بررسی اثر آلودگی سرب و کادمیوم برجوانه‌زنی و ویژگی‌های بنیه بذری گندم رقم سیوند

The effect of lead and cadmium contamination on germination and grain characteristics of wheat cultivar Sivand

حسن آقایی[۱]، پورنگ کسرایی[۱*] و محمد نصری[۲]

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین- پیشوا، ورامین، ایران.
۲- مرکز تحقیقات فنآوری‌های نوین تولید غذای سالم، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، تهران، ایران.

نویسنده مسوول مکاتبات: drkasraie@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۲۴

چکیده

به‌منظور بررسی اثر آلودگی سرب و کادمیوم برجوانه‌زنی و ویژگی‌های بنیه بذری گندم رقم سیوند، آزمایشی در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی واحد ورامین -پیشوا، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی عبارتند از: کلرید سرب در سه سطح (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میکرومول در لیتر) و کلرید کادمیوم در چهار سطح (صفر،۳۰، ۶۰ و ۹۰ میکرومول در لیتر) بود. اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر صفات آنزیم کاتالاز و فسفاتاز در سطح احتمال پنج درصد و بر صفات وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه چه، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم نشان داد که در وزن تر ریشه، بیش‌ترین مقدار با ۰/۶۹۴گرم مربوط به تیمار شاهد و شاهد و کم‌ترین مقدار با ۰/۲۶۴ گرم مربوط به تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم بود، بیش‌ترین مقدار وزن تر ساقه‌چه با ۰/۸۵۲گرم از تیمار شاهد و شاهد و کم‌ترین مقدار با ۰/۴۲۳ گرم از تیمار ۱۲۰میکرومول در لیتر کلرید سرب و شاهد به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار وزن خشک ساقه‌چه با۰/۱۲۲ گرم از تیمار شاهد و ۹۰ میکرومول در لیتر مصرف کلرید کادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۰۵۸ گرم از تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم حاصل شد. بیش‌ترین مقدار طول ریشه‌چه با ۱۵میلی‌متر به تیمار بدون استفاده از کلرید سرب و کلرید کادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۳/۳۳ میلی‌متر به تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول کلرید کادمیوم اختصاص یافت، بیش‌ترین مقدار آنزیم کاتالاز با۴/۹۷ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۲/۶ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به عدم مصرف کلرید سرب و عدم مصرف کلرید کادمیوم بود. بالاترین میزان آنزیم اسید فسفاتاز با۳/۴۶واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و عدم مصرف کلرید کادمیوم و پایین‌ترین میزان با ۱/۲۶واحد بین‌اللملی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب × استفاده به‌مقدار۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم حاصل شد. با توجه به نتایج بهترین عملکرد در تیمارهای عدم مصرف کلرید سرب و عدم مصرف کلرید کادمیوم بود. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که گیاه گندم نسبت به فلزات سنگین حساس است و حضور فلزات سنگین موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود.

واژگان کلیدی: کلرید سرب، کلرید کادمیوم، گندم، جوانه‌زنی، رقم سیوند

مقدمه

گندم یکی از گیاهان باارزش زراعی است که تنوع، سازگاری بالا و ارزش غذایی فراوانش، آن را در ردیف مهم‌ترین گیاهان زراعی جهان قرارداده است، کلیه قسمت‌ها اعم از دانـه و شاخـه و برگ گنـدم استفـاده می‌شود و در تغذیه انسان (۷۵-۷۰درصد) و تغذیه دام و طیور (۲۵-۲۰درصد) دارد. این گیاه تا ارتفاع ۳۱۱۱ متر از سطح دریا کشت می‌شود. یکی از مهم‌ترین مراحل اولیه رشد هر گیاه از جمله گندم مرحله جوانه‌زنی است. جوانه‌زنی شامل وقایعی است که با جذب آب تـوسط بـذر خشک آغـاز می‌شـود و با طـویل شـدن محورهای جنینی خاتمه می‌یابد. از نظر کشاورزی و از جنبه زراعی، جوانه‌زنی با قرارگرفتن بذر درون خاک مرطوب آغاز و با ظهور گیاه جوان از خاک و خودکفا شدن خاتمه می‌یابد. جوانه‌زنی بذر یکی از مراحل زیستی و تعیین کننده در چرخه رشدی گونه‌های گیاهی است زیرا تضمین کننده استقرار موفق گیاه و عملکرد نهایی آن است (Zare *et al*., 2006).

