

## تأثیر کاربرد کادمیوم و سرب بر میزان جذب این عناصر و رشد دو رقم لوبیا چیتی

بابک متشروع زاده<sup>۱\*</sup>، لیلا آقایی<sup>۲</sup>، غلامرضا ثواقبی<sup>۳</sup>

۱. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۳. استاد فقیه گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۳/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۴

### چکیده

در سال‌های اخیر بخش عمده‌ای از اراضی کشاورزی در نتیجه فعالیت‌های صنعتی، معدن‌کاوی، ذوب فلزات، آبیاری با فاضلاب و کوددهی، به فلزات سنگین آلوده شده است و کیفیت خاک و سلامت تولیدات گیاهی را کاهش داده است. این پژوهش به منظور بررسی پاسخ‌های گیاهی دو رقم لوبیا چیتی محلی خمین و G01437 به آلودگی کادمیوم و سرب در شرایط گلخانه و در یک خاک آهکی به اجرا در آمد. در یک آزمایش فاکتوریل و طرح کاملاً تصادفی، کادمیوم در چهار سطح (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به صورت نیترات کادمیوم) و سرب در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به صورت نیترات سرب) به گلدان‌ها اعمال و بذور دو رقم لوبیا کشت گردید. پس از برداشت، وزن خشک، غلظت و جذب کادمیوم و سرب در شاخساره و ریشه تعیین گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کادمیوم و سرب و برهمکنش آنها، بر وزن خشک ریشه و شاخساره معنی‌دار بود. با اینحال تأثیر تیمارها بر پاسخ‌های جذب متفاوت بود. جذب کادمیوم شاخساره در رقم خمین بیشتر از G01437 ولی جذب کادمیوم ریشه در رقم G01437 بیشتر از رقم خمین بود. همچنین جذب سرب شاخساره و ریشه در رقم G01437 بیشتر از رقم خمین بود. بیشترین جذب کادمیوم در شاخساره در تیمار سرب صفر به همراه کادمیوم ۸۰ در رقم خمین (۹/۴۰ میکروگرم در گلدان) و کمترین در تیمار سرب ۵۰ + کادمیوم صفر در رقم G01437 (۱/۲۷ میکروگرم در گلدان) بود. فاکتور انتقال (TF) کادمیوم و سرب با افزایش غلظت آن‌ها در خاک و نیز شاخص پاسخ زیست توده‌ی گیاهی به تنش فلز سنگین (BRS) در هر دو رقم کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، رقم محلی خمین، رقم G01437، فلزات سنگین، تنش

### مقدمه

همه‌ی این مسیرها در افزایش مقادیر فلزات بدن انسان موثر است، اما مسیر خاک-گیاه-انسان مهمترین است (Alexander et al., 2006). کادمیوم و سرب از شایع‌ترین فلزات سنگین آلاینده‌ی خاک‌های کشاورزی هستند (Kabata-Pendias and Pendias, 1991; Davies, 1990). حد بحرانی فلزات سنگین کادمیوم و سرب در خاک به ترتیب ۸-۳ و ۴۰۰-۱۰۰ و در گیاهان به ترتیب ۳۰-۵ و ۳۰۰-۳۰ اعلام شده است (Alloway, 1990). کادمیوم یک عنصر غیر ضروری است که می‌تواند

عناصر سنگین از عمده‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی محسوب می‌شوند که سمیت آن‌ها به دلایل بوم‌شناختی، تکاملی، تغذیه‌ای و محیطی مشکل‌بزرگی به شمار می‌رود (Ghasemi and Shahabi, 2010). با ورود فلزات سنگین به اراضی کشاورزی، آنها می‌توانند توسط گیاهان جذب و در نتیجه وارد زنجیره‌ی غذایی شوند. افزایش مقادیر فلزات سنگین در بدن انسان به علت مصرف محصولات گیاهی رشد کرده در مناطق آلوده به این فلزات، استنشاق ذرات خاک و مصرف آب‌های آلوده به این فلزات می‌باشد. اگر چه

متوسط وزن کاه برنج وجود نداشت و در این شرایط برخی ارقام افزایش وزن و برخی کاهش وزن نشان دادند، ولی در این شرایط متوسط وزن دانه کاهش معنی‌داری داشت. همچنین رشد زایشی برنج بیشتر از رشد رویشی به تنش کادمیوم حساس بود. بر این اساس اثرات کادمیوم بر رشد برنج در ارقام مختلف، متفاوت بود. در پژوهشی، تحمل و تجمع کادمیوم در *Phragmites australis* رشد کرده در غلظت‌های متفاوت کادمیوم، مس و روی بررسی شد (Ali et al., 2004). در تیمارهای کادمیوم، طول ریشه، ارتفاع شاخساره و وزن تر بطور معنی‌داری با افزایش غلظت کادمیوم محلول غذایی، کاهش یافت. تعداد ریشه‌های تیماری که دارای بیشترین غلظت کادمیوم (۱۷/۶ میکرومولار) بود در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد. در تیمارهای مرکب کادمیوم، مس و روی، همه‌ی پارامترهای رشد (وزن تر کل، طول ریشه و بخش هوایی و تعداد ریشه ها) به جز وزن خشک کاهش یافت.

کادمیوم و سرب نه تنها برای سلامتی انسان مضرند بلکه در غلظت‌های زیاد در بافت‌های گیاهی، نیز سمی هستند بنابراین کنترل غلظت کادمیوم و سرب در گیاهان به ویژه در بخش‌های خوراکی برای تضمین امنیت غذایی، مهم و ضروری است. با توجه به اهمیت موضوع و نقش حبوبات به عنوان دومین منبع تامین نیاز غذایی انسان و ارزش تغذیه‌ای زیاد لوبیا و سطح زیر کشت آن در کشور این پژوهش با هدف بررسی پاسخ‌های گیاهی دو رقم لوبیا چیتی محلی خمین و G۰۱۴۳۷ به آلودگی کادمیوم و سرب در شرایط گلخانه به اجرا در آمد.

#### مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش ابتدا به صورت تصادفی نمونه‌های خاکی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک غیر آلوده از مزرعه‌ی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. این خاک از نظر عناصر سنگین نیز فاقد آلودگی بوده و مقادیر این عناصر کمتر از حد بحرانی می‌باشند. جهت انجام آزمایش سطوح فلزات سنگین به صورت کادمیوم (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم)، و سرب (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) انتخاب شدند. این مقادیر بر اساس بررسی منابع و حدود بحرانی فلزات سنگین (کادمیوم: ۳-۸

به آسانی توسط گیاه به علت تحرک زیاد جذب شود، بنابراین می‌تواند نسبت به سایر فلزات آسیب بیشتری به گیاهان برساند (Balsberg-Pahlsson, 1989). این عنصر سبب بروز اختلال در فتوسنتز و فعالیتهای تنفسی، جذب عناصر غذایی، فعالیتهای آنزیمی، وظایف غشاءها و تعادل هورمون‌ها می‌شود (Chien and Kao, 2000). علاوه بر کادمیوم، سرب نیز یک عنصر غیر ضروری است که در طبیعت یافت می‌شود. سرب موجود در غذا می‌تواند ناشی از منابع مختلف باشد، مثلاً جذب توسط گیاهان رشد کرده در خاک‌های دارای سرب زیاد یا در خاک‌هایی که آفت کش‌های حاوی آرسنات سرب به آن‌ها اضافه شده است (Merian, 1991).

زیقینگ و همکاران (Zhiqiang et al., 2009) اثرات متقابل کادمیوم و سرب را بر رشد و جوانه‌زنی چهار رقم کلم *Dongyangchunxia*، *Kangbingjinchun* (KB)، *Qiangshi* (QS) و *Qinglvwang* (QL) (DY) مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی بذر گیاهان مورد مطالعه در معرض غلظت‌های مختلفی از کادمیوم (صفر، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ میلی گرم در لیتر) و سرب (صفر، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ میلی گرم در لیتر) قرار گرفتند. نتایج نشان داد تحت تنش سرب، طول ریشه و شاخساره‌ی همه‌ی ارقام مورد مطالعه بطور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین وقتی سطوح کادمیوم به تیمارهای سرب اضافه شد، بطور مشخصی، میزان کاهش بیشتر شد. این محققان دریافتند ریشه‌ها به آلودگی کادمیوم و سرب خیلی حساس هستند. در پژوهش دیگری محققان گزارش کردند که نعنای و ریحان در تیمارهای کادمیوم-سرب، کادمیوم-مس و کادمیوم-سرب-مس، دارای کادمیوم کمتری نسبت به تیمار کادمیوم هستند (Zheljazkov et al., 2006). این اثر کاهش جذب کادمیوم به علت رقابت سرب و مس با کادمیوم در محیط رشد است. اثر هر یک از فلزات کادمیوم و سرب بر جذب دیگری توسط گیاهان وقتی که هر دو در مقادیر قابل توجهی در خاک وجود دارند، بررسی شده است. اگر این اثر، جذب فلز توسط گیاه را کاهش دهد، ممکن است مفید واقع شود اما اگر جذب فلز را افزایش دهد، می‌تواند مضر واقع شود (Xian, 1988).

