و رشد آن در اثر مسمومیت با سرب در گیاهان دیگر نیز گزارش شد (Sharma and Dubey, 2005). برومندجزی و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که افزایش سطح سرب باعث کاهش طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه گیاه کلزا می‌شود. که این نتایج با پژوهش حاضر مطابقت دارد. کـاهش رشـد ناشـی از سـمیت کادمیوم، بـه‌علـت کـاهش فتوسنتز و تنفس، کـاهش سوخت و ساز کربوهیـدرات‌هـا و ایجـاد کلـروز اسـت. ایـن کـاهش در ریشه نسبت به بخـش هـوایی بیش‌تر و محسـوس بـود. رشد یکی از بهترین شاخص‌ها برای ارزیابی پاسخ گیاه به

تنش‌های محیطی است. نتایج این تحقیق در رابطه با کاهش وزن تر در راستای نتایج بهاردواج و همکاران (Bhardwaj *et al*., 2009) بود. وی کاهش در وزن کل و وزن تر گیاه لوبیا را در شرایطی که در خاک حاوی ۱/۵، ۲، ۲/۵ g/Kg کادمیوم رشد کردند، را گزارش کرد. نتایج جهت بررسی اثرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ناشی از آلودگی سرب در ذرت نشان داد که مسمومیت سرب در درجه اول باعث کاهش معنی‌داری در طول وزن تر و خشک ریشه‌چه شد، درحالی‌که تغییر این صفات در اندام هوایی جز در غلظت‌های بالاتر از یک میلی‌مولار معنی‌دار نبود. اندازه‌گیری میزان سرب در ریشه و اندام هوایی نشان داد اولاً میزان جذب سرب متناسب با غلظت سرب محیط افزایش می‌یابد ثانیاً تجمع آن در ریشه به‌طور معنی‌دار بیش‌تر از اندام هوایی بود (حیدری و همکاران، ۱۳۸۴).

وزن تر ساقه‌چه

تجزیه واریانس اثر کلریدسرب بر وزن تر ساقه‌چه نشان داد که غلظت‌های کلریدسرب بر وزن تر ساقه‌چه گیاه سورگوم تأثیر معنی‌داری داشت، بیش‌ترین مقدار وزن تر ساقه‌چه با میانگین ۰/۱۷۳ گرم مربوط به تیمار عدم کاربرد کلریدسرب و کم‌ترین مقدار با متوسط ۰/۰۴۹ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰میکرومول در لیتر بود (جدول دو). در پژوهش حاضر با استفاده از کلریدسرب وزن تر ساقه‌چه کاهش یافت. که این به‌دلیل کاهش انتقال ترکیبات ضروری از ریشه‌هابه اندام هوایی برای رشد گیاه بود. همان‌طور که نتایج وزن تر و خشک ریشه‌چه نشان داد در حضور کلریدسرب رشد ریشه‌ها کاهش یافت. در نتیجه با کاهش حجم ریشه‌ها انتقال ترکیبات ضروری برای رشد به برگ‌ها کاهش یافت، با کاسته شدن از سطح تعرق برگ، فتوسنتز، در نهایت رشد گیاه و وزن تر ساقه نیز کاهش پیدا کرد. وزن تر ریشه و اندام هوایی به‌دلیل مسمومیت با سرب کاهش داشت. اثر کاهش زیست توده‌ی ریشه و رشد آن در اثر مسمومیت با سرب در گیاهان دیگر نیز گزارش گردید (Chao, 2006). سرب موجب کندی و تاخیر رشد و کاهش سطح برگ‌ها شد که این پدیده موجب کاهش سطح تعرق گردید، بنابراین جریان ترکیباتی که باید به سمت ساقه‌ها و اندام‌های هوایی انتقال یابند با کاهش مواجه می‌شوند و همین امر موجب کندی رشد در بخش‌های هوایی می‌شود (Pallavi and Rama, 2005). که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. حضور فلزات سنگین در منطقه ریزوسفر و ورود آن‌ها به گیاه باعث کاهش رشد شد و سوخت و ساز سلولی را برهم می‌زند. بنابراین بر روی میتوکندری، فتوسنتز و مقدار کلروفیل اثر منفی می‌گذارد در نتیجه از میزان رشد گیاه کاسته شد و این امر موجب کاهش وزن اندام هوایی گردید. از سوی دیگر یکی از علت‌های مهم آسیب بافتی در گیاهانی که در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرند، ایجاد تنش اکسیداتیو است. رادیکال‌های اکسیژن عمدتا در کلروپلاست و میتوکندی تولید می‌شوند و با ایجاد آسیب‌های اکسیداتیو بر چربی‌ها، پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها سبب اختلال در سوخت و ساز طبیعی سلول، اختلال در فرآیندهای مهم تنفس و فتوسنتز و کاهش رشد می‌شوند (Mishra *et al*., 2006).