از دیـدگاه جهـانی خـاک پس از آب و هـوا سومین جزو عمده محیط زیست انسان تلقی می‌شود. خاک علاوه بر آن‌که پایگاه موجودات خشکی زی است، محیط منحصـر به فـردی برای انواع گیاهان به‌شمـار 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 به خطر 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 مقایسـه با فعالیت‌های انسـان از جملـه احداث کارخانجـات صنعتی، استخـراج معـادن، استفـاده از آب‌های آلوده و پساب‌های صنعتی در کشاورزی استفـاده از آفتکش‌ها و علفکش‌هـا، مصرف بی‌رویـه کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب دارای اهمیت کمی می‌باشـد. سرب یکـی از مهم‌تریـن عناصر سنگیـن با ماندگاری اثر سمـی طولانی شناخته گردید. قرارگرفتن در معـرض آن به‌علت ماهیت سمـی آن باعث وقـوع نگرانی بزرگی در طول عمر سیستم‌های بیولوژیکی شد. منابع عمده سرب در خاک معمولا مشتق از سنگ بستر، مواد اولیه از معادن سرب، عملیات ذوب، استفاده از آرسنات سرب و استفاده از تترامتیل سرب به‌عنوان ماده افزودنی ضدخوردگی به بنزین است. سرب بر خلاف 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 (Rudolf *et al*., 2012).

سرب و کادمیوم باعث کاهش جوانه‌زنی بذر و رشد، فروپاشـی سریع موادغذایـی ذخیره شـده در بـذر و تغییرات خواص نفوذپذیری غشای سلولی در بذر گیاه *Leucaena leucocephala* (گیاهی از خانواده بقولات در مناطق استوایی) شد (Shafiq *et al*., 2008)؛ همچنین مشخص شد که سرب و کادمیوم باعث کاهش جوانه‌زنی بذور گل پریوش و همچنین کاهش فعالیت آمیـلاز و پـروتئـاز گـردیـد (Pandey *et al*., 2007). محمدزاده و همکارن (۱۳۸۹) آزمایشی 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 کـه تیمـار نیکـل در غلظت ۱۵ ppm سبب افـزایش 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 ۶۰ppm کادمیوم و مس بود.

در پژوهشی تأثیر فلز سرب بر گیاه یونجه در مرحله جوانه‌زنی شد، بدین منظور دانه رست‌های هفت روزه یونجه در محیط هیدروپونیک تحت تیمار غلظت‌های صفر، ۱۲۰، ۲۴۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار سـرب قرارگرفتند و پس از ۱۰ روز بررسی‌های ریخت شناختی 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 داشت. میـزان تولیـد پراکسیـد هیدروژن و مالـون دی آلدهیـد 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 هوایـی افـزایش نشـان داد (قلیـچ و همکاران، ۱۳۹۴). محققـان در مطـالعه تأثیـر غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر فلزات سنگین کادمیوم و سولفات مس بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های آتریپلکس بررسی شد، کادمیوم بر درصد و سرعت جوانه زنی و سولفات مس بر درصـد جوانه‌زنی تأثیـر معنی‌دار نداشتنـد، اما موجب کاهش رشد گیاه‌چه شدند، فلزات سنگین بر سوخت و ساز بذر تاثیر گذاشته و مانع از رشد گیاه می‌شود (Sabri *et al*., 2010).

این پژوهش بـا هدف بررسـی اثـر آلودگـی سرب و کادمیوم بر جوانه‌زنی و ویژگی‌های بنیه بذری گندم رقم سیوند در منطقه ورامین صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، اثر آلودگی سرب و کادمیوم بر جوانه‌زنی و ویژگی‌های بنیه بذری گندم رقم سیوند تهیه شده از مؤسسه تحقیقات کشاورزی کرج انجام گرفت. آزمایشی در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین -پیشوا به‌صورت فاکتـوریل در قالب طـرح کاملا تصادفـی در سـه تکـرار انجام شد. عوامل مورد نظر عبارتند از: کلرید سرب در سه سطح (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میکرومول در لیتر) و کلرید کادمیوم در چهار سطح (صفر،۳۰، ۶۰ و ۹۰ میکرومول در لیتر) بود. برای انجام این آزمایش ابتدا پس از آماده-سازی پتری دیش‌ها، آلودگی بذور با سرب و کادمیوم با مقادیر تعیین شده، انجام پذیرفت. با استفاده از پتری دیش‌های نه سانتی‌متری (قطر) تعداد ۳۰ عدد بذر گندم 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 ریشه چه و ساقه چه اندازه‌گیری گردید. در طی این مراحل نیز صفات ذیل مورد مطالعه قرار گرفت.

صفـات مورد انـدازه‌گیـری عبـارت‌اند از: درصد جوانه‌زنی نهایی، وزن تر ریشه-چه، وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، آنزیم کاتالاز و آنزیم اسید فسفاتاز می‌باشد.

درصد جوانه‌زنی نهایی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$FGP=(Ng/Nt)\times100$$

Ng= تعدادکل بذرهای جوانه زده

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 گردید. جهت اندازه‌گیری وزن تر، ساقه‌چه آن‌ها قطع گردید. علاوه بر این ریشه‌چه‌ها به آرامی جدا شد و وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازو برحسب گرم تعیین گردید (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 همراه یک درصد کلرور سدیم یک مول و یک درصد از یک مول MEDTA با pH 7.0 هموژن شد سپس در 20,000 g به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید آنگاه از محلول روئی برای سنجش فعالیت آنزیمی استفاده شد. براساس میزان تجزیه آب اکسیژنه طبق روش Aeby, 1984 انجام می‌گیرد. بدین منظور محلول واکنش شامل ۱۰۰ میلی‌مول بافر

فسفات پتاسیم، ۱۵ میلی‌مول اب اکسیژنه می‌باشد که پس از اضافه کردن عصاره نمونه بافت تغییر جذب در اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانو متر ارزیابی می‌گردد (Aeby, 1984).

