

Study of Lead Uptake and Translocation from Heavy Metals Contaminated Soils to the Aerial Parts of Different Winter Wheat Cultivars

ATEFEH TAVAKOLI^{1*}, AHMAD GOLCHIN¹, SAMANEH ABDOLLAHI¹

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran.

(Received: Feb. 22, 2020- Revised: June. 15, 2020, Accepted: June. 20, 2020)

ABSTRACT

The accumulation of heavy metals in agricultural soils, in addition to environmental pollution, increases the concentration and uptake of heavy metals in plants. In order to investigate the uptake and translocation of lead in four cultivars of winter wheat (Zare, Pishgam, Mihaan and Orum), the effect of six levels of soil contamination by Pb (0, 25, 50, 100, 200 and 400 mg Pb/kg soil from lead nitrate [Pb(NO₃)₂] source) on the proposed cultivars were investigated as a factorial pot experiment with completely randomized design and three replications in the greenhouse conditions. The results showed that the levels of contaminated soil by Pb had a significant effect ($P < 0.01$) on Pb uptake of different cultivars of wheat. The highest amount of Pb uptake was measured in Mihaan cultivar at level of 400 mg Pb/kg soil and was 2.67 mg in pot. The highest fresh weights of biomass, the highest accumulation of Pb in root and aerial parts, and the highest amount of Pb uptake by wheat were observed in Mihaan and Pishgam cultivars at all levels of soil contamination, indicating that these cultivars have higher abilities to uptake and transfer Pb from the root to the aerial parts. The translocation factor of Pb was less than one for all four wheat cultivars at levels of 0 to 100 mg Pb/kg soil, while the bioaccumulation factor of Pb was more than one. As in the proposed wheat cultivars, the concentration of Pb in the root was higher than the one in aerial parts, they can be classified as excluder plants at these levels. Further studies are recommended in the field.

Keywords: Soil Pollution, Pishgam Variety, Zare Variety, Mihaan Variety, Lead.

* Corresponding author Email: atefeh.tavakoli92@gmail.com

بررسی جذب و انتقال سرب از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به اندام‌های هوایی ارقام مختلف گندم پاییزه

عاطفه توکلی^{۱*}، احمد گلچین^۱، سمانه عبداللهی^۱

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۳/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۳/۳۱)

چکیده

تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی، علاوه بر آلودگی محیط‌زیست موجب افزایش غلظت و جذب فلزات سنگین در گیاهان می‌شود. به‌منظور بررسی جذب و انتقال سرب در چهار رقم گندم پاییزه (زارع، پیشگام، میهن و اوروم)، تأثیر شش سطح آلودگی خاک به سرب (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک از منبع نیترات سرب $[Pb(NO_3)_2]$) بر روی این ارقام به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سطوح آلودگی خاک به سرب، اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) بر جذب سرب ارقام مختلف گندم داشت. بیش‌ترین مقدار جذب سرب زیست‌توده در رقم میهن و از سطح آلودگی ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک به میزان ۲/۶۷ میلی‌گرم در گلدان اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین میزان وزن تر، بیش‌ترین غلظت سرب ریشه و بخش هوایی و بیش‌ترین مقدار جذب سرب زیست‌توده گیاه گندم در تمام سطوح آلودگی خاک به سرب در ارقام میهن و پیشگام مشاهده شد که نشان می‌دهد این ارقام توانایی بیشتری در جذب و انتقال سرب از ریشه به بخش هوایی دارند. فاکتور انتقال سرب برای هر چهار رقم گندم و در سطوح صفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک کم‌تر از یک و فاکتور تجمع زیستی سرب بیش‌تر از یک بود. با توجه به اینکه در هر چهار رقم گندم مورد بررسی غلظت سرب در ریشه بیشتر از بخش هوایی بود، می‌توان این ارقام را جز گیاهان اجتناب‌کننده عنصر سرب در این سطوح طبقه‌بندی کرد. مطالعات بیشتر در شرایط عرصه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، رقم پیشگام، رقم زارع، رقم میهن، سرب.

مقدمه

آلودگی محیط‌زیست یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که سلامت و امنیت غذایی جامعه را تهدید می‌کند (Cai *et al.*, 2012; Nemati and Bostani, 2014). آلودگی فلزات سنگین از مهم‌ترین معضلات جهانی آلودگی خاک می‌باشد که با فعالیتهای انسانی از قبیل معدن‌کاوی، صنایع فلزی و شیمیایی، وسایل نقلیه فرسوده و غیره در ارتباط است (Igwe and Abia, 2006). سرب یکی از فلزات سنگین و آلاینده مهم زیست‌بوم خشکی است که علاوه بر فرایندهای طبیعی از طریق فعالیتهای انسانی نیز تولید می‌شود. سرب به دلیل انباشت زیاد در بخش‌های سطحی خاک به‌راحتی در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و با جذب از طریق ریشه‌ها موجب تغییر در برخی فرایندهای متابولیکی گیاه و اختلال در رشد و نمو آن‌ها می‌شود (Parsadoost *et al.*, 2007). غلظت بحرانی سرب کل در خاک بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش شده است (Alloway, 1995; Attanayake *et al.*, 2014; Defoe *et al.*, 2014). گیاهان می‌توانند فلزات ضروری موجود در محلول خاک را جذب نمایند و این توانایی گیاهان، به

آن‌ها اجازه می‌دهد تا فلزات سمی مانند سرب را نیز جذب نموده و در بافت‌های خود ذخیره کنند و بدین ترتیب گیاهان در معرض آلودگی به این عنصر سمی قرار می‌گیرند. در این حالت علاوه بر این که آسیب‌هایی به گیاه وارد می‌شود، انسان‌ها و دام‌هایی که از این گیاه تغذیه می‌کنند در معرض آلوده شدن به این عنصر می‌باشند. از طرفی سمیت این عنصر در گیاه موجب کاهش جذب برخی عناصر مانند آهن و ایجاد عارضه زرد برگی، کاهش سنتز کلروفیل، کاهش میزان فتوسنتز و فعالیتهای درون‌سلولی می‌شود (Larbi *et al.*, 2003; Cencki *et al.*, 2010).