وزن خشک ساقه‌چه

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کلریدسرب بر وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که غلظت‌های کلریدسرب بر وزن خشک ساقه‌چه گیاه سورگوم تأثیر معنی‌داری گذاشت، بیش‌ترین مقدار وزن خشک ساقه‌چه با میانگین ۰/۰۱۴۴ گرم مربوط به تیمار عدم مصرف کلریدسرب و کم‌ترین مقدار وزن خشک ساقه‌چه با متوسط ۰/۰۰۹۵ مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر بود که با تیمار ۶۰ میکرومول بر لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت. مقایسه میانگین اثرات ساده کلریدکادمیوم بر وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که بیش‌ترین مقدار وزن خشک ساقه‌چه با متوسط ۰/۰۱۳۴ گرم مربوط به تیمار۶۰ میکرومول بر لیتر بود و کم‌ترین مقدار وزن خشک ساقه‌چه با میانگین ۰/۰۰۹۶ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر بود (جدول دو). مقایسه میانگین اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که بیش‌ترین مقدار

وزن خشک ساقه‌چه با ۰/۰۱۸ گرم مربوط به تیمار عدم مصرف کلریدسرب و ۶۰ میکرومول بر لیتر کلریدکادمیوم بود و کم‌ترین مقدار وزن خشک ساقه‌چه با ۰/۰۰۱ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم بود (جدول سه). با توجه به نتایج وزن تر ریشه‌چه در حضور کلریدسرب کاهش پیدا کرد. در واقع کلریدسرب با ممانعت از جذب مواد غذایی رشد ریشه‌ها را کاهش داد و انتقال مواد ضروری برای رشد گیاه به اندام‌های هوایی را مختل نمود. در نتیجه رشد اندام‌های هوایی به‌دلیل کاهش موادمغذی ضروری و همچنین تاثیر سرب بر میکروتوبول‌های موجود در سلول‌های مریستمی مانع رشد گیاه شد و با کاهش وزن تر، وزن خشک اندام هوایی نیز کاهش پیداکرد. اما همان‌طور که از نتایج مشخص است کلریدکادمیوم تا حدودی باعث افزایش وزن اندام هوایی شد. شاید بتوان این افزایش را به تجمع این فلز در اندام گیاهی برای مقابله با تنش فلزات نسبت داد و یا اینکه برای رشد گیاه مقداری کلریدکادمیوم مورد نیاز است، همان‌طور که نتایج اثرات متقابل نشان داد در شرایط عدم استفاده از کلریدسرب و استفاده از کلریدکادمیوم به‌مقدار ۶۰ میکرومول در لیتر توانست بالاترین میزان وزن خشک ساقه‌چه را به‌دست آورد. نتایج به‌دست آمده از آزمایش جان و همکاران (John *et al*., 2009) در گیاه کلزا کاهش رشد را در نتیجه تنش سمیت سرب تایید می‌کند. کاهش رشد گیاه در نتیجه کاهش پتانسیل آبی، ممانعت از جذب مواد مغذی و تنش‌های ثانویه‌ای چون تنش اکسیداتیو است. علاوه برآن سرب آرایش میکروتوبول‌ها را در سلول‌های مریستمی برهم می‌ریزد که خود مانعی برای رشد محسوب می‌شود (Eun *et al*., 2000). محمدزاده و همکارن (۱۳۸۹) آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار و با تیمارهایی شامل فلزات کادمیوم، نیکل، سرب و مس هر کدام در چهار سطح ۱۵، ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ ppm و همچنین تیمار شاهد (آب مقطر) انجام دادند. نتایج آزمایش نشان داد که تیمار نیکل در غلظت ppm ۱۵ سبب افزایش معنی‌دار طول و وزن ساقه‌چه نسبت به تیمار شاهد گردید. همچنین بیش‌ترین طول ریشه‌چه مربوط به تیمار ۴۵ و۶۰ ppm فلز سرب بود. کم‌ترین طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز مربوط به تیمار ۶۰ppm کادمیوم و مس بود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