فعالیت آنزیم‌ها بر حسب "واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت" می‌باشد.

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 اندازه‌گیری آنزیم فسفاتاز اسیدی به روش (Lee, 2000) انجام شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم اسید فسفاتاز از روش (Pan and Chen, 1998) استفاده شد. واکنش با افزودن ۵ 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، اندازه‌گیری انفرادی هر متغیر را با استفاده از نرم‌افزار ۲۴Spss تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول یک) نشان دادکه اثر ساده کلرید سرب روی صفات وزن تر ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه در سطح پنج درصد و روی صفات آنزیم کاتالاز، آنزیم فسفاتاز در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. اثرات ساده کلرید کادمیوم روی صفات درصد جوانه‌زنی در سطح پنج درصد و روی وزن تر ریشه‌چه، صفات آنزیم کاتالاز، آنزیم فسفاتاز در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم روی صفات آنزیم کاتالاز، آنزیم فسفاتاز در سطح احتمال پنج درصد و روی صفات وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید.

جدول ۱- تجزیه واریانس سطوح کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر صفات مورد بررسی

Table 1. Chloride levels of lead and cadmium chloride variance analysis on traits

			M.S میانگین مربعات						
S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	درصد جوانه زنی نهایی Final g. percentage	وزن تر ریشه‌چه Root. F. weight	وزن تر ساقه چه Shoot F. weight	وزن خشک ساقه‌چه D.weight of shoot	طول ریشه‌چه Root length	آنزیم کاتالاز Enzyme Catalase	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase
Pb chloride	سرب	2	36.11 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.060*	0.060*	20.646 ^{ns}	1.648**	1.68**
Cd chloride	کادمیوم	3	134.71*	0.042**	0.011^{ns}	0.011^{ns}	0.806 ^{ns}	5.325**	4.63**
Pb × Cd	سرب × کادمیوم	6	8.660 ^{ns}	0.077**	0.064**	0.064**	0.732**	0.178*	0.182*
Error	خطا	24	29.22	0.004	0.012	0.012	11.724	0.071	0.051
C.V(%)	ضریب تغییرات	-	5.91	13.45	17.83	7.8	7.65	7.36	9.69

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

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

درصد جوانه‌زنی نهایی

تجزیه واریانس (جدول یک) نشان داد که اثر ساده کلرید کادمیوم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر ساده کلرید سرب و اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر میزان درصد جوانه‌زنی نهایی گندم تاثیر معنی‌داری نداشت و همگی در یک کلاس آماری جای گرفتند.

مقایسه میانگین اثر کلرید کادمیوم بر درصد جوانه‌زنی نهایی نشان داد غلظت‌های کلرید کادمیوم بر درصد جوانه‌زنی نهایی گیاه گندم تأثیر داشت، بیش‌ترین مقدار با۹۶/۲۷درصد از تیمار بدون استفاده از کلرید کادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۸۷/۷۵ درصد از تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر مشاهده شد (جدول دو).

همان‌طور که از نتایج مشخص است آلودگی کلرید کادمیوم، بر جوانه‌زنی بذر موثر است. وجود کادمیوم 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 دانه به کادمیوم نفوذپذیرتر می‌شود. کادمیوم که در مرحله پایانی جذب آب به داخل جنین نفوذ می‌کند، جوانه‌زنی را به تاخیر می‌اندازد. به‌منظور بررسی سمیت فلزات سنگین ضروری (نیکل) و غیرضروری (کادمیوم) بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ی لوبیا، چیتی رقم صدری، آزمایشی انجام شد. نتایج نشان دادند که شاخص‌های جوانه زنی و رشد بذر با افزایش غلظت کادمیم 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 به ترتیب۳ /۶۴ و ۲ /۳۰ و ۷ /۲۲ درصد کاهش داد (امینی و همکاران، ۱۳۹۱). به‌طورکلی تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم براساس جدول، کاهش ۸/۵۲ درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت.