پژوهشگران برهمکنش کادمیوم و جذب و تجمع پنج عنصر غذایی را در برنج بررسی کردند (Liu et al., 2003). نتایج نشان داد که تحت تنش کادمیوم تغییر معنی‌داری در

فواصل کوتاه (بسته به دوره ی رشد گیاه) تا رسیدن به ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه با آب مقطر آبیاری شدند. مدت زمان روشنایی با توجه به دوره ی رشد بین ۱۲-۱۴ ساعت در روز تنظیم شد. دمای گلخانه هم بین ۳۰-۲۰ درجه سلسیوس در طول شبانه روز متغیر بود. در طول دوره داشت بر اساس نتایج آزمون خاک کودهای مورد نیاز شامل اوره و نیترات پتاسیم برای تامین نیاز نیتروژنی و پتاسیمی گیاه همراه با آب آبیاری مصرف گردید تا کمبودی در آزمایش برای گیاهان ایجاد نشود. آزمایش به مدت ۷۵ روز ادامه یافت. سپس گیاهان برداشت و شاخساره و ریشه ی آن‌ها در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون خشک شدند. سپس وزن خشک آن‌ها اندازه گیری و آسیاب شدند. عصاره ی گیاهی به روش سوزاندن خشک و ترکیب با HCl به دست آمد (Emami, 1996) و در نهایت غلظت کادمیوم و سرب در نمونه های شاخساره و ریشه ی گیاهان با دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA 6400 قرائت شد. به علت تغییرات غلظت در اثر رشد گیاه و بروز پدیده ی رقت از پارامتر جذب برای بیان نتایج استفاده گردید که نسبت به غلظت، پارامتر معتبری است. برای محاسبه ی میزان جذب عناصر از رابطه ی یک استفاده شد (Muraghan and Kenneth, 1999).

رابطه [۱]

$$\text{جذب} \left( \frac{\text{میکروگرم}}{\text{گلدان}} \right) = \text{غلظت} \left( \frac{\text{میلی گرم}}{\text{کیلوگرم}} \right) \times \text{وزن خشک} \left( \frac{\text{گرم}}{\text{گلدان}} \right)$$

فاکتور انتقال<sup>۱</sup> فلزات سنگین نیز بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد:

$$\text{TF} = \frac{C_{\text{aerial}}}{C_{\text{root}}} \quad \text{رابطه [۲]}$$

نسبت غلظت فلز سنگین در شاخساره به غلظت فلز سنگین در ریشه است (Zhi-Xin et al., 2007).

داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت، مقایسه میانگین ها نیز با آزمون دانکن در سطح ۵٪ انجام شد.

## نتایج و بحث

### وزن خشک شاخساره

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر وزن خشک شاخساره در سطح ۱٪ معنی دار بود. رقم خمین

و سرب ۴۰۰-۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) از یک سو (Kabata-Pendias and Pendias, 1991; Alloway, 1990) و نیز عدم نیاز گیاهان به عناصر فوق و بروز تنش حتی در مقادیر کم انتخاب گردید. برای اعمال تیمارهای فلزات سنگین از نمک های نیترات کادمیوم  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  و نیترات سرب  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  استفاده شد. خاک به طریق پاشش محلول نمک های فلزی مورد نظر به لایه های خاک، آلوده گردید و سپس خاک های آلوده تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند تا حد امکان برهمکنش های آلاینده و خاک تکوین یافته و شرایط آلودگی طبیعی تر شود. به منظور اطمینان از تعادل فلز با خاک، دو ماه در این حالت نگهداری گردید (Yizong et al., 2009).

این تحقیق بصورت یک آزمایش فاکتوریل و طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه ای اجرا شد. در این مطالعه از گلدان های پلاستیکی ۲ کیلوگرمی استفاده شد. به هر گلدان ۲ کیلوگرم خاک هوا خشک که قبلا از الک ۴ میلی متری عبور داده شده بود، اضافه شد. یادآور می شود که این خاک بسته به سطوح آلودگی و تیمارهای اعمال شده فلزات سنگین، در دوره انکوباسیون نگهداری شد و سپس برای کشت بذور لوبیا مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به طول دوره آزمایش و تامین عناصر غذایی به کمک کود و با توجه به نتایج آزمون خاک، به نظر می رسد کمبودی از نظر عناصر غذایی برای گیاهان ایجاد نگردیده است. ضمنا با توجه به وجود نیترات در تیمارهای نیترات سرب و نیترات کادمیوم، به منظور دقت بیشتر در انجام آزمایش، مقدار نیتروژن اضافه شده در این تیمارها از منبع اوره به سایر گلدان ها نیز اضافه گردید. بذر دو رقم لوبیا چیتی محلی خمین و G01437 از ایستگاه ملی تحقیقات لوبیا خمین در استان مرکزی تهیه و قبل از کشت ضدعفونی شدند. به این صورت که ابتدا چند دقیقه در آب خیسانده و سپس در داخل لامینار به مدت ۱۵ ثانیه در الکل ۹۶٪ قرار گرفتند و بعد از آن به مدت ۱ دقیقه در محلول ۱ به ۱۰ هیپو کلریت سدیم و آب قرار گرفتند و بعد آن چند بار با آب مقطر استریل شسته شدند و بعد از انجام این مراحل آماده ی کشت شدند. پس از آماده سازی گلدان ها، بذر مورد نظر با تراکم بیشتر و در عمق دو سانتی متری کشت شدند. بعد از سبز شدن، تعداد ۲ گیاهچه قوی در هر گلدان حفظ شد و بقیه تنک شدند. برای دوری از تنش رطوبتی، گلدان ها هر روز توزین و با

کاهش نشان داد (جدول ۵). خاطر نشان می‌رسد هدف محققان از این آزمایش، بررسی توان گیاه پالایی لوبیا نبوده بلکه بررسی احتمال جذب آلاینده‌های کادمیوم و سرب به تنهایی و نیز برهمکنش آنها در این شرایط توسط لوبیاست لذا بر این اساس بررسی صفات عملکردی نظیر ماده خشک شاخساره پارامتر مهمی است و در این تحقیق، بذریگیری صورت نگرفته و گیاهان قبل از ورود به دوره زایشی برداشت شده‌اند. ضمن آنکه انتقال عناصر در دوره زایشی دارای الگوی متفاوتی از دوره رویشی می‌باشد و لذا در این تحقیق بررسی نشده است.

دارای وزن خشک بیشتری (۱/۹۸ گرم در گلدان) نسبت به رقم G01437 (۱/۷۵ گرم در گلدان) بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک شاخساره (۲/۲۵ گرم در گلدان) در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین وزن (۱/۵۹ گرم در گلدان) در تیمار ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم به دست آمد. با افزایش غلظت کادمیوم خاک، وزن خشک شاخساره، کاهش نشان داد (جدول ۴). بیشترین وزن خشک شاخساره (۲/۰۶ گرم در گلدان) در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و کمترین وزن (۱/۵۹ گرم در گلدان) در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب خاک نیز وزن خشک شاخساره،

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Some soil physical and chemical properties				
Properties	مقدار Value	خصوصیت Properties	مقدار Value	
Sand (%)	33.20	فسفر قابل جذب ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	15.88	
Sand (%)	37.00	پتاسیم قابل جذب ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	187.37	
Clay (%)	29.80	کلسیم محلول ( $\text{meq.l}^{-1}$ )	35.00	
Soil Texture	Clay Loam	منیزیم محلول ( $\text{meq.l}^{-1}$ )	15.60	
FC (%)	20.73	سدیم محلول ( $\text{meq.l}^{-1}$ )	5.98	
OC (%)	0.97	نسبت جذب سدیم	1.19	
Ec ( $\text{dS.m}^{-1}$ )	5.00	آهن قابل جذب* ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	7.44	
pH	8.00	روی قابل جذب* ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	1.80	
CEC ( $\text{cmolc.kg}^{-1}$ )	11.10	مس قابل جذب* ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	3.90	
Total N (%)	0.10	سرب قابل جذب* ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	2.35	
		کادمیوم قابل جذب* ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	0.6	
		Cd ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )		

\* قابل استخراج با DTPA

\* DTPA Extractable

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده دو رقم لوبیا چیتی تحت تاثیر مقادیر مختلف کادمیوم و سرب در خاک.

Table 2. Variance analysis results of measured parameters in two pinto-bean cultivars as affected by different soil cadmium and lead concentrations.