طول ریشه‌چه

اثرات ساده کلریدسرب بر طول ریشه‌چه نشان داد که غلظت‌های کلریدسرب بر طول ریشه‌چه گیاه سورگوم تأثیر معنی‌داری داشت، بیش‌ترین مقدار طول ریشه‌چه با متوسط ۳/۳۵۰ میلی‌متر مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدسرب و کم‌ترین مقدار طول ریشه‌چه با ۱/۹۹۱ میلی‌متر مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر بود. مقایسه میانگین اثر کلریدکادمیوم بر طول ریشه‌چه نشان داد که غلظت‌های کلریدسرب بر طول ریشه‌چه گیاه سورگوم تأثیر معنی‌داری گذاشت، بیش‌ترین مقدار با متوسط ۳/۰۵۶ میلی‌متر مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار طول ریشه‌چه با ۲/۲۶۶ میلی‌متر مربوط به تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر بود که با تیمارهای ۶۰ و ۳۰ میکرومول در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول دو). مقایسه میانگین اثر متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر طول ریشه‌چه نشان داد که بیش‌ترین مقدار طول ریشه‌چه با چهار میلی‌متر مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدسرب و کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار طول ریشه‌چه با ۱/۸ میلی‌متر مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و ۹۰میکرومول کلریدکادمیوم بود (جدول سه). با توجه به نتایج به‌دست آمده در حضور فلزات سنگین از جمله کلریدسرب و کلریدکادمیوم طول ریشه‌چه کاهش پیدا کرد. به‌نظر می‌رسد که فلزات سنگین ویسکوزیته و قابلیت ارتجاع دیواره سلولی ریشه را کاهش می‌دهند و موجب کاهش رشد طولی ریشه می‌شوند. سرب در ریشه به شکل کمپلکس‌های فلز سنگین- تیول در سلول‌های ریشه درمی‌آید. بازدارندگی نرخ رشد سلول در مرحله طویل شدن، توقف غیرقابل برگشت فعالیت پمپ پروتونی در نتیجه سمیت سرب از عوامل موثر در کاهش رشد

گیاه فوق‌الذکر بود. یک دلیل برای کاهش رشد گیاهچه‌ها در اثر تیمار با فلزات سنگین، که در این تحقیق نیز بارز بود، می‌تواند در نتیجه کاهش سلول‌های مریستمی در ناحیه غشای سلولی و برخی آنزیم‌ها در کوتیلدون و آندوسپرم باشد. سلول‌ها فعال می‌شوند و شروع به ذخیره غذا می‌کنند. این غذا به فرم محلول تبدیل و به‌واسطه آنزیم آمیلاز، که نشاسته را به قند تبدیل می‌کند و عمل پروتئازی بر روی پروتئین‌ها دارد، به ریشه‌های اولیه و نوک ریشه‌ها منتقل می‌شود. بنابراین وقتی فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک به‌واسطه عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرد، غذا به ریشه‌های اولیه و اندام هوایی نمی‌رسد و در نتیجه طول گیاهچه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kabir *et al.*, 2008). این در حالی است که بعضی از محققان دیگر بیان کردند که کاهش در طول ریشه در اثر فلزات سنگین ممکن است به‌دلیل دخالت این عناصر در فرآیند تقسیم سلولی و در ادامه آن انحراف کروموزومی و میتوز غیرطبیعی باشد (Radha *et al.*, 2010). نتایج این تحقیق نشان داد مسمومیت با سرب در درجه اول بازدارنده رشد ریشه است، که به‌دلیل تجمع زیاد سرب در ریشه و اثر سمی آن است. ابقای سرب در ریشه‌ها به پیوند آن با محل‌های قابل تعویض در دیواره سلولی و رسوب کربنات سرب در دیواره سلولی بستگی دارد. این نتایج در مطالعات انجام گرفته بر روی این گیاه و گیاهان دیگر نیز مشاهده شد. بررسی‌ها نشان داد که در بخش‌هایی از دیواره که ضخامت کم‌تری دارد مانند محل پلاسمودسماتا حجم بیش‌تری از سرب تجمع می‌یابد. بنابراین می‌توان چنین استدلال کرد که سرب انباشته شده بر دیواره موجب بروز شکاف در دیواره شد و قدرت ارتجاعی و الاستیکی دیواره را به‌شدت کاهش داد و این پدیده موجب توقف رشد سلول و متعاقبا توقف رشد اندام گردید (Ruley *et al.*, 2006). نتایج به‌دست آمده از آزمایش جان و همکاران (John *et al.*, 2009) در گیاه کلزا، کاهش رشد را در نتیجه تنش سمیت سرب تایید می‌کند. کاهش رشد گیاه در نتیجه کاهش پتانسیل آبی، ممانعت از جذب مواد مغذی و تنش‌های ثانویه‌ای چون تنش اکسیداتیو است. علاوه برآن سرب آرایش میکروتوبول‌ها را در سلول‌های مریستمی برهم می‌ریزد که خود مانعی برای رشد محسوب می‌شود (Eun *et al.*, 2000). سرب باعث تخریب میکروتوبول‌هایی می‌شود که در میتوز دخالت دارند و در نتیجه باعث توقف سلول در مرحله پیش متافازی شد (Yang, 2000). قسمت اعظم سرب جذب شده در دیواره سلول‌های ریشه رسوب کرد، موجب ایجاد در دیواره شد و در نتیجه از رشد طولی ریشه ممانعت نمود (Elloumi *et al.*, 2007). ایرانبخش و همکارن (۱۳۸۹) پژوهشی به‌منظور بررسی تاثیر کلریدروی و کلریدسرب بر جوانه‌زنی و رشد دانه رست‌های سویا انجام دادند. نتایج نشان داد که طول ریشه در گیاهان تحت تیمار با سرب کاهش نشان داد که این کاهش تنها در غلظت‌های بالای سرب (۴/۵ و ۶/۵ میلی‌مول سرب) از نظر آماری معنی‌دار بود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. نتایج تحقیق بهمنی و همکاران (۱۳۹۱) بر تغییرات جوانه‌زنی، رشد ریشه و ساقه در ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا تحت تنش کادمیوم نشان داد که کادمیوم به عنوان یک عامل بازدارنده بر رشد طولی ریشه و ساقه بود و اثر کادمیوم بر رشد طولی ریشه مشهودتر از اندام هوایی بود. این یافته‌ها با نتایج بسیاری از تحقیقات انجام شده در رابطه با اثر کادمیوم بر محدودیت و کاهش رشد گونه‌های گیاهی مطابقت دارد (Sandalio *et al.*, 2001) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. میهالسکو و همکاران (Mihalescu *et al.*, 2010) بیان کردند که تجمع کادمیوم باعث کاهش طول ریشه و ارتفاع در ذرت می‌شود. به‌علاوه آنها استنباط کردند که این کاهش به‌طور مستقیم متناسب با افزایش تجمع فلزات در گیاه بود. همچنین نتایج این تحقیق با یافته‌های سایر محققان که کاهش طول ریشه در اثر تیمار با کادمیوم را در لوبیا (Bhardwaj *et al.*, 2009) و یونجه (Aydinalp and Marinova, 2009) را گزارش کردند، مطابقت دارد. تحقیقات بر گندم نشان داد که فلزات سنگین ویسکوزیته و قابلیت ارتجاع دیواره سلولی ریشه را کاهش می‌دهد، موجب کاهش رشد طولی ریشه می‌گردد (Ma, 2004). مقدار فلز سرب