وزن تر ریشه‌چه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده کلرید کادمیوم و اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر ساده کلرید سرب بر وزن تر ریشه‌چه گندم معنی‌دار نگردید (جدول یک). مقایسه میانگین اثر کلرید کادمیوم بر وزن تر ریشه‌چه بیانگر این موضوع است که غلظت‌های کلرید کادمیوم بر وزن تر ریشه‌چه گیاه گندم تأثیر معنی‌دار داشت، بیش‌ترین مقدار با۰/۵۴۶گرم مربوط به تیمار بدون استفاده از کلرید کادمیوم که یا تیمار ۳۰ میکرومول بر لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت که در رتبه a جای گرفتند و کم‌ترین مقدار با ۰/۴۰۳ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر بود که با تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول دو). مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلرید سرب و کلرید کادمیوم بیانگر این موضوع است که کلرید سرب بر وزن تر ریشه‌چه تأثیر معنی‌دار داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار با ۰/۶۹۴گرم مربوط به تیمار بدون استفاده از کلرید سرب (شاهد) و بدون استفاده از کلرید کادمیوم (شاهد) و کم‌ترین مقدار با ۰/۲۶۴ گرم مربوط به تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم بود (جدول سه). کاهش در وزن تر ممکن است در ارتباط با سمیت کلرید کادمیوم باشد. بدین صورت‌که این ماده سمی می‌تواند سازوکارهای فیزیولوژیکی معمول را مختل کرده و در نهایت از این طریق اثرات منفی بر بیوماس داشته باشد. 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 گردید (Sharma and Dubey, 2005). این کاهش در ریشه نسبت به بخش هوایی محسوس تر بود. رشد یکی از بهترین شاخص‌ها برای ارزیابی پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی است. نتایج این تحقیق در رابطه با کاهش وزن تر گیاهچه‌ها در راستای نتایج

(Bhardwaj *et al*., 2009) بود. این محققان کاهش در وزن کل و وزن تر گیاه لوبیا را در شرایطی که در خاک حاوی۱/۵، ۲، ۲/۵ Cd g/Kg رشد کرده بودند را گزارش کردند.

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

Table 2. compares the average effect of chloride levels of lead and cadmium chloride on the traits

Treatment	تیمار	درصد جوانه زنی نهایی g. percentage (%)	وزن تر ریشه چه Root f.w (g)	وزن تر ساقه چه Shoot f. w (g)	وزن خشک ساقه چه D. w. of shoot (g)	طول ریشه چه R. length (mm)	آنزیم کاتالاز Catalase (U.gFW)	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase (U.gFW)
Lead chloride	کلرید سرب							
Without of lead	عدم کاربرد سرب	93.30[a]	0.452[a]	0.692[a]	0.109[a]	8.166[a]	3.33[b]	2.64[a]
60 micromoles per liter	۶۰میکرومول در لیتر	90.80[a]	0.453[a]	0.554[b]	0.087[b]	7.677[a]	3.49[b]	2.42[b]
120 micromoles per liter	۱۲۰میکرومول در لیتر	89.97[a]	0.504[a]	0.595[b]	0.080[b]	6.739[a]	4.04[a]	1.91[c]
Cadmium chloride	کلرید کادمیوم							
Without cadmium	عدم کاربرد کادمیوم	96.27[a]	0.546[a]	0.463[a]	0.093[a]	6.930[a]	2.64[d]	3.29[a]
30 micromoles per liter	۳۰میکرومول در لیتر	88.85[ab]	0.508[a]	0.563[a]	0.094[a]	8.346[a]	3.46[c]	2.35[b]
60 micromoles per liter	۶۰میکرومول در لیتر	88.85[ab]	0.422[b]	0.632[a]	0.089[a]	6.930[a]	3.90[b]	2.10[c]
90 micromoles per liter	۹۰میکرومول در لیتر	87.75[b]	0.403[b]	0.616[a]	0.091[a]	6.832[a]	4.47[a]	1.57[d]

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، 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

وزن تر ساقه‌چه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده کلرید سرب در سطح پنج درصد و اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم درسطح یک درصد معنی‌دار بود. اما اثر ساده کلرید کادمیوم بر وزن تر ساقه‌چه گندم معنی‌دار نگردید (جدول یک).

مقایسه میانگین اثرات ساده کلرید سرب بر وزن تر ساقه‌چه بیانگر این موضوع است که غلظت‌های کلرید سرب بر وزن تر ساقه‌چه گیاه گندم تأثیر معنی‌دار داشت، بالاترین مقدار با۰/۶۹۲گرم مربوط به تیمار بدون استفاده از کلرید سرب و کم‌ترین مقدار با ۰/۵۵۴ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰میکرومول در لیتر است که با تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول دو). مقایسه میانگین اثر متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر وزن تر ساقه‌چه نشان داد که غلظت‌های کلرید سرب و کلرید کادمیوم

بر وزن تر ساقه‌چه گیاه گندم تأثیر داشت، به طوری‌که بیش‌ترین مقدار با۰/۸۵۲گرم از تیمار بدون استفاده از کلرید سرب و کلرید کادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۴۲۳ گرم از تیمار ۱۲۰میکرومول در لیتر کلرید سرب و بدون مصرف کلرید کادمیوم حاصل شد (جدول سه).