S.O.V	منابع تغییرات	df	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه	کادمیوم شاخساره	کادمیوم ریشه	سرب شاخساره	سرب ریشه	فاکتور انتقال کادمیوم	فاکتور انتقال سرب
			Shoot dry weight	Root dry weight	Shoot Cadmium	Root Cadmium	Shoot Lead	Root Lead	Cd TF	Pb TF
Cultivar	رقم	1	1.22**	0.75**	26.054**	75886.726**	110.856**	795.401**	0.011*	0.995**
Cadmium	کادمیوم	3	1.92**	0.01**	135.704**	267102.600**	22.556**	78.228**	0.116**	0.017**
Lead	سرب	3	0.96**	0.03**	7.274**	2600.376 <sup>ns</sup>	493.854**	5671.464**	0.002 <sup>ns</sup>	0.590**
Cultivar*Cadmium	رقم*کادمیوم	3	0.003 <sup>ns</sup>	0.002**	3.963**	10917.485**	8.534**	68.360**	0.005 <sup>ns</sup>	0.013**
Cultivar*Lead	رقم*سرب	3	0.04**	0.01**	5.764**	595.062 <sup>ns</sup>	22.841**	489.624**	0.001 <sup>ns</sup>	0.39**
Cadmium*Lead	کادمیوم*سرب	9	0.08**	0.002**	0.630**	2075.213 <sup>ns</sup>	2.490 <sup>ns</sup>	37.289**	0.003 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>
Cultivar*Cadmium*Lead	رقم*کادمیوم*سرب	9	0.01 <sup>ns</sup>	0.002**	0.456*	378.592 <sup>ns</sup>	2.115 <sup>ns</sup>	8.357**	0.004 <sup>ns</sup>	0.007**
Error	خطا	64	0.01	0.0005	0.187	1171.923	1.401	2.260	0.002	0.002

\*\*، \*، ns به ترتیب معنی دار در سطوح یک درصد و پنج درصد وعدم معنی دار

\* and \*\* significant ap P<0.01 and P<0.05, respectively

با افزایش غلظت کادمیوم و سرب کاهش یافت ( Zhi-Xin et al., 2007). بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم و سرب بر وزن خشک شاخساره در سطح ۱٪ معنی دار می باشد. بیشترین وزن در تیمار صفر میلی گرم سرب در رقم خمین (۲/۱۳ گرم در گلدان) و کمترین در تیمار ۲۰۰ میلی گرم سرب در رقم G01437 (۱/۴۳ گرم در گلدان) حاصل شد. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، وزن خشک شاخساره کاهش یافت (جدول ۷). براساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر وزن خشک شاخساره معنی دار نمی باشد.

#### وزن خشک ریشه

بر اساس نتایج جدول ۲ اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر وزن خشک ریشه در سطح ۱٪ معنی دار گردید. رقم G01437 دارای وزن خشک بیشتری نسبت به رقم خمین بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین وزن در تیمار صفر میلی گرم در

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر وزن خشک شاخساره در سطح ۱٪ معنی دار بود. رقم خمین دارای وزن خشک بیشتری (۱/۹۸ گرم در گلدان) نسبت به رقم G01437 (۱/۷۵ گرم در گلدان) بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک شاخساره (۲/۲۵ گرم در گلدان) در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین وزن (۱/۵۹ گرم در گلدان) در تیمار ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم به دست آمد. با افزایش غلظت کادمیوم خاک، وزن خشک شاخساره، کاهش نشان داد (جدول ۴). بیشترین وزن خشک شاخساره (۲/۰۶ گرم در گلدان) در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم سرب و کمترین وزن (۱/۵۹ گرم در گلدان) در تیمار ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب خاک نیز وزن خشک شاخساره، کاهش نشان داد (جدول ۵).

پژوهشگران در بررسی تجمع کادمیوم و سرب در شاخساره گیاهان آفتابگردان، کرچک، یونجه و خردل در کشت هیدروپونیک، نشان دادند که زیست توده گیاهان

افزایش مقادیر، می‌تواند باعث تحریک رشد گیاه گردد (Zhiqiang et al., 2009).

بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر وزن خشک ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین وزن در تیمار سرب صفر + کادمیوم ۴۰ در رقم G01437 و کمترین در تیمار سرب ۲۰۰ + کادمیوم صفر در رقم خمین بود. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، وزن خشک ریشه کاهش یافت. در رقم G01437 با افزایش کادمیوم خاک تا ۴۰ میلی‌گرم، وزن خشک ریشه افزایش یافت اما بعد از آن در تیمار کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، کاهش یافت. در رقم خمین، می‌توان گفت با افزایش کادمیوم خاک، وزن خشک ریشه افزایش یافت (جدول ۸).

#### جذب کادمیوم در شاخساره

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق، ارائه شده و ملاحظه می‌گردد که از نظر بافت و سایر خصوصیات برای رشد لوبیا مناسب می‌باشد. شاید تنها محدودیت قابل اشاره در این خاک، قابلیت هدایت الکتریکی آن باشد که امکان ایجاد تنش بر گیاهان داشته باشد. بر اساس گزارش سینگ و مک لاگالین (Singh and McLaughlin, 1999)، شوری با افزایش زیست‌فراهمی کادمیوم و افزایش انحلال آن از طریق آنیون موجود در ترکیب نمک، می‌تواند سبب افزایش انتقال و تحرک این فلز سنگین گردد.

بر اساس نتایج جدول ۲ اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر جذب کادمیوم در شاخساره در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید. رقم خمین دارای جذب کادمیوم در شاخساره بیشتری نسبت به رقم G01437 بود (جدول ۳). بیشترین جذب کادمیوم شاخساره در تیمار ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین جذب در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم بود (شکل ۱). با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب کادمیوم در شاخساره افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین جذب کادمیوم شاخساره در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و کمترین جذب در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب خاک، جذب کادمیوم در شاخساره کاهش یافت (جدول ۵).

بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم و کادمیوم بر جذب کادمیوم در شاخساره در سطح ۱٪

کیلوگرم کادمیوم به دست آمد. با افزایش غلظت کادمیوم خاک، وزن خشک ریشه افزایش یافت، اما وزن خشک ریشه در تیمار ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم کمتر از تیمار ۴۰ میلی‌گرم بود (جدول ۴). بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و کمترین وزن در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب بود که به ترتیب برابر ۰/۴۵۶ و ۰/۳۶۵ گرم در گلدان بود. با افزایش غلظت سرب خاک، وزن خشک ریشه کاهش یافت (جدول ۵).

محققان گزارش کردند فلزات سنگین به دلیل دخالت در مراحل مختلف چرخه‌ی کلونین، اثر بازدارنده‌ای بر فتوسنتز دارند (Habash et al., 1995). اگرچه در گزارش‌هایی غلظت‌های کم کادمیوم در محدوده بحرانی (حدود ۲ تا ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، بواسطه تاثیر بر سنتز هورمون‌ها و آنزیم‌های گیاهی، سبب بهبود رشد *Ricinus communis* (کریچک) (Lu and He, 2002) و گندم (Wong et al., 2002) گردید.

بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم و کادمیوم بر وزن خشک ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین وزن در تیمار ۴۰ میلی‌گرم کادمیوم در رقم G01437 و کمترین در تیمار سطح صفر کادمیوم در رقم خمین بود. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، وزن خشک ریشه افزایش یافت اما در رقم G01437، وزن خشک ریشه در تیمار ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم کاهش یافت (جدول ۶).

بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم و سرب بر وزن خشک ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. بیشترین وزن در تیمار صفر میلی‌گرم سرب در رقم G01437 (۰/۵۷ گرم در گلدان) و کمترین در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم سرب در رقم خمین (۰/۳۰ گرم در گلدان) بود. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، وزن خشک ریشه کاهش یافت، اما در رقم خمین، وزن خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم سرب بیشتر از تیمار صفر میلی‌گرم سرب بود (جدول ۷). در بررسی تاثیر فلز سنگین سرب بر رشد کلم گزارش شد وزن خشک گیاهان بعد از ۴۳ روز از رشد در محیط آلوده به سرب، در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش یافت بطوری که در غلظت‌های بالای سرب، وزن خشک بیشتر کاهش یافت (Sinha et al., 2006). در تحقیقی، زیست‌توده‌ی گیاهچه‌های کلم پنج تا ۱۵ درصد، تحت تنش سرب افزایش یافت. به عقیده این پژوهشگران،

کادمیوم و دیگر عناصر ممکن است اشاره به حضور سازوکارهای انتقال مشابه داشته باشند ( Grant et al., 1997).

#### جذب کادمیوم در ریشه

بر اساس نتایج جدول ۲ اثرات رقم و کادمیوم بر جذب کادمیوم در ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود، اما اثر اصلی سرب بر جذب کادمیوم در ریشه معنی‌دار نبود. رقم G01437 دارای جذب کادمیوم در ریشه بیشتری نسبت به رقم خمین بود (جدول ۳). بیشترین جذب کادمیوم در ریشه در تیمار ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین جذب در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم بود. با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب کادمیوم در ریشه گیاهان لوبیا نیز افزایش یافت (جدول ۴).

بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم و کادمیوم بر جذب کادمیوم در ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین جذب در تیمار ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در رقم G01437 و کمترین در تیمار صفر میلی‌گرم کادمیوم در رقم خمین به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب کادمیوم در ریشه افزایش یافت (جدول ۶). برهمکنش رقم و سرب بر جذب کادمیوم در ریشه معنی‌دار نمی‌باشد. بیشترین جذب سرب در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم سرب رقم G01437 و کمترین در تیمار ۵۰ میلی‌گرم سرب رقم خمین سرب به دست آمد (جدول ۷). همچنین بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر جذب کادمیوم در ریشه معنی‌دار نبود.

معنی‌دار می‌باشد. بیشترین جذب در تیمار ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در رقم خمین و کمترین در تیمار صفر میلی‌گرم کادمیوم در رقم G01437 به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب کادمیوم در شاخساره افزایش یافت (جدول ۶).

بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم و سرب بر جذب کادمیوم در شاخساره در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. بیشترین جذب در تیمار صفر میلی‌گرم سرب در رقم خمین و کمترین در تیمار ۵۰ میلی‌گرم سرب در رقم G01437 به دست آمد (جدول ۷). همچنین بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر جذب کادمیوم در شاخساره در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید. بیشترین جذب در تیمار سرب صفر + کادمیوم ۸۰ در رقم خمین و کمترین در تیمار سرب ۵۰ + کادمیوم صفر در رقم G01437 بود. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، جذب کادمیوم در شاخساره کاهش یافت (جدول ۸).

مطابق با نتیجه‌ی این تحقیق، در بررسی ژن-زین و همکاران (Zhi-Xin et al., 2007) حضور همزمان کادمیوم و سرب بر تجمع کادمیوم و سرب گونه‌های مختلف گیاهی اثر بازدارنده ای داشت. یعنی حضور یک فلز در محیط توانست جذب فلز دیگر محیط را در گیاه کاهش دهد. پژوهشگران، گزارش کردند تجمع کادمیوم در گیاهان نه تنها به غلظت کادمیوم محلول بلکه به غلظت سرب محلول نیز بستگی دارد (Liu et al., 2008). به عبارت دیگر، سرب به تجمع کادمیوم گیاه کمک کرد در حالی‌که کادمیوم از تجمع سرب در شاخساره‌ها جلوگیری کرد. برهمکنش بین

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر رقم بر صفات اندازه گیری شده

Table 3. Comparison of cultivar effect mean on measured parameters

رقم	وزن خشک		جذب کادمیوم		جذب سرب		فاکتور انتقال کادمیوم	فاکتور انتقال سرب
	وزن خشک شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه	Cd TF	Pb TF
Cultivar	Shoot dry weight	Shoot Cd uptake	Shoot Pb uptake	Root Cd uptake	Root Pb uptake	Root Pb uptake		
	gr pot <sup>-1</sup>			μg pot <sup>-1</sup>				
G01437	1.75 <sup>b</sup>	0.508 <sup>a</sup>	4.41 <sup>b</sup>	160.15 <sup>a</sup>	16.667 <sup>a</sup>	25.207 <sup>a</sup>	0.061 <sup>a</sup>	0.350 <sup>a</sup>
خمین Khomein	1.98 <sup>a</sup>	0.330 <sup>b</sup>	5.45 <sup>a</sup>	103.93 <sup>b</sup>	14.518 <sup>b</sup>	19.450 <sup>b</sup>	0.039 <sup>b</sup>	0.147 <sup>b</sup>

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (P<0.05)

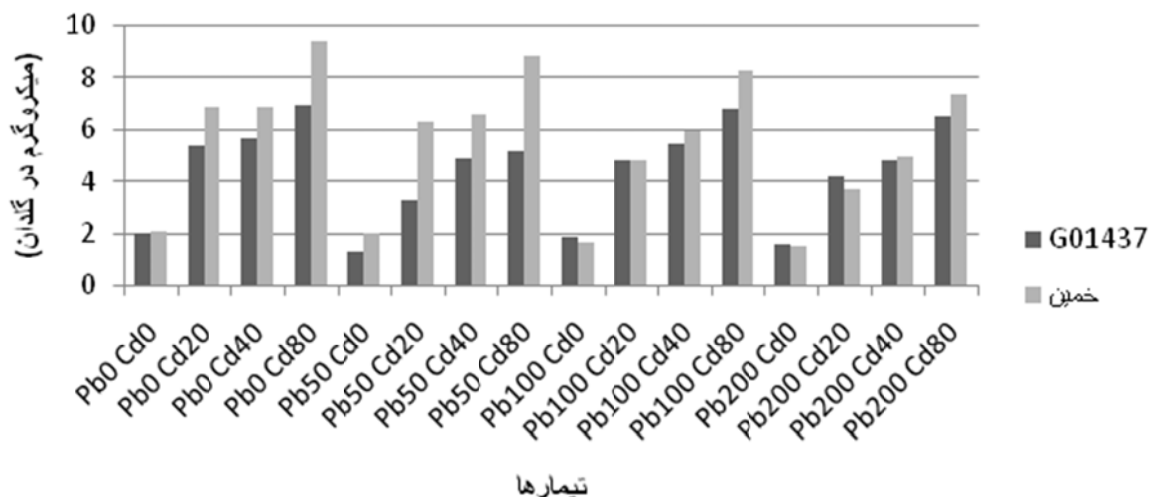
جدول ۴. مقایسه میانگین اثر سطوح کادمیوم بر صفات اندازه گیری شده

Table 4. Comparison of cadmium levels effect mean on measured parameters

سقوط کادمیوم Cadmium Treatments mg.kg <sup>-1</sup>	جذب کادمیوم		جذب کادمیوم		جذب سرب		فاکتور انتقال کادمیوم	فاکتور انتقال سرب
	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	شاخساره Shoot Cd uptake	ریشه Root Cd uptake	شاخساره Shoot Pb uptake	ریشه Root Pb uptake	Cd TF	Pb TF
	gr pot <sup>-1</sup>		µg pot <sup>-1</sup>		µg pot <sup>-1</sup>			
0	2.25 <sup>a</sup>	0.38 <sup>b</sup>	1.73 <sup>d</sup>	1.96 <sup>d</sup>	14.17 <sup>b</sup>	19.70 <sup>c</sup>	0.154 <sup>a</sup>	0.213 <sup>c</sup>
20	1.90 <sup>b</sup>	0.42 <sup>a</sup>	4.92 <sup>c</sup>	102.50 <sup>c</sup>	15.76 <sup>a</sup>	22.94 <sup>b</sup>	0.011 <sup>b</sup>	0.241 <sup>b</sup>
40	1.72 <sup>c</sup>	0.43 <sup>a</sup>	5.65 <sup>b</sup>	174.08 <sup>b</sup>	16.17 <sup>a</sup>	23.83 <sup>a</sup>	0.008 <sup>b</sup>	0.266 <sup>ab</sup>
80	1.59 <sup>d</sup>	0.42 <sup>a</sup>	7.42 <sup>a</sup>	249.62 <sup>a</sup>	16.26 <sup>a</sup>	22.82 <sup>b</sup>	0.027 <sup>b</sup>	0.274 <sup>a</sup>

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد هستند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (LSD)



شکل ۱. مقایسه اثر تیمارهای غلظت سرب و کادمیوم بر جذب کادمیوم شاخساره در ارقام G01437 و خمین

Fig. 1. Comparison of lead and cadmium concentration treatments on shoot cadmium uptake in G01437 and khomein cultivars.

ریشه‌های *Impatiens balsamina* بیشتر از سایر قسمت‌ها بود (Liu et al., 2008). این امر، بیانگر آن است که انتقال کادمیوم از ریشه به شاخساره ضعیف بود و کادمیوم جذب شده بیشتر در ریشه ها تجمع یافته بود. همچنین، با افزایش مقدار کادمیوم محیط، غلظت کادمیوم تمام بخش‌های گیاهان افزایش یافت. در بررسی زلجازکوف و همکاران (Zheljazkov et al., 2006) نیز در نعنای و ریحان تقریباً غلظت کادمیوم در شاخساره ها کمتر از ریشه ها بود. در

در این تحقیق غلظت کادمیوم در ریشه ی لوبیا بیشتر از شاخساره بود. پژوهشگران نشان داده‌اند که در برنج، تفاوت-های معنی‌داری در تجمع کادمیوم قسمت‌های مختلف ارقام مختلف برنج وجود داشت (Liu et al., 2003). برخی ارقام در ریشه‌ها کادمیوم بیشتر و در شاخساره کادمیوم کمتری جذب کردند و برخی دیگر غلظت کمتری را در ریشه و غلظت بیشتری در شاخساره نشان دادند. مطابق با نتیجه‌ی این تحقیق، پژوهشگران نشان دادند که تجمع کادمیوم در



آلاینده (کادمیوم/سرب)، در مطالعات تنش و مقاومت گیاهان، با اعتبار سنجی بالاتری می توان از این صفت استفاده نمود. بر این اساس جذب سرب شاخساره در رقم G01437 تفاوت آماری معنی داری با رقم محلی خمین نشان داد (جدول ۳).

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، برهمکنش رقم و کادمیوم بر جذب سرب در شاخساره در سطح ۱٪ معنی دار بود. بیشترین جذب در تیمار ۴۰ میلی گرم کادمیوم در رقم G01437 و کمترین در تیمار صفر میلی گرم کادمیوم در رقم خمین به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب سرب در شاخساره گیاهان افزایش یافت (جدول ۶).

بر اساس نتایج جدول ۲، برهمکنش رقم و سرب بر جذب سرب در شاخساره در سطح ۱٪ معنی دار می باشد. بیشترین جذب در تیمار ۱۰۰ میلی گرم سرب در رقم G01437 و کمترین در تیمار صفر میلی گرم سرب در رقم خمین به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، جذب سرب در شاخساره گیاهان افزایش یافت (جدول ۷). برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر جذب سرب در شاخساره معنی دار نبود (جدول ۲).