در ریشه و اندام هوایی در ارتباط هستند. به‌طوری‌که مقدار سربی که به اندام هوایی می‌رسد بستگی به ظرفیت و توانایی ریشه برای نگهداشتن یون فلزی و نیز توانایی اندام هوایی برای استفاده از سولفور احیا برای باندشدن به فلز دارد در نتیجه دو بخش گیاه به تجمع فلز سنگین پاسخ‌های متفاوت می‌دهد. گزارش گردید که کاهش انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی نتیجه باقیماندن سرب به‌شکل کمپلکس‌های فلز سنگین- تیول در سلول‌های ریشه است (Yanqun *et al*., 2005). بازدارندگی نرخ رشد سلول در مرحله طویل شدن، توقف غیرقابل برگشت فعالیت پمپ پروتونی در نتیجه سمیت سرب از عوامل موثر در کاهش رشد گیاه ذکر شد (John *et al*., 2009).

آنزیم کاتالاز

اثر کلریدسرب بر آنزیم کاتالاز نشان داد که غلظت‌های کلریدسرب بر آنزیم کاتالاز گیاه سورگوم تأثیر معنی‌داری داشت، بیش‌ترین مقدار آنزیم کاتالاز با۳/۳۵۷ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر استفاده از کلریدسرب و کم‌ترین مقدار آنزیم کاتالاز با ۲/۶۰۴ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار بدون استفاده از کلریدسرب حاصل شد. مقایسه میانگین اثرات ساده کلریدکادمیوم بر آنزیم کاتالاز نشان داد بیش‌ترین مقدار با متوسط ۳/۸۵۶ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر استفاده از کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۱/۹۱ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار بدون استفاده از کلریدکادمیوم به‌دست آمد (جدول دو). همان‌طور که از نتایج مشخص است در حضور تنش فلزات سنگین کلریدسرب و کلریدکادمیوم، آنزیم کاتالاز افزایش یافت. کاتالاز آنزیمی است که فعالیت آن در برابر تنش‌های اکسیداتیو تحت تاثیر فلزات سنگین در گیاهان دارای سازوکار دفاعی افزایش می‌یابد. در واقع در شرایط تنش حذف مقادیر اضافی و دخالت در تنظیم ظرفیت مقادیر مناسب از پراکسید هیدروژن سلولی به عهده آنزیم کاتالاز است. به‌طورکلی در شرایط تنش فلزات سنگین با حضور کلریدسرب و کلریدکادمیوم فعالیت‌های گیاه دچار اختلال می‌گردد. آنزیم کاتالاز برای از بین بردن اثرات پراکسیدهای سمی حاصل از این فلزات فعالیت خود را افزایش می‌دهد. همان‌طور که از نتایج مشخص است بیش‌ترین میزان آنزیم کاتالاز در تیمارهای با بالاترین میزان استفاده از کلریدسرب و کلریدکادمیوم به‌دست آمد. نتایج ایرانبخش و همکارن (۱۳۸۹) با تاثیر کلریدروی و کلریدسرب بر جوانه‌زنی و رشد دانه رست‌های سویا نتایج نشان داد که میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان تحت تیمار با سرب افزایش داشت. در آزمایش انجام شده توسط ورما و همکاران (Verma *et al*., 2003) در دانه رست‌های گیاه برنج نشان داد افزایش سرب تا ۱۰۰۰ میکرومول باعث کاهش فعالیت کاتالاز در ریشه شد که در تقابل با نتایج این تحقیق است. آزمایش محققان نیز افزایش کاتالاز را در گیاه باقلا گزارش کردند (Schutzendubl and Poll, 2002).