حضور فلزات سنگین در منطقه ریزوسفر و ورود آن‌ها به گیاه باعث کاهش رشد شد و موجب عدم تعادل در سوخت و ساز گشت. این مساله بر عملکرد میتوکندری، فتوسنتز و مقدار کلروفیل اثر منفی گذاشت در نتیجه گیاه رشد مطلوب نداشت و با کاهش وزن اندام هوایی مواجه شد. از سوی دیگر یکی از علت‌های مهم آسیب بافتی در گیاهانی که در معرض فلزات سنگین قرار گرفتند، ایجاد تنش اکسیداتیو است. رادیکال‌های اکسیژن عمدتا در کلروپلاست و میتوکندری 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 می‌کنند (Mishra *et al*., 2006) که در این پژوهش کاملا مشهود است. همچنین در چندین مورد ذیل نیز گزارش‌های دیگری حاکی از افزایش غلظت سرب و کادمیوم و کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاه چه به‌علت تخریب مواد غذایی ذخیره شده در دانه‌های گیاه گل ابریشم می‌باشد (Farooqi *et al*., 2009).

این کاهش در ریشه نسبت به بخش هوایی بیش‌تر و محسوس‌تر بود. رشد یکی از بهترین شاخص‌ها برای ارزیابی پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی می‌باشد. نتایج این تحقیق در رابطه با کاهش وزن تر گیاهچه‌ها در راستای نتایج بهاردواج و همکاران (Bhardwaj *et al*., 2009) بود. این محققان کاهش در وزن کل و وزن تر گیاه لوبیا را در شرایطی که در خاک حاوی ۱/۵، ۲، ۲/۵ گرم بر کیلوگرم کادمیوم رشد کرده بودند را گزارش کردند. تحقیقات نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی رشد طولی ریشه کاهش یافت، اما طول اندام هوایی در غلظت کم افزایش و در غلظت‌های بالاتر کاهش یافت. وزن خشک اندام هوایی و ریشه، همچنین تعداد ریشه‌های فرعی با افزایش غلظت کادمیوم کم شد (کریمی و همکاران، ۱۳۸۶). به‌طورکلی تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب براساس جدول، کاهش ۱۳/۸ درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت. همچنین تیمار ۱۲۰میکرومول در لیتر کلرید سرب و عدم مصرف کلرید کادمیوم، کاهش ۴۲/۹ درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت.

وزن خشک ساقه‌چه

نتایج نشان داد که اثر ساده کلرید سرب و اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر میزان وزن خشک ساقه‌چه گندم در سطح یک درصد معنی‌دارشد ولی اثر ساده کلرید کادمیوم تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه‌چه نداشت (جدول یک).

بیش‌ترین مقدار وزن خشک ساقه‌چه مقدار با ۰/۱۰۹ گرم مربوط به تیمار بدون استفاده از کلرید سرب بود و کم‌ترین مقدار با ۰/۰۸۰ گرم مربوط به تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب بود که با تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول دو). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که بیش‌ترین مقدار با ۰/۱۲۲ گرم مربوط به تیمارعدم مصرف کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر مصرف کلرید کادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۰۵۸ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم بود (جدول سه). نتایج به دست 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 بر آن سرب آرایش میکروتوبول‌ها را در سلول‌های مریستمی به هم ریخته که خود مانعی برای رشد محسوب می‌شود (Eun *et al*., 2000). محمدزاده و همکارن (۱۳۸۹) آزمایشی با تیمارهایی شامل فلزات

کادمیوم، نیکل، سرب و مس و 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. کم‌ترین طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز مربوط به تیمار ppm ۶۰ کادمیوم و مس بود، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. به‌طورکلی تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب براساس جدول، کاهش ۲/۹ درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت. همچنین تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم، کاهش ۵/۴ درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت.

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

Table 3. compares the average reciprocal effects of lead chloride, cadmium chloride on the traits

