بررسی جوانه‌زنی و پارامترهای بنیه بذور جو در شرایط آلودگی سرب و کادمیوم

The evaluation of Germination and seed vigor parameters barley (*Hordeum vulgare* L.) under lead and cadmium pollution.

داود خدیو حقگو[۱]، محمد نصری[۲*]، پورنگ کسرایی[۱]

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

***نویسنده مسوول مکاتبات:** Dr.nsri@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۲

چکیده

به‌منظور بررسی جوانه‌زنی و صفات بنیه بذور جو در شرایط آلودگی سرب و کادمیوم، 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 نظر عبارتند از: کلریدسرب در سه سطح (صفر، ۶۰، ۱۲۰ میکرومول در لیتر) و کلریدکادمیوم در چهار سطح (صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ میکرومول در لیتر) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کلریدسرب بر صفات درصد جوانه‌زنی نهایی، آنزیم کاتالاز، آنزیم اسید فسفاتاز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثرات ساده کلریدکادمیوم بر صفات وزن تر ساقه، آنزیم کاتالاز و آنزیم اسیدفسفاتاز در سطح یک درصد و بر صفات وزن تر ریشه و وزن خشک ساقه‌چه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر صفات طول ریشه‌چه و آنزیم اسیدفسفاتاز در سطح احتمال پنج درصد و بر صفات وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم نشان داد بیش‌ترین مقدار وزن تر ساقه‌چه با ۱/۰۲۹ گرم از تیمار بدون استفاده از کلریدسرب و کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۵۵۱ گرم از تیمار ۱۲۰میکرومول در لیتر کلرید سرب و ۶۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم بود. بیش‌ترین مقدار وزن خشک ساقه با۰/۲۵۹ گرم مربوط به تیمار عدم مصرف کلریدسرب و عدم مصرف کلریدکادمیوم و کم‌ترین میزان با ۰/۰۷۴ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و ۶۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم بود. بیش‌ترین مقدار طول ریشه‌چه با ۱۰/۵۸ میلی‌متر از تیمار بدون استفاده از کلریدسرب و کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۲/۴۵ میلی‌متر از تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و ۶۰ میکرومول کلریدکادمیوم به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار آنزیم اسید فسفاتاز با ۳/۳۳واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و عدم مصرف کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۶۶واحد بین‌اللملی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیترکلریدسرب × استفاده به میزان ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم حاصل شد. به‌طورکلی کاهش رشد گیاه جو به‌دلیل غلظت بالای فلزات سنگین کلریدسرب و کلریدکادمیوم بود. در این پژوهش بهترین تیمار، تیمار عدم مصرف کلریدسرب و عدم مصرف کلریدکادمیوم است.

واژگان کلیدی: کلرید سرب، کلرید کادمیوم، جو، جوانه‌زنی و خصوصیات بیوشیمیایی.

مقدمه

جو با نام علمی(*Hordeum vulgar* L.) گیاهی زراعی است که یکی از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین گیاهان زراعی جهان به‌شمار می‌رود و بیش‌ترین سازش را نسبت به دیگر گیاهان زراعی و در مقایسه با سایر غلات به خشکی دارد. جو بعد از گندم، ذرت و برنج چهارمین غله مهم است که کشت آن به حدود ده هزار سال پیش باز می‌گردد (Celuse *et al*., 2006). جو یکی از غلات مهم در جهان است که به‌عنوان غذا مورد استفاده قرارمی‌گیرد. این گیاه علفی متعلق به خانواده گرامینه (گندمیان) و دارای انواع زراعی و وحشی می‌باشد (زارع، ۱۳۸۵).

نشان سازمان خواروبار جهانی سازمان ملل متحد (FAO) خوشه گندم است، که ارزش بذر را به‌عنوان غذا و به‌عنوان وسیله ازدیاد گیاه منعکس می‌کند. علاوه بر این که بذرها یک منبع غنی از کربوهیدرات، پروتئین و روغن به‌شکل بسیار ساده و قابل هضم و ذخیره هستند، همین طور ابزار مهم ازدیاد و بقای گیاهان بوده و تغییرات و اصلاحات ژنتیکی اصلاح‌گران را به کشاورزان منتقل می‌کنند (میرزایی، ۱۳۹۴). جوانه‌زنی شامل وقایعی است که با جذب آب توسط بذر خشک آغاز می‌شود و با طویل شدن 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). بنابراین مطالعه این مرحله در گیاهانی که در معرض آلاینده‌ها قرارگرفتند راه مناسبی برای درک اثرات سمی آن‌ها بر جوانه‌زنی گیاهان محسوب می‌شود. در دهه گذشته انواع فعالیت‌های انسانی در شهرها و آلودگی‌های ایجاد شده از این فعالیت‌ها اثرات زیادی را برمحیط زیست و رشد گیاهان ایجاد نمود. از جمله این آلودگی‌ها فلزات سنگین هستند که دارای اثرات خاصی در سلامت انسانها، گیاهان و حیوانات دارند (Azevedo and Lea, 2005).