#### جذب سرب در ریشه

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر غلظت سرب در ریشه در سطح ۱٪ معنی دار بود. رقم G01437 دارای جذب سرب در ریشه بیشتری نسبت به رقم خمین بود (جدول ۳). بیشترین جذب سرب در ریشه در تیمار ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین جذب در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم بود. با افزایش غلظت کادمیوم خاک تا ۴۰ میلی گرم، جذب سرب در ریشه گیاهان افزایش یافت. اما بعد از آن در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم، کمی کاهش یافت (جدول ۴). بیشترین جذب سرب ریشه در تیمار ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سرب و کمترین جذب در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب در خاک، جذب سرب در ریشه گیاهان افزایش یافت (جدول ۵).

برهمکنش رقم و کادمیوم بر جذب سرب در ریشه در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین جذب در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم در رقم G01437 و کمترین در تیمار صفر میلی گرم کادمیوم در رقم خمین به دست آمد. در رقم

تحقیق دیگری نتایج مشابهی در تجمع کادمیوم ریشه خزه (reed) اعلام شد (Ali et al., 2004). گزارش شده است که کادمیوم به راحتی از پوست ریشه جذب، سپس از راه سیمپلاستی یا آپوپلاستی وارد بافت چوب می شود (Sanita and Toppi, 1999). مطابق با این تحقیق، گزارش شده است که در اغلب گونه های گیاهی کادمیوم در ریشه تجمع می یابد و مقدار کمی به بخش هوایی منتقل می شود. کادمیوم اغلب در واکوئل سلول ها، دیواره سلول و تیغه میانی آندودرم و دایره ی محیطیه تجمع می یابد (Ramos et al., 2002). گزارش شده است که تجمع کادمیوم در ریشه های چغندر قند ۵ تا ۱۰ برابر بیش از اندام هوایی آن بوده است و در سویا نیز فقط ۲٪ کادمیوم انباشته شده به بخش هوایی منتقل می شود (Larsson et al., 1998). بیشتر کادمیوم جذب شده توسط ریشه ها در واکوئل ها به صورت کمپلکس های Cd-phytochelatin تجمع می یابد که این کمپلکس ها قادر به انتقال به اندام های هوایی نیستند (Cohen et al., 1998).

#### جذب سرب در شاخساره

بر اساس نتایج جدول ۲ اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر جذب سرب در شاخساره در سطح ۱٪ معنی دار بود. رقم G01437 دارای جذب سرب در شاخساره بیشتری نسبت به رقم خمین بود (جدول ۳). بیشترین جذب سرب در شاخساره در تیمار ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین جذب در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم بود. با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب سرب در شاخساره گیاهان افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین جذب سرب در شاخساره در تیمار ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سرب و کمترین جذب در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب خاک، جذب سرب در شاخساره گیاهان افزایش یافت اما در مجموع جذب سرب در تیمار ۲۰۰ میلی گرم سرب کمتر از تیمار ۱۰۰ میلی گرم سرب بود و این به آن دلیل بود که وزن خشک شاخساره گیاهی در تیمار ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سرب کمتر از تیمار ۱۰۰ میلی گرم سرب بود (جدول ۵). بر اساس گزارش آلوی (Alloway, 1990) حد بحرانی کادمیوم در گیاهان ۳۰-۵۰ و برای سرب ۳۰۰-۳۰ میلی گرم در کیلوگرم بافت گیاهی اعلام شده است. با توجه به تاثیر پذیری پارامتر جذب از دو پارامتر ماده خشک تولیدی گیاه و غلظت

بیشترین غلظت در تیمار سرب ۲۰۰ + کادمیوم و کمترین در تیمار سرب صفر + کادمیوم صفر در رقم G01437 به دست آمد (جدول ۸).

در این تحقیق جذب سرب در ریشه ی لوبیا تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم سرب در خاک، کمتر از شاخساره بود. اما بعد از آن در ریشه‌ها بیشتر از شاخساره بود. و جذب سرب در ریشه‌ها کمتر از جذب کادمیوم در ریشه‌ها بود. مطابق با نتیجه ی این تحقیق، لی‌یو و همکاران (Liu et al., 2008) نشان دادند که در گیاهان زینتی در تیمارهای مختلف، تجمع سرب در بخش‌های مختلف گیاهان متفاوت بود و غلظت سرب شاخساره‌ها کمتر از ریشه‌ها بود. ضمن آن که در مقایسه با کادمیوم، تجمع سرب در گیاهان کمتر بود.

G01437 با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب سرب در ریشه، افزایش یافت. در رقم خمین با افزایش غلظت کادمیوم خاک تا ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، جذب سرب در ریشه افزایش یافت، اما در غلظت ۸۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک، کاهش یافت (جدول ۶).

بر اساس نتایج جدول ۲، برهمکنش رقم و سرب بر جذب سرب در ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید. بیشترین جذب در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم سرب و کمترین در تیمار صفر میلی‌گرم سرب در رقم G01437 به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، جذب سرب در ریشه گیاهان افزایش یافت (جدول ۷). بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر جذب سرب در ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر سطوح سرب بر صفات اندازه‌گیری شده

Table 5. Comparison of lead levels effect mean on measured parameters

سب	وزن خشک	جذب کادمیوم	جذب کادمیوم	جذب سرب	جذب سرب	فاکتور انتقال کادمیوم	فاکتور انتقال سرب	
(mg.kg <sup>-1</sup> )	(gr.pot <sup>-1</sup> )	(µg.pot <sup>-1</sup> )	(µg.pot <sup>-1</sup> )	(µg.pot <sup>-1</sup> )	(µg.pot <sup>-1</sup> )	Cd TF	Pb TF	
Lead treatments	Shoot dry weight	Root dry weight	Shoot Cd uptake	Root Cd uptake	Shoot Pb uptake	Root Pb uptake		
0	2.067 <sup>a</sup>	0.456 <sup>a</sup>	5.659 <sup>a</sup>	134.355 <sup>ab</sup>	8.935 <sup>d</sup>	6.148 <sup>d</sup>	0.042 <sup>a</sup>	0.458 <sup>a</sup>
50	1.956 <sup>b</sup>	0.426 <sup>b</sup>	4.797 <sup>b</sup>	120.589 <sup>b</sup>	16.622 <sup>c</sup>	13.913 <sup>c</sup>	0.063 <sup>a</sup>	0.286 <sup>b</sup>
100	1.852 <sup>c</sup>	0.431 <sup>b</sup>	4.950 <sup>b</sup>	145.180 <sup>a</sup>	18.911 <sup>a</sup>	28.550 <sup>b</sup>	0.054 <sup>a</sup>	0.158 <sup>c</sup>
200	1.597 <sup>d</sup>	0.365 <sup>c</sup>	4.330 <sup>c</sup>	128.050 <sup>ab</sup>	17.903 <sup>b</sup>	40.702 <sup>a</sup>	0.040 <sup>a</sup>	0.103 <sup>d</sup>

(در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند)

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (LSD)

رقم خمین (۰/۰۳۹) بود (جدول ۳). بیشترین فاکتور انتقال کادمیوم در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین فاکتور انتقال کادمیوم در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم بود. با افزایش غلظت کادمیوم در خاک تا ۴۰ میلی‌گرم، فاکتور انتقال کادمیوم کاهش یافت، ولی در تیمار ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، فاکتور

#### فاکتور انتقال کادمیوم

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات رقم و کادمیوم بر فاکتور انتقال کادمیوم در سطح ۱٪ معنی‌دار بود، اما اثر اصلی سرب بر فاکتور انتقال کادمیوم معنی‌دار نبود. رقم G01437 دارای فاکتور انتقال کادمیوم (۰/۰۶۱) بیشتری نسبت به

کادمیوم به طور غیر معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۶). همچنین برهمکنش رقم و سرب بر فاکتور انتقال کادمیوم معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۲). در هر دو رقم (به جز تیمارهای شاهد) با افزایش غلظت سرب خاک، فاکتور انتقال کادمیوم، به طور غیرمعنی‌داری کاهش یافت (جدول ۷). برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر فاکتور انتقال کادمیوم معنی‌دار نبود (جدول ۲).