تیمارها Treatments	وزن تر ریشه چه Root f.w (g)	وزن تر ساقه چه Shoot f. w (g)	وزن خشک ساقه چه D. w. of shoot (g)	طول ریشه چه R. length (mm)	آنزیم کاتالاز Catalase (U.gFW)	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase (U.gFW)
بدون استفاده از سرب × بدون استفاده از کادمیوم Without the use of lead chloride × without the use of cadmium chloride	0.694^{a}	0.852^{a}	0.112^{ab}	15^{a}	2.6^{d}	3.39^{ab}
بدون استفاده از سرب × ۳۰میکرومول در لیتر کادمیوم Without the use of lead chloride, cadmium chloride × 30 micromoles per liter	0.353^{cd}	0.562^{c}	0.099^{abc}	5.1^{d}	3.20^{bc}	2.71^{bc}
بدون استفاده از سرب× ۶۰میکرومول در لیتر کادمیوم Without the use of lead chloride, cadmium chloride × 60 micromoles per liter	0.412^{bcd}	0.631^{bc}	0.114^{ab}	4.66^{de}	3.29^{bc}	2.8^{bc}
بدون استفاده از سرب × ۹۰میکرومول در لیتر کادمیوم Without the use of lead chloride, cadmium chloride × 90 micromoles per liter	0.350^{cd}	0.721^{ab}	0.122^{a}	9.16^{d}	4.27^{ab}	1.69^{cd}
۶۰میکرومول در لیتر سرب × بدون استفاده از کادمیوم 60 micromoles per liter of lead chloride × without the use of cadmium chloride	0.632^{ab}	0.652^{bc}	0.098^{abc}	7.66^{bc}	2.49^{cd}	3.46^{a}
۶۰ میکرومول در لیتر سرب ×۳۰ میکرومول در لیتر کادمیوم 60 micromoles per liter of lead chloride, cadmium chloride × 30 micromoles per liter	0.399^{cd}	0.604^{bc}	0.093^{bc}	9.16^{b}	3.48^{bc}	2.39^{bc}
۶۰میکرومول در لیتر سرب ×۶۰میکرومول در لیتر کادمیوم 60 micromoles per liter of lead chloride, cadmium chloride × 60 micromoles per liter	0.535^{bc}	0.536^{cd}	0.062^{cd}	8.41^{bc}	3.83^{b}	2.08^{c}
۶۰میکرومول در لیتر سرب ×۹۰میکرومول در لیتر کادمیوم 60 micromoles per liter of lead chloride, cadmium chloride × 90 micromoles per liter	0.264^{e}	0.626^{bc}	0.094^{bc}	3.47^{de}	4.18^{ab}	1.77^{cd}
۱۲۰میکرومول در لیتر سرب × بدون استفاده از کادمیوم 120 micromoles per liter of lead chloride × without the use of cadmium chloride	0.330^{d}	0.423^{d}	0.068^{cd}	3.33^{e}	2.88^{cd}	3.02^{ab}
۱۲۰ میکرومول در لیتر سرب× ۳۰میکرومول در لیتر کادمیوم 120 micromoles per liter of lead chloride, cadmium chloride × 30 micromoles per liter	0.514^{c}	0.523^{cd}	0.090^{c}	7.00^{b}	3.71^{bc}	1.96^{cd}
۱۲۰ میکرومول در لیتر سرب ×۶۰میکرومول در لیتر کادمیوم 120 micromoles per liter of lead chloride, cadmium chloride × 60 micromoles per liter	0.576^{bc}	0.731^{ab}	0.104^{ab}	6.62^{cd}	4.6^{ab}	1.43^{cd}
۱۲۰ میکرومول در لیتر سرب × ۹۰میکرومول در لیتر کادمیوم 120 micromoles per Lytrklryd × 90 micromoles per liter of lead and cadmium	0.597^{b}	0.702^{b}	0.058^{d}	6.58^{cd}	4.97^{a}	1.26^{d}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، 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

طول ریشه‌چه

نتایج نشان داد که اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر میزان طول ریشه‌چه گندم در سطح یک درصد معنی‌دار گردید اما اثر ساده کلرید سرب و اثر ساده کلرید کادمیوم اثر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه نداشت و همگی در یک کلاس آماری جای گرفتند (جدول یک). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر طول ریشه‌چه نشان داد که بیش‌ترین میزان طول ریشه‌چه با ۱۵ میلی‌متر از تیمار بدون استفاده از کلرید سرب و کلرید کادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۳/۳۳ میلی‌متر مربوط به تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول کلرید کادمیوم بود (جدول سه). یک دلیل برای کاهش رشد ریشه‌چه‌ها در تیمار فلزات سنگین، می‌تواند کاهش سلول‌های مریستمی در ناحیه غشای سلولی و برخی آنزیم‌ها در کوتیلدون و آندوسپرم باشد. سلول‌ها فعال شده و شروع به ذخیره غذا می‌کنند. این غذا به فرم محلول تبدیل شده 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 شد. بنابراین وقتی فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک به‌واسطه عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرد غذا به ریشه‌های اولیه و اندام هوایی نمی‌رسد و در نتیجه طول ریشه‌چه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Kabir *et al.*, 2008). این در حالی است که بعضی از محققان دیگر بیان کردند که کاهش در طول ریشه‌چه 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; Liu *et al.*, 2003) نتایج این تحقیق نشان داد مسمومیت با سرب در درجه اول بازدارنده رشد ریشه‌چه است، که به دلیل تجمع زیاد سرب در ریشه و اثر سمی آن می‌باشد. 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 گردید. بررسی‌ها نشان داده شد 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 روی دیواره موجب بروز شکاف در دیواره شد و قدرت ارتجاعی و الاستیکی دیواره را به‌شدت کاهش می‌دهد و این پدیده موجب توقف رشد سلول و متعاقبا توقف رشد اندام گردید (Ruley *et al.*, 2006).