آنزیم اسید فسفاتاز

اثرات کلریدسرب بر آنزیم اسید فسفاتاز نشان داد که غلظت‌های کلریدسرب بر آنزیم اسید فسفاتاز گیاه سورگوم تأثیر معنی‌داری داشت، بیش‌ترین مقدار آنزیم اسید فسفاتاز با میانگین ۲/۱۵ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار بدون استفاده از کلریدسرب و کم‌ترین مقدار آنزیم اسید فسفاتاز با متوسط ۱/۴۹ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر حاصل شد. مقایسه میانگین اثرات ساده کلریدکادمیوم بر آنزیم اسید فسفاتاز نشان داد بیش‌ترین مقدار آنزیم اسید فسفاتاز با ۲/۶۱ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار عدم مصرف کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار آنزیم اسید فسفاتاز با ۱/۰۹ واحد بین المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر به‌دست آمد (جدول دو).

باتوجه به نتایج اثرات ساده کلریدسرب و کلریدکادمیوم هرکدام به‌تنهایی سبب کاهش میزان آنزیم فسفاتاز می‌شوند. درواقع می‌توان احتمال داد که کلریدسرب و کلریدکادمیوم با اختلال در سوخت و ساز منجر به بازدارندگی فعالیت آنزیم فسفاتاز شد. دیانی و رئیسی (۱۳۸۵) کاهش معنی‌دار فعالیت

آنزیم‌های فسفاتاز و اوره آز را در حضور سطوح ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک گزارش نمودند. برطبق گزارش آنان، کاهش فعالیت آنزیمی در خاک‌های آلوده به کادمیوم سبب مختل شدن چرخه عناصرغذایی، به‌ویژه فسفر و نیتروژن شد. تعدادی از راه‌کارها که سبب سازگاری گیاه به تنش‌ها می‌شوند بر رشد گیاه اثر می‌گذارند. در طی بروز این تنش‌ها گیاه خود را به‌وسیله سازوکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی سازگار می‌کند (Sarapatka *et al*., 2004). سازگاری در این تنش‌ها با تنظیم متابولیت‌ها که منجر به تغییر آنزیم‌های مختلف می‌شود در ارتباط است (Ehsanpour and Amini, 2003). در میان این آنزیم‌ها فسفاتازها مهم‌ترین آنزیم‌هایی هستند که فرآیندهای فیزیولوژیک مثل تنظیم فسفات محلول را بر عهده دارند (Shrama *et al*., 2004) آنزیم فسفاتاز در فضای درون و برون سلول فعالیت دارد و نقش آن دفسفریلاسیون فسفات آلی و تبدیل آن به فسفات معدنی است. همچنین فسفات یک ترکیب ضروری در ساختار مولکول‌های DNA، RNA، فسفولیپیدهای دیواره سلولی، ATP و اجسام فیتین در بذر جوانه نزده است (Shrama *et al*., 2005). فسفاتازها با توجه به PH بهینه برای فعالیت خود به فسفاتاز اسیدی و قلیایی تقسیم می‌شوند. آنزیم‌های فسفاتاز نقش فیزیولوژیک مهمی در سازگاری بذرهای در حال جوانه‌زنی در شرایط متغیر محیطی دارند (Lee, 2000).

لیو و همکاران (Liu *et al*., 2003) گزارش کردند که تحت تنش شوری در ریشه و برگ سویای زراعی و وحشی فعالیت آنزیم فسفاتاز افزایش یافت. آن‌ها نقش این آنزیم‌ها را کنترل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و ایجاد سیگنال‌های مؤثر در تحمل به تنش داشتند. در نتیجه اگر میزان این آنزیم در حضور استفاده از کلریدسرب و کلریدکادمیوم کاهش پیدا کند، می‌توان استدلال کرد که گیاه در مقابل تنش‌ها آسیب‌پذیر بود.