هنگامی که فلزات سنگین درون بافت‌های گیاهی تجمع کنند، اغلب به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم باعث سمیت می‌شوند. غلظت بالای سرب در بخش مورفولوژیکی گیاه، باعث کاهش زیست‌توده ریشه و بخش هوایی می‌شود (Islam *et al.*, 2008). کاهش سطح برگ نیز پاسخ عمومی گیاهان به محیط حاوی فلز سنگین است (Kosobrukho *et al.*, 2004; Sharma and Dubey, 2005). آلودگی سرب باعث بروز مشکلات فراوانی برای گیاه می‌شود، به‌طوری‌که غلظت زیاد آن در سطح

در بین محصولات کشاورزی، گندم به علت جایگاه ویژه‌ای که در جیره غذایی بشر دارد و نیز در برخی مناطق خاک‌هایی که تحت کشت گندم قرار می‌گیرند، تحت تنش فلزات سنگین به‌ویژه سرب هستند؛ این امر می‌تواند باعث انتقال این عنصر به چرخه غذایی انسان شده و سلامت بشر را به مخاطره بیندازد. به همین دلیل بررسی وضعیت سرب در بخش‌های مختلف این محصول و توانایی آن در جذب و انتقال سرب از خاک حائز اهمیت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی جذب و انتقال سرب در چهار رقم گندم یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان به اجرا درآمد. تیمارها شامل شش سطح آلودگی خاک به سرب (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم از منبع نیترات سرب $[Pb(NO_3)_2]$ و چهار رقم گندم پائیزه (اوروم، پیشگام، زارع و میهن) بودند. اطلاعات موجود نشان می‌دهد که متوسط غلظت سرب کل در خاک‌های غیر آلوده در حدود ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است (Martin *et al.*, 2014). بنابراین غلظت‌های سرب در خاک‌های آلوده به‌گونه‌ای در نظر گرفته شد که یک تا ۱۰ برابر غلظت زمینه باشد. با توجه به این که نیترات سرب نسبت به سایر نمک‌های سرب حلالیت بیشتری دارد، از این نمک برای آلوده کردن خاک به سرب استفاده شد. نحوه آلوده کردن بدین صورت بود که ابتدا برای هر سطح آلودگی مقدار نمک نیترات سرب محاسبه و پس از توزین، در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و بر روی نمونه خاک پنج کیلوگرمی به‌طور کامل و یکنواخت اسپری شد (Mansouri *et al.*, 2015). بعد از خشک‌شدن، نمونه تیمار شده را در گلدان‌های پلاستیکی ریخته و بعد از برچسب زدن، گلدان‌ها با افزودن آب مقطر به رطوبت ظرفیت زراعی (FC) رسانیده شدند و وزن نهایی گلدان‌ها یادداشت شد.

با توجه به این که برای آلوده کردن خاک با سرب از نمک نیترات سرب استفاده شده بود، میزان نیتروژن کلیه تیمارها با افزودن نیترات آمونیوم (NH_4NO_3) یکسان شدند. سپس برای به تعادل رسیدن خاک‌های تیمار شده در گلدان‌ها، به مدت دو ماه دوره‌های تر و خشک شدن اجرا شد. برای انتخاب خاک مورد نظر جهت اجرای آزمایش، یک نمونه مرکب خاک (از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری اراضی اطراف پژوهشگاه دانشگاه زنجان) تهیه و پس از هوا خشک‌کردن و عبور از الک دو میلی‌متری برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از قبیل غلظت قابل جذب

مورفولوژیکی، موجب کاهش زیست‌توده، ممانعت از جوانه‌زنی بذر، القای کلروز و نکروز برگ، تغییر رنگ و چوبی شدن ریشه (Islam *et al.*, 2008; Kopittke *et al.*, 2007; Islam *et al.*, 2007)، در ساختمان سلول، تغییر در اندازه و شکل کلروپلاست و افزایش اندازه واکوئل می‌شود (Islam *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2008). سرب در سطح فیزیولوژیکی، در عمل روزنه‌ها، محتوی نیترات، تعادل آبی سلول‌ها، فتوسنتز و تنفس اختلال ایجاد نموده و هم‌چنین موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (Islam *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2008).

گیاهان از لحاظ جذب و انتقال فلزات سنگین به سه دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول گیاهانی که فلزات سنگین را در بافت‌های خود ذخیره کرده و آثار ناشی از سمیت فلز با توجه به غلظت فلز در محیط رشد نمایان می‌شود که به آن‌ها گیاهان شاخص^۱ گفته می‌شود. یکی از شاخص‌های شناسایی این گیاهان محاسبه دو عامل فاکتور انتقال^۲ (TF) و فاکتور تجمع زیستی^۳ (BCF) است. در گیاهان شاخص، TF و BCF مساوی یک هستند (Olowoyo *et al.*, 2010). دسته دوم گیاهانی که با وجود غلظت‌های زیاد فلزات سنگین در خاک به‌طور مؤثری از ورود فلز به بخش‌های هوایی خود جلوگیری می‌کنند و به گیاهان اجتناب‌کننده^۴ معروف هستند. در این گیاهان، BCF بزرگ‌تر از یک و TF کوچک‌تر از یک است (Joonki *et al.*, 2006; Macfarlane *et al.*, 2007). دسته سوم گیاهانی هستند که توانایی جذب و تجمع فلز در آلودگی‌های کم تا زیاد را دارند و به آن‌ها گیاهان انباشت‌گر^۵ گفته می‌شود (Kupper *et al.*, 1999; Memon *et al.*, 2001). در گیاهان انباشت‌گر، BCF و TF بزرگ‌تر از یک هستند. گندم (نام علمی: *Triticum*) از مهم‌ترین غلات می‌باشد که کشت غالب در ایران است. بررسی خاک‌های کشاورزی اطراف کارخانه‌های صنعتی، نشان داد که مزارع اطراف کارخانه‌های صنعتی، آلوده به فلزات سنگین سرب و کادمیوم بوده و این موضوع نگرانی شدیدی در مورد خاک‌های کشاورزی تحت کشت حاشیه کارخانه‌ها را ایجاد می‌کند (Golchin, 2003). کشاورزان نیز با استفاده از کودهای حیوانی و شیمیایی (فسفری) که علاوه بر عناصر غذایی، حاوی فلزات سنگین نیز می‌باشند، سرب زیادی را به خاک زمین‌های کشاورزی وارد می‌کنند. امروزه توجه زیادی به محتوای سرب در نان و سیب‌زمینی به‌عنوان منابع مهم این فلز در غذای انسان وجود دارد. میانگین غلظت سرب در بذر گندم و سیب‌زمینی در آلمان (از سال ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۳) به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Roberts *et al.*, 1974).