از دیدگاه جهانی خاک پس از آب و هوا سومین جزو عمده محیط زیست انسان تلقی می‌شود. خاک علاوه برآن‌که 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 (Kastori *et al*., 2012). در میان فلزات سنگین، سرب از اهمیت زیادی برخوردار است و در بین فلزات خطرناک دومین رتبه را دارد و دارای اثرات سمی بسیاری بر زندگی موجودات زنده است.

بنابراین تعیین اشکال سرب در ارزیابی تحرک و زیست فراهمی آن در خاک‌های آلوده بسیار ضروری است (Savonina *et al*., 2005). قابلیت جذب سرب تحت تأثیر عوامل متعددی قراردارد. سرب در خاک به صورت Pb^{+2} جذب رس، مواد آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌شود. جذب سطحی آن بیش‌تر تحت تأثیر ویژگی‌هایی مانند فراوانی رس، مواد آلی، pH، یون‌های آهن، آلومینیوم و کلسیم است (Lagashetty *et al*., 2010). سرب بعد از جذب به آسانی درون گیاه حرکت می‌کند. این انتقال بستگی زیادی به حالت فیزیولوژیکی گیاه دارد. ابتدا سرب در دیواره سلولی ریشه مشاهده می‌گردد. در همین زمان در برگ‌ها نیز با مقادیر کم‌تر وجود سرب ثابت شد. در مورد شکل سرب در گیاه از گزارش‌ها چنین استنباط می‌شود که این عنصر بیش‌تر به‌صورت ترکیب‌های غیرمحلول بی‌شکل در گیاهان مشاهده می‌شود. مقادیر سربی که قادرند به گیاهان صدمه واردکنند، متفاوت هستند. به‌طورکلی عقیده بر این است که مقدار سرب خاک باید بالاتر از ppm ۱۰۰۰ باشد تا بتواند اثرات نامطلوب در گیاه باقی‌گذارد. با وجود تمام موارد ذکرشده، متأسفانه سرب آن‌چنان گسترده به‌وسیله بشر استفاده شد که مقدار سرب منتشر شده در اتمسفر، سالانه بالغ بر ۳۰۰۰۰۰ تن است که به‌مراتب بیش‌تر از ۲۰۰۰۰ تن سرب آزاد

شده توسط فرآیندهای طبیعی است (حاجی نجفی، ۱۳۹۴).

در بین فلزات سنگین، کادمیوم یکی از سمی‌ترین عناصر برای اندام‌های زنده است که نقش زیستی ندارد. کادمیوم یک عنصر غیرضروری است که دوام بیولوژیکی بالایی دارد و سبب لوله‌ای شدن برگ‌ها، کلروز و کاهش رشد ریشه و ساقه می‌شود (Mishra *et al.*, 2006). کادمیوم میل ترکیبی شدیدی با گروه‌های سولفیدریل، هیدروکسیل و لیگاندهای حاوی نیتروژن دارد. در نتیجه این عنصر بسیاری از آنزیم‌های مهم را غیرفعال کرد که منجر به اختلال در فتوسنتز، تنفس و سایر فرآیندهای متابولیک در گیاه می‌گردد (Torres *et al*., 2000). کادمیوم اگرچه یک عنصر غذایی ضروری نیست، اما به سهولت از طریق ریشه‌های گیاه جذب و با غلظت‌هایی که برای زنجیره غذایی خطرناک است، در گیاه اندوخته می‌شود. تجمع کادمیوم در بافت‌های گیاهی در سطح سلولی نیز می‌تواند سمی باشد و موجب کاهش رشد گردد. بنابراین جلوگیری از جذب کادمیوم توسط ریشه‌های گیاه می‌تواند یک استراتژی مهم در به حداقل رساندن اثرات سوء بیولوژیکی این عنصر باشد. یکی از دلایل بروز سمیت ناشی از کادمیوم در گیاهان، برهمکنش آن با عناصر غذایی ضروری گیاه است. تأثیر کادمیم بر جذب و توزیع عناصرغذایی در گیاه می‌تواند دلیل برخی کمبودهای عناصر در گیاهان باشد که باعث برهم خوردن تعادل عناصرغذایی و کاهش باروری گیاه می‌گردد. از عوامل تأثیرگذار بر جذب کادمیوم و ظهور علایم سمیت آن در گیاه، وضعیت تغذیه‌ای گیاه به‌ویژه در رابطه با عناصر کم نیاز می‌باشد. گیاهان ذرت کاشته شده در سیستم هیدروپونیک با وجود غلظت‌های بالای کادمیوم در محلول، فقط زمانی‌که غلظت به بالاترین حد (۱۰۰ $\mu mol\ L^{-1}$) رسید علایم سمیت را بروز دادند. همچنین نفوذ کادمیوم به ریشه در زمانی که مقدار عناصر کم نیاز در محلول غذایی کم بود سه برابر بیش‌تر از زمانی بود که مقدار این عناصر در محلول کافی بود (Perriguey *et al*., 2007). وجود فلزات سنگین از جمله سرب و کادمیوم در خاک یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محسوب می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش رشد و تولید انواع اکسیژن‌های واکنش‌گر گردد. غلظت بالایی کادمیوم در خاک نشان دهنده تهدید بالقوه برای سلامتی انسان است زیرا کادمیوم توسط گیاهان جذب و در زنجیره غذایی قرار می‌گیرد، فلزات سنگین بر سوخت و ساز بذر تاثیر گذاشت و مانع از رشد گیاه می‌شود (Alvarez-Ayuso, 2008).