نتیجه‌گیری کلی

برطبق نتایج حاصله می‌توان نتیجه گرفت افزایش غلظت کلریدسرب در محیط رشد بذر موجب کاهش صفات درصد جوانه‌زنی نهایی، وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، آنزیم فسفاتاز و و افزایش آنزیم کاتالاز گردید. افزایش کلریدکادمیوم در محیط رشد بذر موجب کاهش وزن تر ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، آنزیم فسفاتاز و افزایش آنزیم کاتالاز شد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ساده سطوح کلرید سرب و کلرید کادمیوم روی صفات مورد بررسی

Table 2. Comparison of mean simple effects of lead and chloride levels of cadmium on studied traits

Treatment	تیمار	درصد جوانه‌زنی نهایی germination percentage %	وزن تر ریشه‌چه F. weight Root (g)	وزن تر ساقه‌چه F.weigh t Shoot (g)	وزن خشک ساقه‌چه D. weight of shoot (g)	طول ریشه‌چه Root length (mm)	آنزیم کاتالاز Catalase Anzime (U.gr.Fw)	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase (U.gr.Fw)
Lead chloride	کلرید سرب							
Control	شاهد	93.86^{a}	0.0916^{a}	0.173^{a}	0.0144^{a}	3.350^{a}	2.60^{c}	2.15^{a}
60 µmol/L	۶۰میکرومول در لیتر	94.24^{ab}	0.088^{a}	0.093^{ab}	0.0097^{b}	2.41^{b}	2.98^{b}	1.83^{b}
120 µmol/L	۱۲۰میکرومول در لیتر	86.09^{b}	0.058^{b}	0.049^{b}	0.0095^{b}	1.991^{c}	3.35^{a}	1.49^{c}
Cadmium chloride	کلرید کادمیوم							
Control	شاهد	91.44^{a}	0.093^{a}	0.094^{a}	0.010^{ab}	3.055^{a}	1.91^{d}	2.61^{a}
30 µmol/L	۳۰میکرومول در لیتر	89.61^{a}	0.082^{ab}	0.081^{a}	0.011^{ab}	2.522^{b}	2.76^{c}	2.12^{b}
60 µmol/L	۶۰میکرومول در لیتر	88.50^{a}	0.086^{ab}	0.164^{a}	0.013^{a}	2.500^{b}	3.39^{b}	1.48^{c}
90 µmol/L	۹۰میکرومول در لیتر	90.71^{a}	0.056^{b}	0.081^{a}	0.009^{b}	2.266^{b}	3.85^{a}	1.09^{d}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترکند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Averages that at least one letters in common, a significant difference in Duncan's multiple range test have five percent

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر صفات مورد بررسی

Table 3. Comparison of interactions of lead and cadmium chloride levels on the studied traits

Treatment	تیمار	طول ریشه‌چه Root length (mm)	وزن خشک ساقه‌چه D.W of shoot (g)
Without the use of lead chloride × without the use of cadmium chloride	عدم استفاده از کلریدسرب × عدم استفاده از کلریدکادمیوم	4^{a}	0.01^{c}
Without the use of lead chloride × 30 micromoles per liter cadmium chloride	عدم استفاده از کلریدسرب × ۳۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم	3.9^{ab}	0.014^{b}
Without the use of lead chloride × 60 cadmium chloride micromoles per liter	عدم استفاده از کلریدسرب× ۶۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم	3.58^{ab}	$.018^{a}$
Without the use of lead chloride × 90 micromoles per liter cadmium chloride	عدم استفاده از کلریدسرب × ۹۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم	2.3^{bc}	$.015^{b}$
60 micromoles per liter of lead chloride × without the use of cadmium chloride	۶۰ میکرومول در لیترکلریدسرب × بدون استفاده از کلریدکادمیوم	3^{b}	0.011^{bc}
60 micromoles per liter of lead chloride, × 30 micromoles per liter cadmium chloride	۶۰ میکرومول در لیترکلریدسرب ×۳۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم	2^{c}	0.012^{bc}
60 micromoles per liter of lead chloride, × 60 micromoles per liter cadmium chloride	۶۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب ×۶۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم	2^{c}	0.012^{bc}
60 micromoles per liter of lead chloride, × 90 micromoles per liter cadmium chloride	۶۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب ×۹۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم	2.66^{bc}	0.003^{de}
120 micromoles per liter of lead chloride × without the use of cadmium chloride	۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب × بدون استفاده از کلریدکادمیوم	2.1^{bc}	0.009^{cd}
120 micromoles per liter of lead chloride, × 30 micromoles per liter cadmium chloride	۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب × ۳۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم	1.8^{cd}	0.008^{d}
120 micromoles per liter of lead chloride, × 60 micromoles per liter cadmium chloride	۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب ×۶۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم	2.3^{bc}	0.009^{cd}
120 micromoles per liter of lead chloride, × 90 micromoles per liter of cadmium chloride	۱۲۰ میکرومول در لیترکلریدسرب × ۹۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم	1.6^{d}	0.001^{e}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترکند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Averages that at least one letters in common, a significant difference in Duncan's multiple range test have five percent