فاکتور انتقال (TF) از نسبت غلظت فلز در برگ به غلظت فلز در ریشه محاسبه شد و فاکتور تجمع زیستی (BCF) از نسبت غلظت فلز در ریشه به غلظت کل فلز در خاک به دست آمد (Li et al., 2007). هم‌چنین مقدار جذب سرب کل زیست‌توده از حاصل ضرب غلظت عنصر سرب در وزن زیست‌توده خشک بخش‌های مختلف گیاه محاسبه شد. داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش به کمک نرم افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش قبل از اعمال تیمارها در جدول (۱) ارائه شده است.

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی صفات مورد مطالعه نشان می‌دهد که تأثیر این تیمارها بر صفات اندازه‌گیری شده شامل وزن تر و خشک بخش هوایی، انباشت عنصر سرب در ریشه و بخش هوایی گندم و جذب سرب توسط گیاه در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود. ولی اثر متقابل سطوح آلودگی خاک به سرب و نوع رقم گندم بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار نبود (جدول ۲).

وزن تر و خشک بخش‌هوائی

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود با افزایش غلظت سرب خاک وزن تر و خشک بخش هوایی کاهش یافت. به‌طوری‌که در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک وزن تر بخش هوایی ۲۳/۳۵ درصد و وزن خشک بخش هوایی ۱۲/۸۳ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد. بیش‌ترین وزن تر و خشک بخش هوایی در رقم میهن به ترتیب با میانگین‌های ۵۹/۹۹ و ۱۶/۰۳ گرم در گلدان و کم‌ترین وزن تر و خشک بخش هوایی در رقم اوروم، به ترتیب با میانگین‌های ۵۶/۱۴ و ۱۴/۵۶ گرم در گلدان مشاهده شد (شکل ۱).

عنصر سرب (Lindsay and Norvell, 1978)، نیتروژن کل (Bremner, 1996)، فسفر قابل جذب (Olsen et al., 1954)، پتاسیم قابل جذب (Helmke and Spark, 1996)، غلظت عناصر کم‌مصرف (Page, 1982)، واکنش خاک (Thomas, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی (Rhoades, 1996)، کربن آلی خاک (Walkley and Black, 1934)، کربنات کلسیم معادل (Loeppert and Suarez, 1996) و بافت خاک (Bouyoucos, 1962) اندازه‌گیری شدند. هر چهار رقم مورد مطالعه در این پژوهش مناسب برای کشت در شرایط آبی و تنش خشکی آخر فصل و مناطق سرد کشور می‌باشند. هم‌چنین ارقام مورد مطالعه به خوابیدگی بوته مقاوم هستند. درصد میانگین پروتئین دانه در ارقام زارع، پیشگام، اوروم و میهن به ترتیب ۱۱/۴، ۱۱/۲، ۱۱/۱ و ۱۱ برابر است (Seed and Seedling Breeding Research Institute, 2015). بذره‌های ارقام مختلف گندم بعد از اتمام دوره تر و خشک در گلدان‌ها کشت شد. طی دوره رشد، آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر در حد رطوبت ظرفیت مزرعه انجام شد. برای این منظور گلدان‌ها در فاصله زمانی هر دو روز یک‌بار توزین شده و آب از دست رفته تا رسیدن گلدان‌ها به وزن نهایی (رطوبت ظرفیت مزرعه) به گلدان‌ها اضافه شد. بعد از گذشت سه ماه و در پایان رشد رویشی و قبل از به خوشه رفتن، گیاه برداشت شد و بخش‌های هوایی و ریشه گیاه از یکدیگر جدا و وزن‌های تر بخش هوایی و ریشه در هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری شدند. قسمت‌های مختلف گیاه بعد از انتقال به آزمایشگاه توسط آب مقطر شسته و به‌طور جداگانه داخل پاکت کاغذی قرار داده شدند و در آن به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. قابل ذکر است برای شستشوی ریشه از محلول ۰/۰۱ درصد کالگون و دستگاه آلتراسوند استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان سرب و سایر عناصر غذایی در اندام‌های هوایی و ریشه، نمونه‌های مورد نظر بعد از خشک شدن، با آسیاب برقی پودر و پس از هضم آن‌ها غلظت عناصر در عصاره حاصل بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم توسط دستگاه جذب اتمی مدل Varian Spectr. AA20 قرائت شد.