انتقال کادمیوم کمی افزایش یافت اما همچنان کمتر از تیمار شاهد بود (جدول ۴). مطابق با نتیجه‌ی این تحقیق، در بررسی‌ی ژئو-زین و همکاران (Zhi-Xin et al., 2007) نیز فاکتور انتقال کادمیوم گیاهان با افزایش کادمیوم محیط، تمایل به کاهش داشت. بر اساس نتایج جدول ۲، برهمکنش رقم و کادمیوم بر فاکتور انتقال کادمیوم معنی‌دار نبود. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، فاکتور انتقال

جدول ۶. مقایسه میانگین برهمکنش رقم و کادمیوم بر خصوصیات اندازه‌گیری شده

Table 6. Comparison of interaction cultivar and cadmium mean on measured parameters

Cadmium Treatments	Cultivar	وزن خشک	وزن خشک	جذب کادمیوم	جذب کادمیوم	جذب سرب	جذب سرب	فاکتور انتقال کادمیوم	فاکتور انتقال سرب
		شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه	Cd TF	Pb TF
		Shoot dry weight	Root dry weight	Shoot Cd uptake	Root Cd uptake	Shoot Pb uptake	Root Pb uptake		
		mg.kg <sup>-1</sup>	gr pot <sup>-1</sup>	μg pot <sup>-1</sup>					
0	G01437	2.12 <sup>b</sup>	0.48 <sup>c</sup>	1.66 <sup>e</sup>	2.21 <sup>e</sup>	14.41 <sup>bc</sup>	21.27 <sup>cd</sup>	0.18 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>
	Khomein	2.37 <sup>a</sup>	0.28 <sup>e</sup>	1.80 <sup>e</sup>	1.71 <sup>e</sup>	13.94 <sup>c</sup>	18.14 <sup>e</sup>	0.12 <sup>b</sup>	0.08 <sup>c</sup>
20	G01437	1.77 <sup>de</sup>	0.51 <sup>b</sup>	4.40 <sup>d</sup>	132.31 <sup>c</sup>	17.34 <sup>a</sup>	24.33 <sup>b</sup>	0.009 <sup>c</sup>	0.35 <sup>a</sup>
	Khomein	2.02 <sup>c</sup>	0.34 <sup>d</sup>	5.43 <sup>c</sup>	72.70 <sup>d</sup>	14.17 <sup>bc</sup>	21.55 <sup>c</sup>	0.01 <sup>c</sup>	0.12 <sup>c</sup>
40	G01437	1.62 <sup>f</sup>	0.53 <sup>a</sup>	5.20 <sup>c</sup>	226.31 <sup>b</sup>	17.57 <sup>a</sup>	27.53 <sup>a</sup>	0.007 <sup>c</sup>	0.36 <sup>a</sup>
	Khomein	1.82 <sup>d</sup>	0.34 <sup>d</sup>	6.10 <sup>b</sup>	121.86 <sup>c</sup>	14.77 <sup>bc</sup>	20.13 <sup>d</sup>	0.009 <sup>c</sup>	0.16 <sup>b</sup>
80	G01437	1.49 <sup>g</sup>	0.50 <sup>b</sup>	6.37 <sup>b</sup>	279.81 <sup>a</sup>	17.34 <sup>a</sup>	27.68 <sup>a</sup>	0.04 <sup>c</sup>	0.34 <sup>a</sup>
	Khomein	1.70 <sup>ef</sup>	0.35 <sup>d</sup>	8.47 <sup>a</sup>	219.45 <sup>b</sup>	15.18 <sup>b</sup>	17.96 <sup>c</sup>	0.008 <sup>c</sup>	0.20 <sup>b</sup>

(در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند)

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (LSD)

بود. با افزایش غلظت سرب در خاک، فاکتور انتقال سرب کاهش یافت (جدول ۵). فاکتور انتقال سرب بیشتر از فاکتور انتقال کادمیوم به دست آمد و فاکتور انتقال کادمیوم با افزایش غلظت کادمیوم خاک کاهش یافت. فاکتور انتقال سرب نیز با افزایش غلظت سرب خاک، کاهش یافت. هرچه فاکتور انتقال کوچک باشد نشانگر این است که انتقال فلز از ریشه به شاخساره کم است. اگر فاکتور انتقال عددی بزرگتر از یک باشد بیانگر این است که فلز سنگین انتقال یافته به شاخساره بیشتر از ریشه است.

بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم و کادمیوم بر فاکتور انتقال سرب در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین فاکتور انتقال سرب در تیمار ۴۰ میلی‌گرم کادمیوم در رقم

#### فاکتور انتقال سرب

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر فاکتور انتقال سرب در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. رقم G01437 دارای فاکتور انتقال سرب (۰/۳۵۰) بیشتری نسبت به رقم خمین (۰/۱۴۷) بود (جدول ۳). بیشترین فاکتور انتقال سرب در تیمار ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین فاکتور انتقال سرب در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم بود. با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، فاکتور انتقال سرب، افزایش یافت (جدول ۴). در ارتباط با اثر اصلی سرب بر فاکتور انتقال سرب، بیشترین فاکتور انتقال سرب در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و کمترین در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب

در تیمار سرب صفر + کادمیوم صفر در رقم G01437 (۰/۷۹۱) و کمترین در تیمار سرب صفر + کادمیوم صفر در رقم خمین (۰/۰۵۹) بود. در هر دو رقم فاکتور انتقال سرب با افزایش غلظت سرب کاهش یافت و در رقم خمین، افزایش غلظت کادمیوم خاک سبب افزایش فاکتور انتقال سرب گردید (جدول ۸). مقادیر فاکتور انتقال می‌تواند حرکت و توزیع فلزات سنگین را در گیاهان توضیح دهد. انتقال از بین غشای سلول‌های ریشه یک فرایند مهمی است که جذب فلز در بافت‌های گیاهی از آنجا آغاز می‌شود. مقدار فاکتور انتقال در گیاهان وابسته به فاکتورهای زیادی است. ترسیب سلولی کادمیوم یا سرب می‌تواند تاثیر زیادی بر مقدار کادمیوم یا سرب آزاد در سیمپلاست بگذارد و در نتیجه حرکت کادمیوم یا سرب را در گیاه تحت تاثیر قرار دهد (Zhi-Xin et al., 2007).

G01437 (۰/۳۶) و کمترین در تیمار صفر میلی گرم کادمیوم در رقم خمین (۰/۰۸) به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، فاکتور انتقال سرب افزایش یافت. فقط در رقم G01437 فاکتور انتقال سرب در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم کمی کاهش یافت (جدول ۶). براساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم و سرب بر فاکتور انتقال سرب در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین فاکتور انتقال سرب در تیمار صفر میلی گرم سرب در رقم G01437 (۰/۷۴) و کمترین در تیمار صفر سرب در رقم خمین (۰/۱۷) به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب در خاک، فاکتور انتقال سرب کاهش یافت. فقط در رقم خمین در تیمار ۵۰ میلی گرم سرب کمی بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۷). بر اساس نتایج جدول ۲، برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر فاکتور انتقال سرب در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. بیشترین فاکتور انتقال سرب

جدول ۷. مقایسه میانگین برهمکنش رقم و سرب بر خصوصیات اندازه گیری شده

Table 6. Comparison of interaction cultivar and lead mean on measured parameters

سرب	رقم	وزن خشک		جذب کادمیوم		جذب سرب		فاکتور انتقال کادمیوم	
		شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه	کادمیوم	سرب
Lead Treatments	Cultivar	Shoot dry weight	Root dry weight	Shoot Cd uptake	Root Cd uptake	Shoot Pb uptake	Root Pb uptake	Cd TF	Pb TF
mg.kg <sup>-1</sup>		gr pot <sup>-1</sup>		µg pot <sup>-1</sup>					
0	G01437	2.00 <sup>b</sup>	0.57 <sup>a</sup>	5.00 <sup>cd</sup>	169.52 <sup>a</sup>	10.81 <sup>d</sup>	4.47 <sup>f</sup>	0.041 <sup>ab</sup>	0.74 <sup>a</sup>
	Khomein	2.13 <sup>a</sup>	0.34 <sup>de</sup>	6.31 <sup>a</sup>	99.19 <sup>c</sup>	7.05 <sup>c</sup>	7.82 <sup>e</sup>	0.043 <sup>ab</sup>	0.17 <sup>c</sup>
50	G01437	1.82 <sup>c</sup>	0.52 <sup>b</sup>	3.64 <sup>g</sup>	144.87 <sup>ab</sup>	17.41 <sup>b</sup>	13.86 <sup>d</sup>	0.083 <sup>a</sup>	0.36 <sup>b</sup>
	Khomein	2.09 <sup>a</sup>	0.32 <sup>e</sup>	5.94 <sup>b</sup>	96.31 <sup>c</sup>	15.83 <sup>c</sup>	13.95 <sup>d</sup>	0.044 <sup>ab</sup>	0.18 <sup>c</sup>
100	G01437	1.75 <sup>c</sup>	0.51 <sup>b</sup>	4.73 <sup>de</sup>	173.25 <sup>a</sup>	20.72 <sup>a</sup>	33.75 <sup>b</sup>	0.070 <sup>ab</sup>	0.18 <sup>c</sup>
	Khomein	1.94 <sup>b</sup>	0.35 <sup>d</sup>	5.16 <sup>c</sup>	117.11 <sup>bc</sup>	17.10 <sup>b</sup>	23.35 <sup>c</sup>	0.038 <sup>ab</sup>	0.13 <sup>d</sup>
200	G01437	1.43 <sup>d</sup>	0.42 <sup>c</sup>	4.27 <sup>f</sup>	153.00 <sup>a</sup>	17.71 <sup>b</sup>	48.73 <sup>a</sup>	0.050 <sup>ab</sup>	0.10 <sup>d</sup>
	Khomein	1.57 <sup>c</sup>	0.30 <sup>f</sup>	4.39 <sup>ef</sup>	103.10 <sup>c</sup>	18.08 <sup>b</sup>	32.67 <sup>b</sup>	0.031 <sup>b</sup>	0.09 <sup>d</sup>

(در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند)

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (LSD)

جدول ۸. مقایسه میانگین برهمکنش رقم، سرب و کادمیوم بر خصوصیات اندازه گیری شده

Table 8. Comparison of interaction cultivar, lead and cadmium mean on measured parameters