سرب و کادمیوم باعث کاهش جوانه‌زنی بذر و رشد، فروپاشی سریع مواد غذایی ذخیره شده در بذر و تغییرات خواص نفوذپذیری غشای سلولی در بذر گیاه *Leucaena leucocephala* (گیاهی از خانواده بقولات در مناطق استوایی) گردید (Shafiq *et al*., 2008). و همچنین مشخص شد که سرب و کادمیوم باعث کاهش جوانه‌زنی بذور گل پریوش و همچنین کاهش فعالیت آمیلاز و پروتئاز می‌گردد (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 که تیمار نیکل در غلظت ۱۵ ppm 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 ۶۰ppm کادمیوم و مس بود.

در پژوهشی تأثیر فلز سرب بر گیاه یونجه در مرحله جوانه‌زنی مورد بررسی قرارگرفت. بدین منظور دانه رست‌های ۷ روزه یونجه در محیط هیدروپونیک تحت تیمار غلظت‌های صفر، ۱۲۰، ۲۴۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار سرب 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 یافت، میزان تولید پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید به‌عنوان شاخص‌های تنش اکسیداتیو افزایش یافت. تحت تنش

سرب میزان تولید فلاونوئیدها و فعالیت آنزیم پراکسیداز در اندام هوایی و ریشه‌ها افزایش داشت و میزان ترکیبات فنولی در ریشه‌ها کاهش و در اندام هوایی افزایش نشان داد (قلیچ و همکاران، ۱۳۹۴). افزایش غلظت سرب و کادمیوم باعث کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به‌علت تخریب موادغذایی ذخیره شده در دانه‌های گیاه گل ابریشم شد (Farooqi *et al*., 2009). محققان در مطالعه تأثیر غلظت‌های ۱۰،۲۰ و ۳۰میلی‌گرم بر لیتر فلزات سنگین کادمیوم و سولفات مس بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های اتریپلکس مورد بررسی قراردادند، کادمیوم بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و سولفات مس بر درصد جوانه‌زنی تأثیر معنی‌دار نداشتند، اما موجب کاهش رشد گیاهچه شدند (Sabri *et al*., 2010).

این پژوهش با هدف بررسی جوانه‌زنی و صفات بنیه بذور جو در شرایط آلودگی سرب و کادمیوم در منطقه ورامین صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی جوانه‌زنی و صفات بنیه بذور جو در شرایط آلودگی سرب و کادمیوم، 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 نظر عبارتند از: کلریدسرب در سه سطح (بدون استفاده از کلریدسرب، استفاده به‌میزان ۶۰ میکرومول در لیتر، استفاده به‌میزان ۱۲۰ میکرومول در لیتر) و کلریدکادمیوم در چهار سطح (بدون استفاده از کلریدکادمیوم، استفاده به‌میزان۳۰ میکرومول در لیتر، استفاده به‌میزان ۶۰ میکرومول در لیتر، استفاده به‌میزان ۹۰ میکرومول در لیتر) بود. برای انجام این آزمایش ابتدا پس از آماده‌سازی پتری دیش‌ها، آلودگی بذور با سرب و کادمیوم با مقادیر تعیین شده انجام شد. با استفاده از پتری دیش‌های ۹ سانتی‌متری (قطر) تعداد ۳۰ عدد بذر جو 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 گردید و در روز آخر نیز طول ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه‌گیری شد. در طی این مراحل نیز صفات ذیل مورد مطالعه قرارگرفت.

صفات مورد اندازه‌گیری عبارت هستند از: درصد جوانه‌زنی نهایی، وزن تر ریشه، وزن تر ساقه، وزن خشک ساقه، طول ریشه‌چه، آنزیم کاتالاز و آنزیم اسید فسفاتاز.