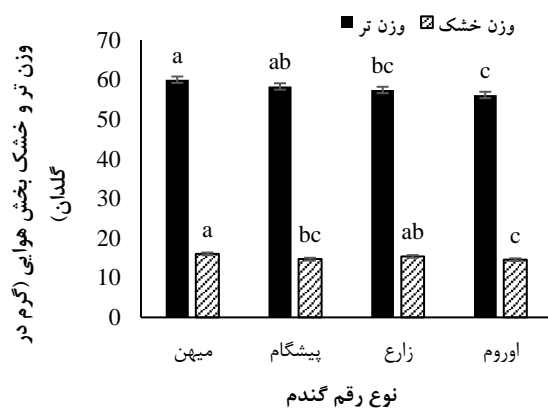
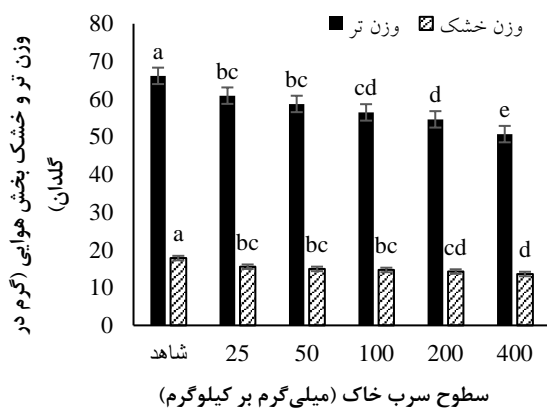
جدول ۱- برخی ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش قبل از اعمال تیمارها

صفت	مقدار	واحد	صفت	مقدار	واحد
شن	۶۵/۵	درصد	قابلیت هدایت الکتریکی	۰/۹	دسی زیمنس بر متر
سیلت	۱۷/۴	درصد	pH خاک	۷/۸	-
رس	۱۷/۱	درصد	فسفر قابل جذب	۱۱	میلی‌گرم بر کیلوگرم
کربن آلی	۰/۶۰	درصد	پتاسیم قابل جذب	۴۶۰	میلی‌گرم بر کیلوگرم
کربنات کلسیم معادل	۱۱/۹۰	درصد	آهن قابل جذب	۸	میلی‌گرم بر کیلوگرم
رطوبت مزرعه	۲۱	درصد	سرب قابل جذب	۵/۶۵	میلی‌گرم بر کیلوگرم
نیتروژن کل	۰/۳	درصد			

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس سطوح آلودگی سرب، نوع رقم گندم و اثر متقابل آن‌ها بر برخی صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر	وزن خشک	غلظت سرب		جذب کل	فاکتور انتقال	فاکتور تجمع زیستی
				میانگین مربعات				
				ریشه	بخش هوایی			
		وزن تر	وزن خشک	میلی گرم بر کیلوگرم	میلی گرم بر کیلوگرم	میلی گرم در گلدان		
سطوح آلودگی خاک	۵	۳۴۱/۸۶**	۲۵/۷۸**	۴۰۹۰/۱۵**	۱۳۳۳۲/۳۹**	۰/۳۴**	۰/۰۷**	۵۳۷/۷۰**
نوع رقم گندم	۳	۴۶/۹۴**	۸/۲۹**	۳۳۸/۳۸**	۹۶۵/۲۶**	۰/۱۵**	۰/۰۹**	۲/۳۳**
سطوح آلودگی خاک × نوع رقم	۱۵	۱۴/۴۵**	۰/۷۴ ^{ns}	۱۰۳/۴۷**	۲۹۳/۵۱**	۰/۰۵**	۰/۰۱**	۰/۷۸**
خطا	۴۸	۴/۶۶	۰/۶۲	۱۰/۸۷	۳۵/۲۶	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۳
درصد ضریب تغییرات	-	۳/۷۲	۵/۱۷	۲/۸۷	۴/۳۴	۵/۰۵	۴/۴۶	۸/۰۴

** و * به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی دار و ns عدم اختلاف معنی دار است.



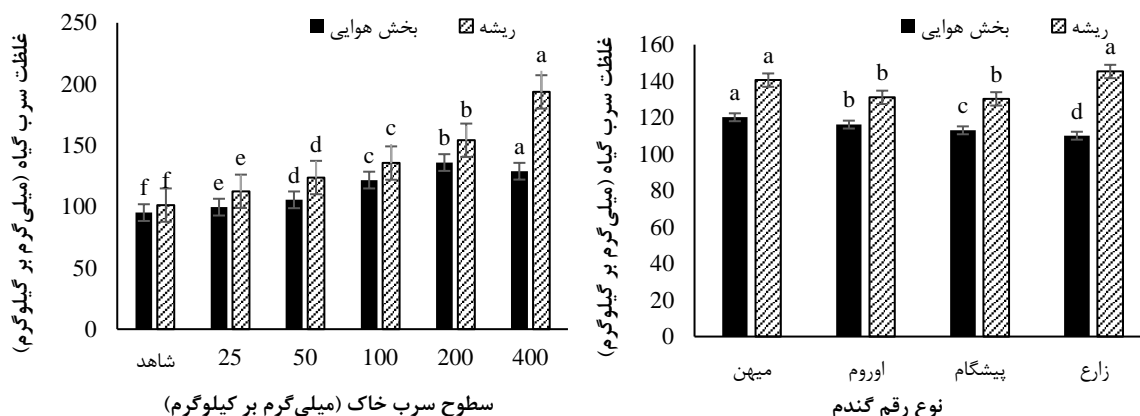
شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) و نوع رقم گندم بر وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه گندم

گندم در یک کشت هیدروپونیک نشان داد که افزودن این عناصر به محلول غذایی باعث مهار جوانه زنی بذر و هم‌چنین کاهش طول ریشه شد (Wang et al., 2010).