سطح سرب	سطوح کادمیوم	رقم	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه	جذب کادمیوم شاخساره	جذب کادمیوم ریشه	جذب سرب شاخساره	جذب سرب ریشه	فاکتور انتقال کادمیوم	فاکتور انتقال سرب	
Pb Levels	Cd Levels	Cultivar	Shoot dry weight	Root dry weight	Shoot Cd uptake	Root Cd uptake	Shoot Pb uptake	Root Pb uptake	Cd TF	Pb TF	
			gr pot <sup>-1</sup>		μg pot <sup>-1</sup>						
0	0	G01437	2.60 <sup>a</sup>	0.55 <sup>abcd</sup>	1.99 <sup>mn</sup>	3.10 <sup>j</sup>	8.61 <sup>j</sup>	2.29 <sup>f</sup>	0.137 <sup>b</sup>	0.791 <sup>a</sup>	
		Khomein	2.73 <sup>a</sup>	0.33 <sup>lm</sup>	2.09 <sup>m</sup>	1.89 <sup>j</sup>	4.83 <sup>j</sup>	9.89 <sup>no</sup>	0.134 <sup>b</sup>	0.059 <sup>l</sup>	
50	20	G01437	2.03 <sup>b<sup>cde</sup></sup>	0.58 <sup>ab</sup>	5.40 <sup>gh</sup>	140.98 <sup>defg</sup>	11.15 <sup>h</sup>	4.45 <sup>qr</sup>	0.011 <sup>c</sup>	0.733 <sup>ab</sup>	
		Khomein	2.19 <sup>b</sup>	0.35 <sup>ikl</sup>	6.87 <sup>cd</sup>	66.08 <sup>ij</sup>	6.87 <sup>i</sup>	8.72 <sup>op</sup>	0.016 <sup>c</sup>	0.127 <sup>ghijkl</sup>	
	40	G01437	1.81 <sup>ghijk</sup>	0.59 <sup>a</sup>	5.65 <sup>fgh</sup>	221.39 <sup>bc</sup>	12.34 <sup>h</sup>	5.17 <sup>q</sup>	0.008 <sup>c</sup>	0.783 <sup>a</sup>	
		Khomein	1.89 <sup>defgh</sup>	0.30 <sup>m</sup>	6.87 <sup>cd</sup>	95.92 <sup>fghi</sup>	7.95 <sup>i</sup>	6.04 <sup>q</sup>	0.011 <sup>c</sup>	0.211 <sup>fg</sup>	
	80	G01437	1.58 <sup>lmn</sup>	0.56 <sup>abc</sup>	6.97 <sup>cd</sup>	312.60 <sup>a</sup>	11.15 <sup>h</sup>	5.97 <sup>q</sup>	0.008 <sup>c</sup>	0.663 <sup>b</sup>	
		Khomein	1.7 <sup>hijklm</sup>	0.38 <sup>ijk</sup>	9.40 <sup>a</sup>	232.88 <sup>bc</sup>	8.56 <sup>i</sup>	6.62 <sup>pq</sup>	0.009 <sup>c</sup>	0.293 <sup>de</sup>	
	100	0	G01437	2.13 <sup>bc</sup>	0.51 <sup>ed</sup>	1.27 <sup>n</sup>	1.92 <sup>j</sup>	16.01 <sup>fg</sup>	11.73 <sup>mn</sup>	0.159 <sup>b</sup>	0.327 <sup>d</sup>
			Khomein	2.58 <sup>a</sup>	0.31 <sup>lm</sup>	1.97 <sup>mn</sup>	1.71 <sup>j</sup>	16.26 <sup>efg</sup>	15.94 <sup>k</sup>	0.145 <sup>b</sup>	0.126 <sup>ghijkl</sup>
20		G01437	1.85 <sup>efghi</sup>	0.52 <sup>cde</sup>	3.27 <sup>l</sup>	131.08 <sup>ikl</sup>	17.41 <sup>cdefg</sup>	13.04 <sup>lm</sup>	0.007 <sup>c</sup>	0.376 <sup>cd</sup>	
		Khomein	2.11 <sup>bc</sup>	0.32 <sup>lm</sup>	6.34 <sup>def</sup>	69.46 <sup>hi</sup>	15.28 <sup>g</sup>	13.62 <sup>klm</sup>	0.014 <sup>c</sup>	0.171 <sup>ghijkl</sup>	
40		G01437	1.7 <sup>hijklm</sup>	0.54 <sup>bcd</sup>	4.86 <sup>hij</sup>	228.69 <sup>bc</sup>	19.98 <sup>cdefg</sup>	15.13 <sup>kl</sup>	0.006 <sup>c</sup>	0.357 <sup>cd</sup>	
		Khomein	1.9 <sup>defg</sup>	0.34 <sup>klm</sup>	6.63 <sup>cde</sup>	117.96 <sup>fghi</sup>	15.70 <sup>fg</sup>	13.88 <sup>klm</sup>	0.010 <sup>c</sup>	0.307 <sup>fgh</sup>	
80		G01437	1.6 <sup>klmn</sup>	0.53 <sup>cde</sup>	5.15 <sup>gef</sup>	217.79 <sup>bc</sup>	19.24 <sup>bc</sup>	15.56 <sup>kl</sup>	0.160 <sup>b</sup>	0.412 <sup>c</sup>	
		Khomein	1.76 <sup>ghijkl</sup>	0.31 <sup>lm</sup>	8.84 <sup>ab</sup>	196.12 <sup>cde</sup>	16.06 <sup>efg</sup>	12.38 <sup>mn</sup>	0.008 <sup>c</sup>	0.233 <sup>ef</sup>	
200	0	G01437	2.06 <sup>bcd</sup>	0.49 <sup>ef</sup>	1.86 <sup>mn</sup>	1.76 <sup>j</sup>	17.57 <sup>cdefg</sup>	27.61 <sup>gf</sup>	0.255 <sup>a</sup>	0.151 <sup>ghijkl</sup>	
		Khomein	2.20 <sup>b</sup>	0.24 <sup>n</sup>	1.60 <sup>mn</sup>	1.42 <sup>j</sup>	16.78 <sup>efg</sup>	19.54 <sup>j</sup>	0.126 <sup>b</sup>	0.094 <sup>kl</sup>	
	20	G01437	1.77 <sup>fghijkl</sup>	0.51 <sup>ed</sup>	4.79 <sup>ij</sup>	134.5 <sup>efg</sup>	21.85 <sup>a</sup>	30.60 <sup>f</sup>	0.010 <sup>c</sup>	0.205 <sup>fgh</sup>	
		Khomein	2.03 <sup>b<sup>cde</sup></sup>	0.37 <sup>ijk</sup>	4.81 <sup>ij</sup>	82.27 <sup>fghi</sup>	17.41 <sup>cdefg</sup>	26.89 <sup>h</sup>	0.011 <sup>c</sup>	0.119 <sup>ghijkl</sup>	
	40	G01437	1.65 <sup>ijklm</sup>	0.53 <sup>cde</sup>	5.44 <sup>ghi</sup>	234.33 <sup>bc</sup>	22.29 <sup>a</sup>	36.56 <sup>e</sup>	0.007 <sup>c</sup>	0.196 <sup>fghi</sup>	
		Khomein	1.83 <sup>fghij</sup>	0.38 <sup>hij</sup>	5.93 <sup>efg</sup>	135.03 <sup>efg</sup>	17.05 <sup>cdefg</sup>	23.67 <sup>i</sup>	0.009 <sup>c</sup>	0.152 <sup>fghijkl</sup>	
	80	G01437	1.54 <sup>mn</sup>	0.52 <sup>cde</sup>	6.82 <sup>cd</sup>	322.42 <sup>a</sup>	21.15 <sup>ab</sup>	40.22 <sup>d</sup>	0.007 <sup>c</sup>	0.177 <sup>fghij</sup>	
		Khomein	1.72 <sup>ghijklm</sup>	0.39 <sup>hij</sup>	8.31 <sup>b</sup>	249.72 <sup>bc</sup>	17.15 <sup>cdefg</sup>	23.29 <sup>j</sup>	0.008 <sup>c</sup>	0.168 <sup>fghijk</sup>	
200	0	G01437	1.71 <sup>hijkl</sup>	0.39 <sup>hij</sup>	1.54 <sup>mn</sup>	2.08 <sup>j</sup>	15.44 <sup>g</sup>	43.44 <sup>c</sup>	0.176 <sup>ab</sup>	0.081 <sup>kl</sup>	
		Khomein	1.96 <sup>cdef</sup>	0.23 <sup>n</sup>	1.52 <sup>mn</sup>	1.81 <sup>j</sup>	17.87 <sup>cdef</sup>	27.18 <sup>gh</sup>	0.101 <sup>bc</sup>	0.078 <sup>kl</sup>	
	20	G01437	1.45 <sup>no</sup>	0.43 <sup>gh</sup>	4.15 <sup>jk</sup>	122.68 <sup>fghi</sup>	18.94 <sup>cd</sup>	49.23 <sup>b</sup>	0.010 <sup>c</sup>	0.114 <sup>hijkl</sup>	
		Khomein	1.76 <sup>ghijkl</sup>	0.32 <sup>lm</sup>	3.7 <sup>kl</sup>	72.97 <sup>ghi</sup>	17.14 <sup>cdefg</sup>	37.00 <sup>e</sup>	0.009 <sup>c</sup>	0.086 <sup>kl</sup>	
	40	G01437	1.35 <sup>op</sup>	0.46 <sup>fg</sup>	4.85 <sup>hij</sup>	220.83 <sup>bc</sup>	18.67 <sup>cd</sup>	53.27 <sup>a</sup>	0.007 <sup>c</sup>	0.119 <sup>ghijkl</sup>	
		Khomein	1.66 <sup>ijklm</sup>	0.34 <sup>klm</sup>	4.98 <sup>hi</sup>	138.52 <sup>def</sup>	18.38 <sup>cde</sup>	36.93 <sup>e</sup>	0.007 <sup>c</sup>	0.103 <sup>ijkl</sup>	
80	G01437	1.23 <sup>p</sup>	0.41 <sup>ghi</sup>	6.52 <sup>de</sup>	266.42 <sup>ab</sup>	17.81 <sup>cdef</sup>	48.98 <sup>b</sup>	0.008 <sup>c</sup>	0.123 <sup>ghijkl</sup>		
	Khomein	1.63 <sup>klmn</sup>	0.31 <sup>lm</sup>	7.35 <sup>c</sup>	199.09 <sup>cd</sup>	18.94 <sup>cd</sup>	29.56 <sup>fg</sup>	0.007 <sup>c</sup>	0.122 <sup>ghijkl</sup>		