درصد جوانه‌زنی نهایی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

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

Ng= تعدادکل بذرهای جوانه‌زده

Nt= تعدادکل 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 قطع‌گردید. علاوه بر این ریشه‌چه‌ها به آرامی جدا شدند و وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازو بر حسب 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 به‌مراه یک درصد کلرور سدیم یک مول و یک درصد از 1m MEDTA با pH 7.0 هموژن شد سپس در 20,000g 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 گرفت. بدین منظور محلول واکنش شامل ۱۰۰ میلی‌مول بافر فسفات پتاسیم، ۱۵ میلی‌مول آب اکسیژنه بود که پس از اضافه‌کردن عصاره نمونه بافت تغییر جذب در اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر ارزیابی گردید (Aeby, 1984). فعالیت آنزیم‌ها

بر حسب "واحد بین المللی 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 هفت بود. استخراج پروتئین گیاهچه به‌منظور اندازه‌گیری آنزیم فسفاتاز اسیدی به‌روش (Lee, 2000) انجام‌گرفت. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم اسید فسفاتاز از روش (Pan and 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 اضافه‌گردید. 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 نرم افزار ۲۴Spss تجزیه شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج نشان دادکه اثر ساده کلریدسرب بر صفات درصد جوانه‌زنی نهایی، آنزیم کاتالاز، آنزیم اسید فسفاتاز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثرات ساده کلریدکادمیوم بر صفات وزن تر ساقه‌چه، آنزیم کاتالاز و آنزیم اسید فسفاتاز در سطح یک درصد و بر صفات وزن تر ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر صفات طول ریشه‌چه و آنزیم اسید فسفاتاز در سطح احتمال پنج درصد و بر صفات وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول یک).

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

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

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی نهایی germination percentage	وزن تر ریشه‌چه F. weight Root	وزن تر ساقه‌چه F.weight Shoot	وزن خشک ساقه‌چه D weight of shoot	طول ریشه‌چه Root length	آنزیم کاتالاز Catalase Anzime	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase
			میانگین مربعات M.S						
Pb chloride	کلرید سرب	2	468.830**	0.048 ns	0.003 ns	0.004 ns	13.926 ns	3.002 **	2.975 **
Cdchloride	کلرید کادمیوم	3	84.511 ns	0.093*	0.065 **	0.009 *	10.436 ns	7.83 **	7.094 **
Pb ×cd	سرب × کادمیوم	6	47.365 ns	0.025 ns	0.066 **	0.012 **	13.441 *	0.241 ns	0.167 *
Error	خطا	24	55.868	0.021	0.008	0.003	5.29	0.127	0.052
C.V	ضریب تغییرات	-	8.59	4.20	16.89	6.69	8.63	8.11	12.60

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

مقایسه میانگین اثرات ساده کلریدسرب بر درصد جوانه‌زنی نهایی نشان داد که غلظت‌های کلریدسرب بر درصد جوانه‌زنی نهایی گیاه جو تأثیر داشت، بیش‌ترین مقدار با ۹۳/۲۹ درصد مربوط به تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و کم‌ترین مقدار با ۸۰/۷۹ درصد مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر بود که با تیمار بدون استفاده از کلریدسرب اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول دو).

بررسی اثر سرب بر جوانه‌زنی در نتایج چراتی و خانلریان (۱۳۸۷) نشان داد که غلظت‌های سرب شامل ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ میکرومول بر لیتر موجب کاهش جوانه‌زنی در هردو رقم Hyola و PF کلزا شد. همان‌طور که از نتایج مشخص است آلودگی

کلریدسرب بر جوانه‌زنی بذر موثر بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد مقداری کلریدسرب برای جوانه لازم به‌نظر می‌رسد. وجود سرب در محیط رشد گیاه، جوانه‌زنی دانه را به‌واسطه جذب آب توسط دانه تحت تاثیر قرارنمی‌دهد، 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 سرب نفوذپذیرتر می‌شود. سربی که در مرحله پایانی جذب آب به داخل جنین نفوذ می‌کند، جوانه‌زنی را به تاخیر می‌اندازد (چراتی و خانلریان، ۱۳۸۷). در پژوهشی اثر سمی سرب ونیز اثرات توام مس و سالیسیلیک اسید بر جوانه‌زنی گیاه ماش پرتو و گوهر مورد بررسی قرارگرفت. باتوجه به نتایج به‌دست آمده درصد و سرعت جوانه‌زنی در هر دو رقم تحت تیمارهای مختلف نیترات سرب یک، دو، سه و چهار میلی‌مول بر لیتر) نسبت به شاهد به صورت معنی‌داری ($P< 0.01$) کاهش یافت (لاری یزدی و همکاران، ۱۳۸۹).

در نتایج آن (An, 2004) مشخص شد غلظت‌های مختلف سرب بر درصد جوانه‌زنی گیاهان اثرات متفاوت دارد به‌عنوان مثال درصد جوانه‌زنی در گیاه ذرت خوشه‌ای (*Sorghum bicolor L.*) در حضور ۸۰ m gPb Kg^{-1}-۶۴۰ سرب در خاک کاهش نشان داد اما در غلظت‌های بالاتر از ۶۴۰ تا ۱۲۸۰ درصد جوانه‌زنی به تدریج افزایش یافت.

در دو گیاه *Cucumis sativus* و گیاه ذرت *Zea mays* درصد جوانه‌زنی تغییر معنی‌داری در غلظت ۸۰ m gPb Kg^{-1}-۱۲۸۰ نشان نداد. در گندم *Triticum aestivum* حتی درصد جوانه‌زنی افزایش نشان داد، اما این افزایش نسبت به گیاه شاهد معنی‌دار نبود.