غلظت سرب در ریشه و بخش هوایی گندم

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش غلظت سرب خاک، غلظت سرب در بخش‌های مختلف گیاه افزایش یافت. به طوری که در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک، غلظت سرب بخش هوایی و ریشه گیاه گندم به ترتیب به میزان ۵۱/۲۱ و ۹۱/۲۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۲). هم‌چنین بیش‌ترین غلظت سرب بخش هوایی از رقم میهن (۱۲۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کم‌ترین غلظت سرب بخش هوایی از رقم زارع (۱۱۰/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت سرب ریشه نیز به ترتیب در رقم زارع (۱۴۵/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و رقم پیشگام (۱۳۰/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد (شکل ۲).

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح سرب خاک و نوع رقم گندم بر وزن تر بخش هوایی نشان داد که بیش‌ترین وزن تر بخش هوایی در رقم میهن و تیمار شاهد به میزان ۷۲/۵۰ گرم در گلدان و کم‌ترین وزن تر بخش هوایی از رقم اوروم و سطح ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک به میزان ۴۸/۵۸ گرم در گلدان به دست آمد (جدول ۳). سرب اثر منفی بر سرعت جوانه‌زنی بذر، رشد جوانه‌ها، وضعیت آب در گیاه، وزن تر و خشک ریشه و قسمت‌های هوایی، فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی دارد (Munzuroglu and Geckil, 2002). اثر سوء سرب بر وزن خشک ساقه و ریشه در گندم و خیار (Munzuroglu and Geckil, 2002)، برنج (Vassilev et al., 2002)، بابونه آلمانی (Islam et al., 2007) و خردل هندی (Zaier et al., 2010) گزارش شده است. تیمار سرب موجب کندی و تأخیر رشد و کاهش سطح برگ شده که این پدیده موجب کاهش سطح تعرق می‌شود. بنابراین جریان ترکیباتی که باید به سمت ساقه‌ها و اندام هوایی انتقال یابند، کاهش یافته و همین امر نیز موجب کندی رشد و کاهش عملکرد در بخش هوایی گیاه می‌شود (Pallavi and Rama, 2005). هم‌چنین تأثیر سمیت سرب، مس و روی بر جوانه‌زنی



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) و نوع رقم گندم بر غلظت سرب بخش هوایی و ریشه گیاه گندم

کمترین غلظت سرب بخش هوایی و ریشه نیز به ترتیب در رقم‌های زارع و پیشگام و تیمار شاهد (بدون سرب) با میانگین‌های ۷۲/۴۱ و ۹۱/۶۷ اندازه‌گیری شد (جدول ۳). هم‌چنین در تمام تیمارها غلظت سرب در ریشه ارقام مختلف گندم بیشتر از غلظت سرب در بخش هوایی بود.

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح مختلف سرب خاک و نوع رقم گندم بر غلظت سرب بخش هوایی و ریشه نشان داد که بیشترین غلظت سرب بخش هوایی و ریشه در رقم پیشگام و سطح ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک (به ترتیب با میانگین‌های ۱۴۱/۵۰ و ۲۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح مختلف سرب خاک و نوع رقم گندم بر صفات مورد مطالعه در گیاه گندم

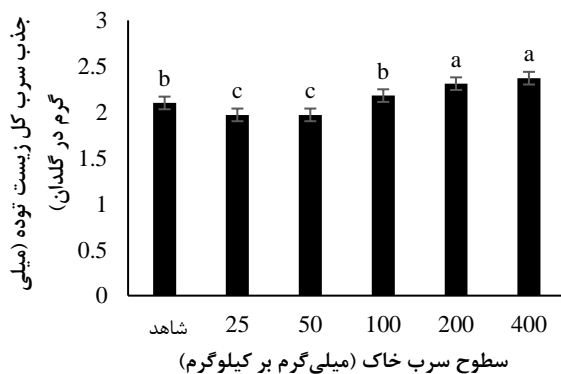
سرب ریشه	سرب بخش هوایی	وزن تر بخش هوایی	نوع رقم گندم	سطوح سرب
میلی‌گرم بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	گرم در گلدان		میلی‌گرم بر کیلوگرم
۱۰۶/۱۱ ± ۵/۳۶ jk	۷۲/۴۱ ± ۲/۹۲ l	۶۴/۶۴ ± ۱/۰۰ b	زارع	شاهد
۹۱/۶۷ ± ۵/۰۰ l	۹۰ ± ۰/۰۱ k	۶۲/۷۶ ± ۲/۶۶ bc	پیشگام	
۱۰۷/۷۸ ± ۵/۸۵ Jk	۱۰۱ ± ۳/۶۱ hij	۷۲/۵۰ ± ۴/۱۲ a	میهن	
۹۹/۴۵ ± ۲/۵۵ kl	۹۹/۶۷ ± ۱/۵۳ ij	۶۴/۸۲ ± ۲/۲۳ b	اوروم	۲۵
۱۳۰ ± ۴/۴۱ ghi	۹۹ ± ۱/۰۰ ij	۵۹/۱۱ ± ۱/۳۰ cde	زارع	
۹۸/۸۹ ± ۲/۵۵ kl	۹۵ ± ۴/۰۰ Jk	۶۲/۶۲ ± ۲/۵bc	پیشگام	
۱۱۶/۶۷ ± ۷/۶۴ ij	۱۱۰/۳۳ ± ۱/۵۳ defg	۷۴/۶۴ ± ۲/۱۰ b	میهن	۵۰
۱۰۴/۴۵ ± ۷/۸۸ jkl	۱۰۳/۳۳ ± ۲/۸۹ ghi	۵۷/۲۵ ± ۱/۷۳ defg	اوروم	
۱۳۵ ± ۳/۳۳ fgh	۱۰۵/۶۴ ± ۲/۵۲ ghi	۵۹/۴۳ ± ۲/۳۰ cde	زارع	
۱۰۸/۸۹ ± ۵/۰۹ jk	۱۰۱/۶۷ ± ۴/۴۱ hij	۶۰/۴۹ ± ۳/۰۶ bcd	پیشگام	۱۰۰
۱۳۳/۸۹ ± ۵/۳۶ fgh	۱۰۸/۸۹ ± ۴/۱۹ efgh	۵۹/۰۶ ± ۱/۴۵ cde	میهن	
۱۱۷/۲۲ ± ۶/۷۴ ij	۱۰۸ ± ۳/۴۶ fgh	۵۵/۹۵ ± ۲/۰۷ defgh	اوروم	
۱۴۶/۶۷ ± ۸/۳۳ def	۱۱۶/۶۲ ± ۱/۶۰ de	۵۵/۴ ± ۱/۲۳ defgh	زارع	۲۰۰
۱۲۵ ± ۶/۶۷ hi	۱۱۵/۵۶ ± ۰/۹۶ def	۵۷ ± ۱/۵۱ defg	پیشگام	
۱۴۰/۵۶ ± ۳/۴۷ efg	۱۳۰ ± ۴/۴۱ bc	۵۸/۳۲ ± ۲/۷۲ cdef	میهن	
۱۳۰ ± ۵/۰۰ Ghi	۱۱۷/۴۵ ± ۲/۱۴ d	۵۵/۲۶ ± ۰/۹۹ defgh	اوروم	۴۰۰
۱۶۵ ± ۸/۸۲ c	۱۲۸/۸۹ ± ۳/۴۷ c	۵۳/۲۵ ± ۱/۰۰ fghi	زارع	
۱۴۲/۲۳ ± ۵/۸۵ defg	۱۳۴/۵۱ ± ۴/۲۱ abc	۵۵/۵۷ ± ۱/۱۸ defgh	پیشگام	
۱۵۵ ± ۸/۸۲ cd	۱۳۳/۳۴ ± ۱/۶۷ bc	۵۴/۷۵ ± ۲/۰۸ efg	میهن	۴۰۰
۱۵۴/۴۵ ± ۷/۸۸ cde	۱۳۳/۱۱ ± ۱/۰۲ bc	۵۴/۹۹ ± ۱/۶۳ defgh	اوروم	
۱۸۸/۸۹ ± ۶/۹۴ b	۱۳۷/۹۷ ± ۲/۵۴ ab	۵۲/۶ ± ۲/۵۶ ghi	زارع	
۲۱۵ ± ۴/۴۱ a	۱۴۱/۵۰ ± ۶/۷۶ a	۵۱/۲ ± ۰/۹۵ hi	پیشگام	۴۰۰
۱۸۹/۴۵ ± ۲/۵۵ b	۱۳۷/۶۷ ± ۲/۵۲ ab	۵۰/۵۵ ± ۲/۰۴ hi	میهن	
۱۸۱/۱۱ ± ۴/۱۹ b	۱۳۵/۵۶ ± ۵/۸۶ abc	۴۸/۵۸ ± ۳/۴۹ i	اوروم	