نتایج به دست 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 بود. علاوه بر آن سرب آرایش میکروتوبول‌ها را در سلول‌های مریستمی به‌هم 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 پیش‌متافازی شد (Yang, 2000). قسمت اعظم سرب جذب شده در دیواره سلولی‌های ریشه رسوب کرده، موجب ایجاد شکاف‌هایی در دیواره شد و در نتیجه از رشد طولی ریشه ممانعت می‌کند (Elloumi *et al.*, 2007). بهمنی و همکاران (۱۳۹۱) طی پژوهشی اعلام کردند که کادمیوم به‌عنوان یک عامل بازدارنده بر روی رشد طولی ریشه و ساقه بود و اثر کادمیوم بر روی رشد طولی ریشه مشهودتر از اندام هوایی است. 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, Kabata, 2001) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. به‌طورکلی تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و عدم مصرف کلرید کادمیوم براساس جدول، کاهش ۱۲ درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت.

آنزیم کاتالاز

تجزیه واریانس نشان دادکه اثرات ساده کلرید سرب و کلرید کادمیوم درسطح یک درصد بر آنزیم کاتالاز معنی‌دار شد و اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر آنزیم کاتالاز گندم در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول یک).

مقایسه میانگین اثرات ساده کلرید سرب بر آنزیم کاتالاز نشان داد که غلظت‌های کلرید سرب بر آنزیم کاتالاز گیاه گندم تأثیر گذاشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار با ۴/۰۴ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر استفاده از کلرید سرب و کم‌ترین مقدار با ۳/۳۳ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار بدون استفاده از کلرید سرب حاصل شد (جدول دو). مقایسه میانگین اثرات ساده کلرید کادمیوم نشان داد که بیش‌ترین مقدار با ۴/۴۷ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر استفاده از کلرید کادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۲/۶۴ واحد بین المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار بدون استفاده از کلرید کادمیوم بود (جدول دو). مقایسه میانگین اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر آنزیم کاتالاز نشان داد که غلظت‌های کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر آنزیم کاتالاز گیاه گندم تأثیر معنی‌دار داشت، بیش‌ترین مقدار با ۴/۹۷ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار ۱۲۰میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم بود و پایین‌ترین مقدار با ۲/۶ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار عدم مصرف کلرید سرب و عدم مصرف کلرید کادمیوم به‌دست آمد (جدول سه).

تنش فلزات سنگین در گیاهان القا تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که تحت شرایط تنش میزان آن در گیاه افزایش یافت که باعث تخریب ماکرومولکول‌های درون سلولی شد. آنتی‌اکسیدانت‌ها اولین سد حفاظتی در برابر خطرات ناشی از رادیکال‌ها هستند. اثرات نامطلوب تنش در گیاه، در نتیجه تجمع اکسیژن واکنش‌گر (ROS) در گیاه است. گیاه از آنتی‌اکسیدانت‌هایی مانند اسید آسکوربیک، گلوتاتیون، کاروتنوئیدها و آنزیم‌هایی مانند کاتالاز و پراکسیداز برای جاروب کردن انواع ROS استفاده می‌کند (Tuna *et al*., 2008). آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پلی‌فنول اکسیداز و ATPase (Haleem and Mohammad, 2007) و انواع پراکسیدازها به‌خصوص آسکوربات پراکسیداز (Mittova *et al*., 2004) افزایش می‌یابد. ایرانبخش و همکارن (۱۳۸۹) پژوهشی به منظور بررسی تاثیر کلرید روی و کلرید سرب بر جوانه‌زنی و رشد دانه رست‌های سویا انجام دادند. نتایج نشان داد که میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان تحت تیمار با سرب افزایش نشان داد. به‌طورکلی تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب براساس جدول، افزایش ۰/۷۱ درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت. همچنین تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم، افزایش ۱/۸۳درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت و تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم، افزایش ۲/۳۷ درصدی نسبت به نمونه شاهد نشان داد.

آنزیم اسید فسفاتاز

تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کلرید سرب و کلرید کادمیوم در سطح یک درصد و اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم در سطح پنج درصد بر آنزیم اسید فسفاتاز گندم معنی‌دار شد (جدول یک).

مقایسه میانگین اثر ساده کلرید سرب بر آنزیم اسید فسفاتاز بیانگر این موضوع است که غلظت‌های کلرید سرب بر آنزیم اسید فسفاتاز گیاه گندم تأثیر داشت، بالاترین مقدار با ۲/۶۴ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار بدون استفاده از کلرید سرب و پایین‌ترین مقدار با ۱/۹۱ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت از تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر حاصل شد (جدول دو).

مقایسه میانگین اثرات ساده کلرید کادمیوم بر آنزیم اسید فسفاتاز بیانگر این موضوع است که بیش‌ترین

مقدار با ۳/۲۹ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار بدون استفاده از کلرید کادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۱/۵۷ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر بود (جدول دو). مقایسه میانگین اثرات متقابل کلرید سرب و کلرید کادمیوم بر آنزیم اسید فسفاتاز بیانگر این موضوع است که به‌طوری که بیش‌ترین مقدار با۳/۴۶ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و عدم مصرف کلرید کادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۱/۲۶ واحد بین‌اللملی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب × استفاده به‌میزان۹۰میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم بود (جدول سه).