وزن تر ریشه‌چه

مقایسه میانگین اثرات ساده کلریدکادمیوم بر وزن تر ریشه‌چه نشان داد که غلظت‌های کلریدکادمیوم بر وزن تر ریشه‌چه گیاه جو تأثیر معنی‌داری داشت، بیش‌ترین مقدار با ۰/۴۹ گرم مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۲۵ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر بود که با تیمار ۳۰ و ۶۰ میکرومول در لیتر اختلاف معنی‌دار نداشت. (جدول دو).

کاهش در وزن تر در ارتباط با سمیت کلریدکادمیوم بود. بدین صورت که این ماده سمی می‌تواند سازوکارهای فیزیولوژیکی معمول را مختل کند و در نهایت از این طریق اثرات منفی بر بیوماس داشته باشد. وزن تر و خشک ریشه 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 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 (Bhardwarj *et al*., 2009) بود. وی 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 کرد.

وزن تر ساقه‌چه

مقایسه میانگین اثرات ساده کلریدکادمیوم بر وزن تر ساقه‌چه نشان داد که غلظت‌های کلریدکادمیوم بر وزن تر ساقه‌چه گیاه جو تأثیر داشت، بیش‌ترین مقدار با۰/۹۰۰گرم مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۶۹۳ گرم مربوط به تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر بود (جدول دو). مقایسه میانگین اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر وزن تر ساقه‌چه نشان داد که غلظت‌های کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر وزن تر ساقه‌چه گیاه جو تأثیر داشت، بیش‌ترین مقدار با ۱/۰۲۹ گرم مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدسرب و کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۵۵۱ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و ۶۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم بود (جدول سه). حضور فلزات سنگین در منطقه ریزوسفر و ورود آنها به گیاه باعث کاهش رشد شد و

موجب عدم تعادل سوخت و ساز گشت. این مساله بر عملکرد میتوکندری، فتوسنتز و مقدار کلروفیل اثر منفی گذاشت در نتیجه گیاه رشد نکرد، این امر موجب کاهش وزن اندام هوایی شد. از سوی دیگر یکی از علت‌های مهم آسیب بافتی در گیاهانی که در معرض فلزات سنگین قرارگرفتند، 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. این کاهش در ریشه نسبت به بخش هوایی بیش‌تر محسوس 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 بهاردواج و همکاران (Bhardwaj *et al*., 2009) بود. این پژوهشگران کاهش در وزن کل و وزن تر گیاه لوبیا را در شرایطی که در خاک حاوی۱/۵، ۲، ۲/۵ گرم بر کیلوگرم کادمیوم رشد کرده بودند، را گزارش کردند.

تحقیقات نشان داد با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی رشد طولی ریشه کاهش یافت، درحالی‌که طول اندام هوایی در غلظت کم افزایش و در غلظت‌های بالاتر کاهش داشت. وزن خشک اندام هوایی و ریشه، همچنین تعداد ریشه‌های فرعی با افزایش غلظت کادمیوم کم شد (کریمی و همکاران، ۱۳۸۶).

وزن خشک ساقه‌چه

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که بیش‌ترین مقدار با۰/۲۵۹ گرم مربوط به تیمار عدم مصرف کلریدسرب و عدم مصرف کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۰۷۴ گرم مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و ۶۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم بود (جدول سه).

با توجه به نتایج، میزان وزن تر ریشه 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 مواد مغذی ضروری و همچنین تاثیر سرب بر میکروتوبول‌های موجود در سلول‌های مریستمی مانع رشد گیاه گردید و با کاهش وزن تر، وزن خشک اندام هوایی نیز کاهش یافت. 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 به مقدار ۶۰ میکرومول در لیتر توانسته بالاترین میزان وزن خشک ساقه 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 بهم ریخت 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 هر 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 ۶۰ppm کادمیوم و مس بود. که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

طول ریشه‌چه

مقایسه میانگین اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر طول ریشه‌چه نشان داد که بیش‌ترین مقدار با ۱۰/۵۸ میلی‌متر مربوط به تیمار

بدون استفاده از کلریدسرب و کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۲/۴۵ میلی‌متر مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و ۶۰ میکرومول کلریدکادمیوم بود (جدول سه).