منابع Refrences

امینی، ف.، بلوچی، ح.ر. و موحدی دهنوی، م. ۱۳۹۱. اثر نیترات کادمیم و نیکل بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه لوبیا چیتی رقم صدری.Vulgaris Phaseolus L ، پنجمین همایش ملی حبوبات.

ایرانبخش، ع.ر.، مجد، ا. و نقوی، ف. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر روی و کلریدسرب بر جوانه‌زنی و رشد دانه رست‌های سویا، فصلنامه پژوهش‌های علوم گیاهی، شماره پیاپی ۲۰، سال پنجم، شماره ۴، زمستان.

بهمنی، ر.، بی‌همتا، م.ر.، حبیبی، د. و فروزش، پ. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات جوانه‌زنی، رشد ریشه و ساقه در ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا تحت تنش کادمیوم، مجله زارعت و اصلاح نباتات جلد ۸، شماره ۴، زمستان - ۱۵۵-۱۴۵.

چراتی آرائی،ع. و خانلریان خطیری، م. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر سرب بر جوانه‌زنی، مقدار پروتئین و پرولین و ارزش تحمل به سرب در دو رقم کلزا. علوم محیطی سال پنجم، شماره سوم، صفحه ۵۲-۴۱

قلیچ، س.، زرین کمر، ف. و نیکنام، و. ۱۳۹۴. بررسی میزان انباشتگی سرب و تأثیر آن بر فعالیت آنزیم پراکسیداز، محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در مرحله جوانه‌زنی در گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.)، مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، جلد ۲۸ ، شماره ۱.

کریمی، ن.، خان احمدی، م. و مرادی، ب. ۱۳۹۲. اثر غلظت‌های مختلف سرب بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه کنگرفرنگی، مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، جلد بیستم، شماره اول.

لاری‌یزدی، ح.، خرسندی، س. و امیری، ح. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر سرب و سالیسیلیک اسید بر روند جوانه‌زنی دو رقم ماش سبز *Vigna radiata* (L)WILEZEK پرتو و گوهر، (دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار (فرصت‌ها و چالش‌های پیشرو)، شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، http://www.civilica.com/Paper-NSASD02-NSASD02_218.html

محمدزاده، آ.، توکلی، م. و چاییچی، م.ر. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر تنش فلزات سنگین کادمیوم، نیکل، مس و سرب بر جوانه‌زنی و رشد گیاه‌چه جو، اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم، اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، http://www.civilica.com/Paper-SACP01-SACP01_251.html

دیانی، ل. و رئیسی، ف. ۱۳۸۵. فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و اوره آز در یک خاک آلوده به کادمیوم. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، صفحات ۱۱۳-۱۱۴.

میـــرزایی، م.، قوشچـــی، ف. و عزیزی، پ. ۱۳۹۴. اثر پرایمینگ بتائین گلایسین بر خصوصیات جوانه‌زنی و مورفوفیزیولوژیک لوبیا قرمز رقم درخشان تحت تنش شوری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین پایان نامه کارشناسی ارشد.

Alvarez-Ayuso, E. 2008. Cadmium in soil-plant systems: an overview. International Journal of Environment and Pollution, 33(2-3): 275-291.

Aeby, H. 1984. Catalase in vitro. Methods Enzymol. 105, 121–126.

An, Y.J., Kim, Y.M., Kwon, T.I., Jeong, S.W. 2004. Combined effect of copper, cadmium, and lead upon Cucumis sativus growth and bioaccumulation. Sci. Total Environ. 326: 85 93.

Aydinalp, C., and Marinova, S. 2009. The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago Sativa*). Bulg. J. Agri. Sci., 15 (4), 347-350.

Bhardwaj, P., Chaturvedi, A.K., and Prasad, P. 2009. Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiological and biochemical attributesofPhaselous vulgaris l. Nature and Science. 7 (8): 63-75.

Chao, L., Xiong, Z.T., Geng, B. 2006. Phytotoxic effects of copper on nitrogen metabolism and plant growth in *Brassica pekinensis* Rupr, Ecotoxicol. Environm. Safety, Vol, 64: 273-280.