در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد هستند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (LSD)

### نتیجه گیری کلی

سرب خاک، جذب کادمیوم شاخساره، در هر دو رقم کاهش یافت. ۹۷/۵ درصد کادمیوم در رقم G01437، ۹۵/۵ درصد کادمیوم رقم محلی خمین در ریشه ها اندازه گیری شد که حاکی از تمایل این فلز به تجمع در ریشه و عدم انتقال به

در مجموع با افزایش غلظت هر یک از عناصر آلاینده (کادمیوم/سرب) در خاک، جذب آنها در شاخساره و ریشه ی دو رقم لوییای مورد مطالعه، افزایش یافت و با افزایش غلظت

در رقم G01437 اندازه گیری شد که از نظر آماری دارای تفاوت معنی دار بود ( $P>0.05$ ). با توجه به بروز سمیت کادمیوم در مقادیر کمتر نسبت به فلز سرب، تاثیر محدودکنندگی کادمیوم در رشد و نمو گیاهان بسیار بیشتر می باشد و مقادیر بالاتر از حد بحرانی این عنصر در صورت امکان جذب توسط گیاه می تواند بر رشد و نمو و کیفیت محصول اثر منفی داشته باشد. با توجه به سمی بودن این عناصر و زمینه های بروز تنش ناشی از ورود این آلاینده ها به اراضی کشاورزی، انجام تحقیقات تکمیلی بر روی سایر ارقام و در شرایط مزرعه‌ای پیشنهاد می‌گردد.

اندام هوایی داشت(جداول ۳ و ۸). الگوی تجمع فلز سرب نسبت به کادمیوم تفاوت داشت و در رقم G01437 از مجموع ۴۱/۸۷ میکرو گرم در گلدان سرب جذب شده، ۶۰ درصد آن در ریشه این رقم تجمع یافت. در رقم خمین نیز ۵۸/۷ درصد سرب در ریشه ها ذخیره گردید. بیشترین میزان سرب شاخساره در رقم G01437 به میزان ۲۲/۲۹ میکروگرم در گلدان و در تیمار حاوی سرب ۱۰۰ و کادمیوم ۴۰ (میلی‌گرم در کیلوگرم) گزارش شد (جدول ۸). در مجموع بین دو رقم مورد مطالعه، بیشترین جذب کادمیوم شاخساره در رقم خمین و بیشترین جذب سرب شاخساره

## منابع

- Alexander, P.D., Alloway, B.J., Dourado, A.M., 2006. Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb, and Zn exhibited by six commonly grown vegetables. *Environmental Pollution*. 144, 736-745.
- Ali, N.A., Pilar Bernal, M., Ater, M., 2004. Tolerance and bioaccumulation of cadmium by *Phragmites australis* grown in the presence of elevated concentrations of cadmium, copper, and zinc. *Aquatic Botany*. 80, 163-176.
- Alihyae, M., and Behbahanizadeh, A. A., 1995. *Methods Of Soil analysis*. Technical bulletin No.983, SWRI, Tehran, Iran (In Persian).
- Alloway, B.J., 1990. *Heavy metals in soils*. Blackie and Son Ltd. New York.
- Balsberg-Pahlsson, A.M., 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water Air Soil Pollut*. 47, 287-319.
- Black A L., Miller R H. and Keeney D R. 1989. *Methods of soil analysis part II*. ASA, I. SSSA. No.9.
- Chien, H. F., and Kao, C.H., 2000. Accumulation of ammonium in rice leaves in response to excess cadmium. *Plant Sci*. 156, 111-115.
- Cohen, C.K., Fax, T.C., Garvin, D.F., and Kochian, L.V., 1998. The role of iron deficiency stress responses in stimulating heavy metal transport in plants. *Plant Physiology*. 116, 1063-1072.
- Davies, B.E., 1990. Lead. In: Alloway, B.J. (Ed.), *Heavy Metals in Soils*. Blackie and Son Ltd., 177-196.
- Emami, A., 1996. *Methods of plant analysis*. Bulletin No. 982. TAAT Publication.
- Ghasemi, Z., and Shahabi, A. A., 2010. Effect of cadmium on the physiological indices, growth characteristics and nutrient element concentration in tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.) in soils culture, Ms thesis, Isfahan university of technology. (In Persian).
- Grant, C.A., Buckley, W.T., Bailey, L.D., and Selles, F., 1976. Cadmium accumulation in crops. *Can. J. of Plant Sci*. 78, 1-17.
- Hassett, J.J., Miller, J.E., and Koeppe, D.E., 1976. Interaction of lead and cadmium on maize root growth and uptake of lead and cadmium by roots. J. Department of Agronomy, Universty of Illinois, Urbana, Illinois, USA.
- Kabata-Pendias, A., and Pendias, H., 1991. *Trace Elements in Soils and Plants*, second ed. CRC Press. 365 pp.
- Lindsay, W.L., and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil tests for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am*. 42, 421-428.

- Liu, D.Y., and Wang, Y.B., 2002. Effect of Cu and As on germination and seedling growth of crops. *Chin J Appl Ecol.* 13(2), 179-182.
- Liu, J.N., Zhou, Q.X., Sun, T., Ma, L.Q., and Wang, S., 2008. Growth responses of three ornamental plants to Cd and Cd-Pb stress and their metal accumulation characteristics. *J. Hazardous Materials.* 151, 261-267.
- Liu, J., Li, K., Xu, J. and Liang, J., 2003. Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes. *Field Crops Research.* 83, 271-281.
- Lu, X.Y., He, C.Q., 2005. Tolerance, uptake and accumulation of cadmium by *Ricinus communis* L. *J Agro Environ Sci.* 24(4), 674-677.
- Moraghan, J.T., and Kenneth, G., 1999. Seed-Zinc Concentration and the Zinc-Efficiency Trait in Navy Bean. *Soil Sci. Am. J.* 63, 918-922.
- Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J.J., and Garate, A., 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca* sp. Cd-Mn interaction. *Plant Science.* 162, 761-767.
- Rhoades, J.D., 1996. Salinity electrical conductivity and total dissolved solids. In: *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* (Ed. D.I. Sparks). Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. 417-435.
- Sanita-di Toppi, L., and Gabbriellini, R., 1999. Response to cadmium in higher plants-review. *Environmental and Experimental Botany.* 41, 105-130.
- Sinha, P., Dube, B.K., Srivastava, P. and Chatterjee, C., 2006. Alteration in uptake and translocation of essential nutrients in cabbage by excess lead. *Chemosphere.* 65, 651-656.
- Singh, B.R., and McLughlin, M.J., 1999. Cadmium in soils and plants, 271 p, Springer.
- Sparks, D.L., 1996. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods.* Soil Science Society of American, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Summer, M.E., and Miller, W.P., 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* (Ed. D.I. Sparks). pp. 1201-1229. Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In: *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* (Ed. D.I. Sparks). Soil. Sci. Soc. Am. Madison, WI. 415-490.
- Xian, X., 1988. Response of kidney bean concentration and chemical form of cadmium, zinc, and lead in polluted soils. *Environmental Pollution.* 57, 127-137.
- Xin, J., Huang, B., Zhongyi, Z., Yuan, J., Dai H., and Qiu, Q., 2010. Responses of different water spinach cultivars and their hybrid to Cd, Pb and Cd-Pb exposure. *Hazardous Materials.* 175, 468-476.
- Yizong, H., Ying, H., and Yunxia, L., 2009. Combined toxicity of copper and cadmium to six rice genotypes (*Oryza sativa* L.). *Environmental sciences,* 21, 647-653.
- Zheljazkov, V.D., Craker, L.E., and Xing, B., 2006. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. *Environmental and Experimental Botany.* 58, 9-16.
- Zhiqiang, X., Qixing, Z., and Weitao, L., 2009. Joint effects of cadmium and lead on seedlings of four Chinese cabbage cultivars in northeastern China. *Environmental Sciences.* 21, 1598-1606.
- Zhi-Xin, N., Li-na, S., Tie-heng, S., Yu-shuang L., and Hong, W., 2007. Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. *Environmental Sciences.* 19, 961-967.