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 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 این گیاه و گیاهان دیگر نیز مشاهده گردید. 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 روی دیواره موجب بروز شکاف در دیواره شده و قدرت ارتجاعی و الاستیکی دیواره را به‌شدت کاهش داد و این پدیده موجب توقف رشد سلول و متعاقبا توقف رشد اندام گردد (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 می‌باشد. 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 نتایج پژوهش حاضر را تایید می‌کند. 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 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 نتایج پژوهش حاضر را تایید می‌کند. محققان گزارش دادند 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 می‌باشد(Mehalesko *et al*., 2010). 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 نشان داد فلزات سنگین ویسکوزیته و قابلیت ارتجاع دیواره سلولی ریشه را در گندم کاهش داد و موجب کاهش رشد طولی ریشه‌چه گردید (Ma, 2004). مقدار فلز سرب در ریشه و اندام هوایی در ارتباط با هم بود. 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 شد که کاهش انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی نتیجه باقیماندن سرب به شکل کمپلکس‌های فلز سنگین- تیول در سلول‌های ریشه می‌باشد (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

مقایسه میانگین اثرات ساده کلریدسرب بر آنزیم کاتالاز نشان داد که غلظت‌های کلریدسرب بر آنزیم کاتالاز گیاه جو تأثیر داشت، بیش‌ترین مقدار با ۴/۸۷ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر استفاده از کلریدسرب و کم‌ترین مقدار با ۳/۸۷ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدسرب بود (جدول دو).

مقایسه میانگین اثرات ساده کلریدکادمیوم بر آنزیم کاتالاز نشان داد بیش‌ترین مقدار با ۵/۴۱ واحد

بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر استفاده از کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۳/۲۷ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدکادمیوم بود (جدول دو).

همان‌طور که از نتایج مشخص است در حضور تنش فلزات سنگین کلریدسرب و کلریدکادمیوم، آنزیم کاتالاز افزایش‌یافت. به‌طورکلی در شرایط تنش فلزات سنگین فعالیت‌های گیاه دچاراختلال می‌گردد. آنزیم کاتالاز برای از بین بردن اثرات پراکسیدهای سمی حاصل از این فلزات فعالیت خود را افزایش داد. ایرانبخش و همکارن (۱۳۸۹) پژوهشی به‌منظور بررسی تاثیر کلریدروی و کلریدسرب 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. حذف مقادیر اضافی و دخالت در تنظیم ظرفیت مقادیر مناسب از پراکسید هیدروژن سلولی به عهده دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز است، ولی آنزیم کاتالاز در این عملکرد نقش موثرتری را ایفا می‌کند. در این آزمایش با افزایش غلظت سرب فعالیت کاتالاز افزایش‌یافت (Lin and Kao, 2000) که نتایج پژوهش حاضر را تایید می‌کند. در آزمایش انجام شده توسط وارما و همکاران (Verma *et al*., 2003) در دانه رست‌های گیاه برنج نشان داد افزایش سرب تا ۱۰۰۰ میکرو-مول باعث کاهش فعالیت کاتالاز در ریشه شد که در تقابل با نتایج این تحقیق است. همچنین کاهش فعالیت کاتالاز همراه با افزایش غلظت کادمیوم در برخی گیاهان به‌علت کاهش در میزان پروتئین‌های گیاه در اثر سمیت این فلز و تنش اکسیداتیو گزارش شد (Vajpaee *et al*., 2000) که در تقابل با نتایج این تحقیق است.

آنزیم اسید فسفاتاز

مقایسه میانگین اثرات کلریدسرب بر آنزیم اسید فسفاتاز نشان داد که غلظت‌های کلریدسرب بر آنزیم اسید فسفاتاز گیاه جو تأثیر داشت، بیش‌ترین مقدار با ۲/۲۷ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدسرب و کم‌ترین مقدار با ۱/۲۸ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر بود (جدول دو).

مقایسه میانگین اثرات ساده کلریدکادمیوم بر آنزیم اسیدفسفاتاز نشان داد که بیش‌ترین مقدار با ۲/۹۷ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار بدون استفاده از کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۹۸ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر بود (جدول دو).

مقایسه میانگین اثرات متقابل کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر آنزیم اسید فسفاتاز نشان داد که بیش‌ترین مقدار با ۳/۳۳ واحد بین‌المللی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب و عدم مصرف کلریدکادمیوم و کم‌ترین مقدار با ۰/۶۶واحد بین‌اللملی بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار۱۲۰ میکرومول در لیترکلریدسرب × استفاده به میزان۹۰ میکرومول در لیترکلریدکادمیوم بود (جدول سه).