با توجه به نتایج کلرید سرب و کلرید کادمیوم سبب کاهش میزان آنزیم فسفاتاز می‌شوند. فسفاتاز آنزیمی است که به‌وسیله هیدرولیز کردن مونواسترهای اسید فسفریک و تبدیل آن‌ها به یون فسفات و مولکولی با یک گروه هیدروکسیل آزاد، گروه فسفات را از پیش‌ماده (سوبسترا) خود جدا می‌سازد. این کارکرد آنزیم برعکس عمل آنزیم‌های کیناز و فسفوریلاز است. آنزیم‌های کیناز و فسفوریلاز گروه‌های فسفات خود را با استفاده از مولکول‌های پرانرژی مثل ATP به پیش ماده خود متصل می‌کنند. آلکالین فسفاتاز یکی از فسفاتازهای رایج در بسیاری از موجودات زنده‌است. نتایج نشان داد 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 (Liu *et al*., 2003). در نتیجه اگر میزان این آنزیم در حضور استفاده از کلرید سرب و کلرید کادمیوم کاهش پیدا کند، می‌توان استدلال کرد که گیاه در مقابل تنش‌ها آسیب پذیر خواهد شد. به‌طور کلی تیمار ۱۲۰میکرومول در لیتر کلرید سرب، کاهش ۷۳ درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت. همچنین تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم، افزایش ۱۷۲ درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت و تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرو-مول در لیتر کلرید کادمیوم براساس جدول، افزایش ۲۱۳ درصدی نسبت به نمونه شاهد داشت.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج پژوهش، تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم باعث کاهش درصد جوانی‌زنی نهایی، وزن تر ریشه‌چه و آنزیم اسید فسفاتاز و افزایش آنزیم کاتالاز گردید. تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب باعث کاهش وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، آنزیم اسید فسفاتاز و افزایش آنزیم کاتالاز گردید. تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و عدم مصرف کلرید کادمیوم باعث کاهش وزن تر ساقه‌چه و طول ریشه‌چه، و اثرات متقابل تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم باعث کاهش وزن تر ریشه‌چه، آنزیم اسید فسفاتاز و افزایش آنزیم کاتالاز گردید. همچنین تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم باعث کاهش وزن خشک ساقه‌چه گردید. به‌طورکلی فلزات سنگین کلرید سرب و کلرید کادمیوم به گیاه گندم تنش وارد کرد و باعث کاهش رشد در گیاه شد.

منابع

References

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

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

بهمنی، ر.، بی همتا، م.ر.، حبیبی، د.، 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 -۱۴۵-۱۵۵.

قلیچ، س.، زرین کمر، ف.، 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 زیست‌شناسی ایران)، جلد ۲۸، شماره ۱.

محمدزاده، آ.، توکلی، م.، 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

میرزایی، م.، قوشچی، ف.، 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.

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

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.

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.

Farooqi, Z.R., ZafarIqbal, M., Kabir, M., and Shafiq, M. 2009. Toxic effects of Lead and Cadmium on germination and seedling growth of Albizia kebbeck (L.)Benth , Pak. J. Bot., 41(1): 27-33.

Haleem, A., Mohammed, M. 2007. Physiological aspects of mungbean plant (*Vigna radiate* L. wilczek) in response to salt stress and gibberellic acid treatment, jornal of agriculture and biological sciences, 3(4): 200-213.

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 The *spesia populnea* 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.

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

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.

Mittova, V., Guy, M., Tal, M., Volokita, M. 2004. Salinity up-regulates the anticipative system in root mitochondria and peroxisomes of the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*, journal of experimental botany, Vol 55, 1105-1113.

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.

Pandey, S., Gupta, K., and Mukherjee, A.K. 2007. Impact of cadmium and lead on Catharanthus roseus - A phytoremediation study, 28(3) 655-662.

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.

Rudolf, R., Kastori Ivana, V., Maksimovich, A., Otto, T., Doroghazi Marina, I., Putnik, D. 2012. Effect of Lead contamination of Maize seed on its biological properties. Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad, No 123, 75—82.

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.

Sabri, M., Tavily, A., Jafari, M., and Hidary, M. 2010. Effect level different heavy elements in germination and growth seedling Atriplex (*Atriplex lentiformis*) J. Range. 1:112-120.

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

Shafiq, M., Zafar, M., Athar, M. 2008. Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of Leucaena leucocephala, 1119-8362.

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

Tuna, A., Kaya, C., Dikilitas, M., Higgas, D. 2008. The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants, Environmental and experimental botany, 62: 1-9.

Zare, M., Mehrabi oladi, A.A., Sharafzadeh, S.H. 2006. Investigation of GA3 and kinetin effects on seed germination and seedling growth of Wheat under salinity stress. Journal of agricultural Science. 12(4): 855- 865.