میانگین سه تکرار ± انحراف معیار، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

سرب عمدتاً از مسیر آپوپلاستی یا کانال یونی کلسیم وارد ریشه می‌شود. انتقال سرب از مسیر آپوپلاستی به سهولت از طریق انحلال سرب در آب صورت می‌گیرد و نوار کاسپاری در آندودرم مانع انتقال آن به استوانه مرکزی می‌شود این امر سبب تجمع سرب در ریشه و ممانعت از انتقال آن به بخش‌های هوایی گیاه می‌شود (Sharma and Dubey, 2005).

جذب سرب کل زیست‌توده در ارقام مختلف گندم

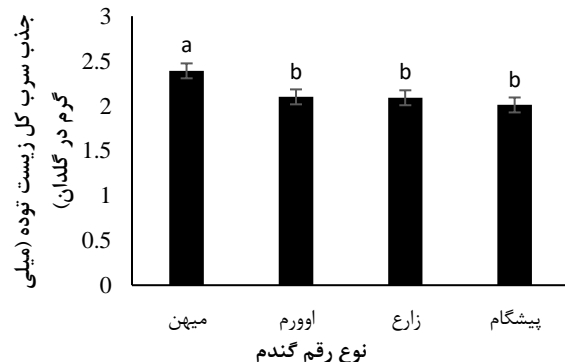
همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود با افزایش سطح سرب خاک، جذب سرب کل زیست‌توده گیاه گندم افزایش یافت. به طوری که در سطوح ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک، جذب سرب کل زیست‌توده گیاه گندم به ترتیب ۱۰ و ۱۲/۸۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. هرچند با افزایش سطوح سرب خاک، عملکرد و زیست‌توده گیاه کاهش یافته است ولی با توجه به این‌که مقدار جذب کل زیست‌توده از حاصل‌ضرب غلظت عنصر در وزن زیست‌توده خشک بخش‌های مختلف گیاه محاسبه می‌شود، می‌توان گفت که افزایش جذب سرب در سطوح بالاتر سرب خاک به علت افزایش غلظت سرب در این تیمارها نسبت به تیمار شاهد بوده است. یعنی با وجود این‌که زیست‌توده گیاه در تیمارهای ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک کاهش یافته است ولی به علت افزایش غلظت سرب در بخش‌های مختلف گیاه، مقدار جذب نسبت به سایر تیمارها افزایش داشته است. همچنین بیش‌ترین جذب سرب کل زیست‌توده با میانگین ۲/۳۹ میلی‌گرم در گلدان در رقم میهن مشاهده شد. درحالی‌که تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین ارقام اوورم، زارع و پیشگام مشاهده نشد (شکل ۳).



شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نوع رقم گندم بر جذب سرب کل زیست‌توده گیاه گندم

و سطح ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک با میانگین ۲/۶۷ میلی‌گرم در گلدان به دست آمد. درحالی‌که کم‌ترین جذب سرب کل زیست‌توده در رقم پیشگام و سطح ۲۵ میلی‌گرم سرب بر

گندم خصوصیات فیزیولوژیکی متفاوت دارند و پاسخ متفاوتی نسبت به تنش کادمیوم می‌دهند. همچنین تحقیقات آن‌ها نشان داد در سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک، رقم پیشگام بیش‌ترین غلظت کادمیوم اندام هوایی (میانگین ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) را داشت. آن‌ها دلیل این امر را کارایی این رقم در تجمع بیشتر کادمیوم به دلیل سمیت‌زدایی کادمیوم در سلول‌ها و کارایی سامانه آنتی‌اکسیدان^۱ نسبت به دیگر ارقام گندم عنوان کردند. Jafarnejadi *et al.* (2012) بیان کردند که فراهمی فلز سنگین کادمیوم برای ارقام مختلف گندم تحت تأثیر ویژگی‌های خاک و نوع رقم گندم می‌باشد. این نتایج بیانگر خصوصیات فیزیولوژیکی متفاوت و همچنین جذب متفاوت فلزات سنگین در ارقام مختلف گندم است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. (Abdollahi and Golchin (2018) و Tafvizi and Moteshare-zadeh (2014) گزارش کردند که با افزایش غلظت سرب در خاک، غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین غلظت سرب در ریشه بیشتر از اندام هوایی بود. سطوح سرب در گیاه، اغلب در ارتباط با مقدار سرب موجود در محیط است (Vesk and Allaway, 1997). بدین‌صورت که با افزایش غلظت سرب در خاک، غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه افزایش می‌یابد (Verma and Dubey, 2003; Fatahi Kiasari *et al.*, 2010). تفاوت زیاد بین غلظت سرب در ریشه و برگ نشان‌دهنده محدودیت انتقال داخلی فلزات از ریشه به سمت برگ‌های سبز می‌باشد (Kadukova and Kalogerakis, 2007). این مسئله به‌ویژه در مورد سرب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا این عنصر عمدتاً در ریشه‌ها تجمع می‌یابد (Gardea-Torresdey *et al.*, 2005).



مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح مختلف سرب خاک و نوع رقم گندم بر جذب سرب کل زیست‌توده گیاه گندم نشان داد که بیش‌ترین جذب سرب کل زیست‌توده از رقم میهن

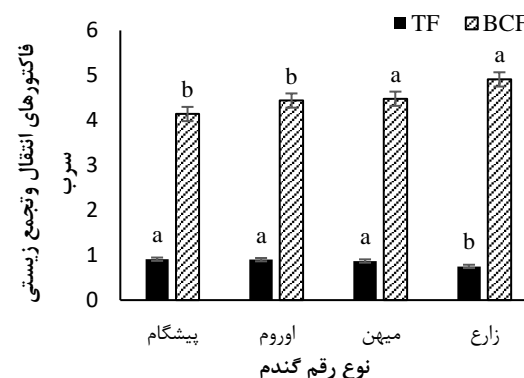
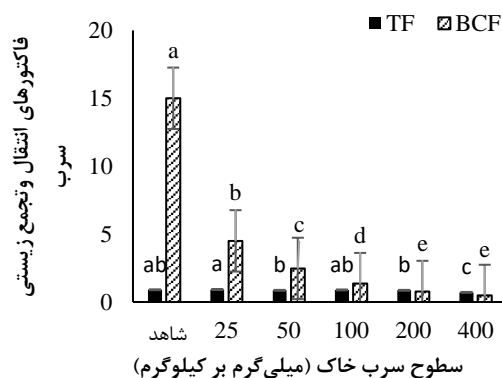
۰/۶۶ در رقم پیشگام و سطح ۴۰۰ میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک اندازه گیری شد (جدول ۳). گیاهان معدودی قادر به انتقال سرب از ریشه به بخش های هوایی خود هستند و به طور عمده سرب را در سلول های ریشه ذخیره می کنند (Ndeda and Manohar, 2014; Tafvizi and Motesharezadeh, 2014; Pachura *et al.*, 2016; Abdollahi and Golchin, 2018). هم چنین مشاهده شد که فاکتور تجمع زیستی سرب برای هر چهار رقم گندم در تیمارهای شاهد (بدون سرب)، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک بیش تر از یک بود ولی در تیمارهای ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک کم تر از یک به دست آمد (جدول ۴). بیش ترین میزان فاکتور تجمع زیستی سرب نیز با میانگین های ۱۹/۰۷ و ۱۸/۷۸ به ترتیب در ارقام میهن و زارع و تیمار شاهد و کم ترین میزان فاکتور تجمع زیستی سرب در همه ارقام گندم و سطح ۴۰۰ میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک به دست آمد (جدول ۴). تجمع فلزات سنگین در گیاه بستگی به ویژگی های گیاه، گونه، اندام گیاهی و اثرات متقابل فلزات سنگین و سمیت آن ها دارد. گیاهان مختلف و حتی بخش های مختلف یک گیاه رفتار متفاوتی در مقابل عناصر سنگین نشان می دهند (Nareshkumar *et al.*, 2015). با توجه به اینکه فاکتور تجمع زیستی سرب از تقسیم غلظت سرب ریشه به غلظت کل سرب خاک محاسبه شده است، می توان گفت هر چهار رقم گندم تا سطح ۱۰۰ میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک توانایی بالایی در جذب و انباشت سرب در ریشه خود داشته اند ولی در غلظت های بالاتر سرب خاک (۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک)، چون وزن خشک ریشه به دلیل سمیت بالای سرب و کاهش شدید عملکرد گیاه کاهش چشم گیری داشته است، لذا جذب و انباشت سرب در ریشه کاهش یافته و این امر سبب کاهش فاکتور تجمع زیستی سرب در این تیمارها شده است (جدول ۴).