با توجه به نتایج کلریدسرب و کلریدکادمیوم سبب کاهش میزان آنزیم فسفاتاز می‌شوند. آنزیم فسفاتاز نقش فیزیولوژیک مهمی در سازگاری بذرهای در حال جوانه‌زنی در شرایط متغیر محیطی دارند. کادمیوم میل ترکیبی شدیدی با گروه‌های سولفیدریل، هیدروکسیل و لیگاندهای حاوی نیتروژن دارد. در نتیجه این عنصر بسیاری از آنزیم‌های مهم را غیرفعال کرد که منجر به اختلال در فتوسنتز، تنفس و سایر فرآیندهای متابولیک در گیاه گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز در برابر تنش‌های اکسیداتیو تحت تاثیر فلزات سنگین کلریدسرب و کلریدکادمیوم در گیاه جو افزایش یافت. فلزات سنگین با کاهش شدید فتوسنتز و انتقال تولیدات فتوسنتزی و تقسیم سلولی، رشد گیاه را به شدت کاهش داد. کادمیوم با اختلال در متابولیسم نیتروژن از طریق مهار فعالیت‌های آنزیمی سبب کاهش تولید پروتئین شد و رشد را متوقف کرد. کاهش رشد می‌تواند به‌دلیل آسیب‌های اکسیداتیو باشد. فسفاتاز 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 آنزیم رادیکال‌های آزاد اکسیژن را کنترل و سیگنال‌های مؤثر در تحمل به تنش ایجاد می‌کنند. آنزیم فسفاتاز از مهم‌ترین آنزیم‌هایی است که فرآیندهای فیزیولوژیک مثل تنظیم فسفات محلول را بر عهده دارند (Shrama *et al*., 2005)، 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. در حضور تنش فلزات سنگین مانند کلریدسرب و کلریدکادمیوم، آنزیم اسید فسفاتاز کاهش پیدا می‌کند که می‌تواند به‌دلیل کاهش جذب عناصر مفید دیگر و در نتیجه کاهش رشد گیاه باشد. 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 که نتایج پژوهش حاضر را تایید می‌کند. بر طبق گزارش محققان، کاهش فعالیت آنزیمی در خاک‌هایآلوده به کادمیوم سبب مختل شدن چرخه عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر و نیتروژن می‌شود. نتایج پژوهش لیو و همکاران (Liu *et al*., 2003) نشان داد که تحت تنش شوری در ریشه و برگ سویای زراعی و وحشی فعالیت آنزیم فسفاتاز افزایش یافت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت نداشت.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ساده سطوح کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر صفات مورد بررسی

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

Treatment	تیمار	درصد جوانه‌زنی نهایی germination percentage %	وزن تر ریشه‌چه F. weight Root (g)	وزن تر ساقه‌چه F.weight 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	80.79^{b}	0.41^{a}	0.81^{a}	0.133^{a}	7.18^{a}	3.87^{c}	2.27^{a}
60 µmol/L	۶۰میکرومول در لیتر	93.29^{a}	0.28^{a}	0.78^{a}	0.096^{a}	5.48^{a}	4.941^{b}	1.86^{b}
120 µmol/L	۱۲۰میکرومول در لیتر	86.90^{b}	0.33^{a}	0.78^{a}	0.122^{a}	5.18^{a}	4.87^{a}	1.28^{c}
Cadmium chloride	کلرید کادمیوم							
Control	شاهد	89.57^{a}	0.49^{a}	0.900^{a}	0.154^{a}	7.38^{a}	3.27^{d}	2.97^{a}
30 µmol/L	۳۰میکرومول در لیتر	88.11^{a}	0.33^{b}	0.776^{ab}	0.131^{ab}	6.17^{a}	4.03^{c}	2.00^{b}
60 µmol/L	۶۰میکرومول در لیتر	82.55^{a}	0.29^{b}	0.693^{b}	0.084^{b}	5.16^{a}	4.83^{b}	1.27^{c}
90 µmol/L	۹۰میکرومول در لیتر	87.73^{a}	0.25^{b}	0.805^{ab}	0.099^{b}	5.08^{a}	5.41^{a}	0.98^{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

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج پژوهش، تیمار ۹۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم باعث کاهش وزن تر ریشه‌چه و آنزیم اسید فسفاتاز و افزایش آنزیم کاتالاز و تیمار ۶۰ میکرومول در لیتر باعث کاهش وزن تر ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه گردید. تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتر کلریدسرب باعث کاهش آنزیم اسید فسفاتاز و افزایش آنزیم کاتالاز گردید. اثرات متقابل تیمار ۱۲۰

میکرومول در لیتر کلریدسرب و ۶۰ میکرومول در لیتر کلریدکادمیوم باعث کاهش وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و در تیمار ۱۲۰ میکرومول در لیتـر کلـریدسرب و ۹۰ میکـرومول در لیتر کلریدکادمیوم باعث کاهش وزن آنزیم اسید فسفاتاز گردید. به‌طورکلی فلزات سنگین کلریدسرب و کلریدکادمیوم به گیاه جو تنش وارد کرد و باعث کاهش رشد در گیاه می‌شوند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کلریدسرب و کلریدکادمیوم بر صفات مورد بررسی