Ehsanpour, A.A., and Amini, F. 2003. Effect of salt and drought stress on acid phosphatase activities in alfalfa (*Medicago sativa*) explants under in vitro culture. African Journal of Biotechnology, 2, 133-135.

Elloumi, N., Ben, F., Rhouma, A., Ben, B., Mezghani, I., Boukhris, M. 2007. Cadmium induced growth inhibition and alteration of biochemical parameters in almond seedlings grown in solution culture. Acta Physiol. Plant. 29: 57-62.

Eun, S.O., Youn, H.S., Lee, Y. 2000. Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of Zea mays. Physiol. Plant. 103: 695-702.

FAO, 2014. Production Yearbook: FAO, Rome

John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., Sharma, S. 2009. Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by Brassica juncea L. International Journal of Plant Production. 3 (3): 65-75.

Kabir, M., Iqbal, M.Z., Shafigh, M., Faroogi, Z.R. 2008. Reduction in germination and seedling growth of Thespesiapopulnea L. caused by lead and cadmium treatments. Pak. J. Bot., 40 (6): 2419-2426.

Lee, T.M. 2000. Phosphate starvation induction of acid Phosphatase in Ulva Lactuca L. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 39, 29-32.

Lin, C.C., Kao, CH. 2000. Effect of NaCl stress on H_2O_2 metabolism in rice leaves, Plant Growth Regul. 30: 151-/155

Liu, P.Y., Gan, T., Warkentin, G., and McDonald, C. 2003. Morphological plasticity of chickpea in a semiarid environment. Crop Science 43:426-429.

Mihalescu, L., Mare-Rosca, O.E., Marian, M., and Blidar, C.F. 2010. Research on the growth intensity of the Zea mays L. plantlets aerial parts under Cadmium treatment. AnaleleUniversitatii din Oradea, Ed. Universitatii din Oradea, Tom XVII/1. ISSN 1224 – 5119, pp: 147-151.

Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, P.D. 2006: Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in Baccopa monnieri L. Plant Physiol. Biochem. 44, 25-37.

Pallavi, Sh., Rama, Sh.D. 2005. Lead toxicity in plants.Braz J Plant Physiol, Vol,17, No, 1,15-22

Pan, S.M., Chen. Y.R. 1998. The effects of drought stress on acid phosphatase activity of Zea mays seedling. Botanical Bulletin of Academia Sinca, 20, 33- 38.

Radha, J., Srivastava, S., Solomon, S., Shrivastava, A. K., Chandra, A. 2010. Impact of excess zinc on growth parameters cell division, nutrient accumulation, photosynthetic pigments and oxidative stress of sugarcane (*Sac charumspp*). Acta Physiol. Plant, 32: 979-986.

Ruley, A.T., Sharma, N.C., Sahi, S.V., Singh, S.R., Sajwan, K.S. 2006. Effects of lead and chelators on growth, photosynthetic activity and Pb uptake in Sesbania drummondii grown in soil. Environmental Pollution 144, 11e18.

Sandalio, L.M., Dalurzo, H.C., Gomes, M., Remero-Puertas, M.C., and delRio, L.A. 2001. Cadmiuminduced changes in the growth and oxidative metabolism ofpeaplants. J. Exp. Bot. 52:2115-2126

Sarapatka, B., Dudova, L., and Kroskova, M. 2004. Effect of pH and phosphate supply on acid phosphatase activity in cereal roots. Biologia Bratislova, 59, 127-131.

Schützendübel, A., Polle, A. 2002. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. J. Exp. Bot., 53: 1351 1365.

Shafiq, M., Iqbal, M. Zafar, M. 2008. Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of Leucaena leucocephala, Sci. Environ. Manage. September, Vol. 12(2) 61 – 66

Sharma, A.D., Thakur, M., Rana, M., and Singh, K. 2004. Effect of plant growth hormones and abiotic stresses on germination, growthand phosphates activities in *Sorghum biocolor* L. Moench seeds. African Journal of Biotechnology, 6, 308-312.

Sharma, P., Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants.Braz J Plant Physiol, 17(1): 35- 52

Sheng, X.F., Xia, J.J. 2006. Improvement of rape (*Brassica napus*) plant growth and cadmium uptake by cadmium-resistant bacteria. J ChemospHere;64: 1036–1042

Verma, S.S., Verma, U., and Tomer, R.P.S. 2003. Studies on seed quality parameters in deteriorating seeds in Brassica (*Brassica campestris*). Seed Sci. Technol. 31: 389-396.

Yanqun, Z., Yuan, L., Jianjun, T.C., Haiyan, C. Li. Q., Schvartz, C. 2005. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead zinc mining area in Yunnan, China, Environ. Int. 31: 755 762.