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

تیمار Treatment	وزن تر ساقه‌چه Shoot fresh weight (g)	وزن خشک ساقه‌چه Dry weight of shoot (g)	طول ریشه طول ریشه‌چه Root length (mm)	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase (U.gr.Fw)
بدون استفاده از کلرید سرب × بدون استفاده از کلرید کادمیوم Without the use of lead chloride × without the use of cadmium	1.029^{a}	0.259^{a}	10.58^{a}	3.18^{ab}
بدون استفاده از کلرید سرب × ۳۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم Without the use of lead chloride × 30 µmol/L cadmium chloride	0.724^{cd}	0.097^{bc}	5.89^{cd}	2.56^{ab}
بدون استفاده از کلرید سرب× ۶۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم Without the use of lead chloride × 60 µmol/L cadmium chloride	0.708^{cd}	0.083^{cd}	5.45^{cd}	1.88^{bc}
بدون استفاده از کلرید سرب × ۹۰ میکرومول در لیترکلرید کادمیوم Without the use of lead chloride × 90 µmol/L cadmium chloride	0.791^{c}	0.092^{bc}	6.80^{bc}	1.49^{bc}
۶۰ میکرومول در لیترکلرید سرب × بدون استفاده از کلرید کادمیوم 60 µmol/L of lead × without the use of cadmium chloride	0.926^{ab}	0.11^{b}	4.87^{d}	3.33^{a}
۶۰ میکرومول در لیترکلرید سرب × ۳۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم 60 µmol/L of lead × 30 µmol/L cadmium chloride	0.658^{d}	0.089^{cd}	5.54^{cd}	1.96^{bc}
۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب ×۶۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم 60 µmol/L of lead × 60 µmol/L cadmium chloride	0.821^{bc}	0.095^{bc}	7.58^{b}	1.37^{c}
۶۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب ×۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم 60 µmol/L of lead × 90 µmol/L cadmium chloride	0.744^{cd}	0.090^{c}	3.95d^{e}	0.79^{cd}
۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب × بدون استفاده از کلرید کادمیوم 120 µmol/L of lead × without the use of cadmium chloride	0.744^{cd}	0.093^{bc}	6.70^{c}	2.41^{b}
۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب × ۳۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم 120 µmol/L of lead × µmol/L cadmium chloride	0.947^{ab}	0.207^{ab}	7.08^{bc}	1.5^{bc}
۱۲۰ میکرومول در لیتر کلرید سرب ×۶۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم 120 µmol/L of lead × 60 µmol/L cadmium chloride	0.551^{e}	0.074^{d}	2.45^{e}	0.85^{cd}
۱۲۰ میکرومول در لیترکلرید سرب × ۹۰ میکرومول در لیتر کلرید کادمیوم 120 µmol/L of lead × 90 µmol/L of cadmium chloride	0.782^{cd}	0.115^{b}	4.49^{cd}	0.66^{e}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترکند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چنددامنه‌ای 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 **References**

ایرانبخش، ع.ر. و نقوی، ف. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر روی و کلریدسرب بر جوانه‌زنی و رشد دانه رست‌های سویا، فصلنامه پژوهش‌های علوم گیاهی، شماره پیاپی۲۰، 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 -۱۴۵-۱۵۵.

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.

لاری یزدی، 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 پیش رو)، 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.

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.

زارع، ن. ۱۳۸۵. بررسی اثر تراکم و سطوح کود اوره بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم جو. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه آزاد ارسنجان. ۱۳۱ صفحه.

حاجی نجفی، ا.، ممیزی، م.ر. و شیبانی، ح.ع. ۱۳۹۴. اثر بیوچار در گیاه پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین (سرب) توسط ذرت علوفه‌ای(*Zea mays* L.)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین پایان نامه کارشناسی ارشد.

میرزایی، م.، قوشچی، 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.

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.

Azevedo, R.A., Lea, P.J. 2005. Toxic metals in plants. Braz. J. Plant Physiol. 17:1.

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

Celuse, I., Brijs, K., and Delcour, A. 2006. The effect of malting and mashing on barley protein extractability. Journal of Cereal Science, 44(2), 203-211.

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., Zafar Iqbal, 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.

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.

Lagashetty, A., Vijayanand, H., Basavaraja, S., MallikarJuna, N.N., and Venkataraman, A. 2010. Lead adsorption study on combustion derived γ-Fe2O3 surface. B. Mater. Sci. 33: 1. 1-6.

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 H2O2 metabolism in rice leaves, Plant Growth Regul. 30: 151-/155

Ma, F. 2004. Role of organic acids in detoxification of Aluminum in higher plants. Plant cell physiol. 41: 383 390.

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.

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

Perriguey, J., Sterckeman, T., Morel, J.L. 2007. Effect of rhizosphere and plant related factors on the cadmium uptake by maize (*Zea mays* L.). Environmental and Experimental Botany. 10: 201-215.

Kastori Rudolf, R., Maksimovich Ivana, V., Doroghazi Otto, T., Putnik – Delich Marina, I. 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.

Shafiq, M., Iqbal, M.Z., Athar, M. 2008. Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of Leucaena leucocephala. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 12, 2: 61-66.

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

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

Torres, E., Cid, A., Herrero, C., and Abalde, J. 2000. Effect of Cadmium on growth, ATP content, carbon fixation and ultra structure in the marine diatom Phaeodactylum tricornutum Bohlin. Water, Air, Soil Pollution. 117: 1–14.

Vajpaee, P., Tripathi, R.D., Rai, U.N., Ali, M.B., and Singh, S.N. 2000. Cd Accumulation reduces chlorophyll biosynthesis, Nitrate reductase activity and protein content in Nymphaea albaL. Chemosphere. 41: 1075 –1082.

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., and 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.

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