کیلوگرم خاک (۱/۷۴ میلی گرم در گلدان) مشاهده شد (جدول ۴). (Abdollahi and Golchin 2018) در بررسی توانایی جذب و انتقال سرب در سه رقم کلم کشت شده در همین منطقه گزارش کردند که بیش ترین مقدار سرب جذب شده متعلق به کلم برگ (۲/۶۴ میلی گرم در گلدان) و سطح ۱۵۰ میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک بود که با مقدار جذب گیاه در سطح آلودگی خاک به ۳۰۰ میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک تفاوت معنی داری نداشت. این نتایج نشان می دهد که نوع رقم محصولات کشاورزی یکی از مؤثرترین فاکتورها در تعیین پاسخ گیاه به جذب و انباشت فلزات سنگین در اندام های گیاهی می باشد. لذا باید در خاک های آلوده به فلزات سنگین، با احتیاط و دانش بیشتری نوع رقم انتخاب شود تا کمترین جذب و انباشت فلزات سنگین در اندام های خوراکی را داشته باشد و از ریسک سلامت کمتری برخوردار باشد. تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک های کشاورزی نه تنها منجر به آلودگی محیط زیست می شود بلکه منجر به افزایش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان شده که در نتیجه آن کیفیت و امنیت غذایی تحت تأثیر قرار می گیرد (Muchuweti *et al.*, 2006). گیاهان مهم ترین مسیر انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان و چرخه های زیستی محسوب می شوند (Winsor, 1973).

فاکتورهای انتقال (TF) و تجمع زیستی (BCF) سرب در گیاه گندم

مقایسه میانگین ها نشان داد که با افزایش سطوح آلودگی خاک به سرب، فاکتور انتقال و فاکتور تجمع زیستی کاهش یافت. بیش ترین مقدار این فاکتورها در تیمار شاهد و کم ترین مقدار آن ها در سطوح ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک به دست آمد. هم چنین رقم های پیشگام، اوروم و میهن بیش ترین فاکتور انتقال و رقم های میهن و زارع بیش ترین فاکتور تجمع زیستی را داشتند (شکل ۴).

فاکتور انتقال برای هر چهار رقم گندم و در تمام تیمارها کم تر از یک بود. کم ترین میزان فاکتور انتقال سرب با میانگین



شکل ۴- تأثیر سطوح مختلف سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) و نوع رقم گندم بر فاکتور انتقال و تجمع زیستی

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح مختلف سرب خاک و نوع رقم گندم بر صفات مورد مطالعه در گیاه گندم

فاکتور تجمع زیستی (BCF) سرب	فاکتور انتقال (TF) سرب	جذب سرب کل زیست‌توده		نوع رقم گندم	سطوح سرب	
		میلی‌گرم در گلدان			میلی‌گرم بر کیلوگرم	
۱۸/۷۸ ± ۰/۹۵ a	۰/۶۸ ± ۰/۰۵fg	۱/۸۳ ± ۰/۱۳Hi		زارع		
۱۶/۲۲ ± ۰/۸۸ c	۰/۹۸ ± ۰/۰۵a	۱/۸۳ ± ۰/۰۷hi		پیشگام	شاهد	
۱۹/۰۷ ± ۱/۰۴ a	۰/۹۴ ± ۰/۰۴ab	۲/۰۷ ± ۰/۰۲۵ defgh		میهن		
۱۷/۶ ± ۰/۴۵ b	۱ ± ۰/۰۳a	۲/۰۶ ± ۰/۱۰ defgh		اوروم		
۵/۳ ± ۰/۱۸ d	۰/۷۶ ± ۰/۰۲ ef	۱/۹۶ ± ۰/۰۹ fghi		زارع		
۳/۹۶ ± ۰/۱۰ e	۰/۹۶ ± ۰/۰۲ ab	۱/۷۴ ± ۰/۰۴ i		پیشگام	۲۵	
۴/۶۶ ± ۰/۳۱ ed	۰/۹۷ ± ۰/۰۴ a	۲/۲۵ ± ۰/۰۶ bcde		میهن		
۴/۱۸ ± ۰/۳۲ e	۰/۹۹ ± ۰/۰۷ a	۱/۹۱ ± ۰/۰۴ ghi		اوروم		
۲/۷ ± ۰/۰۷ f	۰/۷۸ ± ۰/۰۴ ed	۱/۹۶ ± ۰/۰۲ fghi		زارع		
۲/۷ ± ۰/۱۰ f	۰/۹۴ ± ۰/۰۶ ab	۱/۸۳ ± ۰/۰۵ hi		پیشگام	۵۰	
۲/۶۸ ± ۰/۱۱ f	۰/۸۱ ± ۰/۰۲ cde	۲/۱۲ ± ۰/۱۱ defg		میهن		
۲/۳۵ ± ۰/۱۳ f	۰/۹۲ ± ۰/۰۷ ab	۱/۹۸ ± ۰/۰۶ fghi		اوروم		
۱/۴۵ ± ۰/۰۸ gh	۰/۸ ± ۰/۰۴ de	۲/۱۹ ± ۰/۱۰ defgh		زارع		
۱/۲۵ ± ۰/۰۷ hij	۰/۹۶ ± ۰/۰۲ ab	۲/۰۱ ± ۰/۰۸ efghi		پیشگام	۱۰۰	
۱/۴ ± ۰/۰۳ ghi	۰/۹۲ ± ۰/۰۵ ab	۲/۴۴ ± ۰/۲۱ abc		میهن		
۱/۳ ± ۰/۰۵ hij	۰/۹ ± ۰/۰۲ abc	۲/۰۸ ± ۰/۰۵ defgh		اوروم		
۰/۸۳ ± ۰/۰۴ hij	۰/۷۸ ± ۰/۰۴ de	۲/۳۲ ± ۰/۰۹ bcd		زارع		
۰/۷۱ ± ۰/۰۳ hij	۰/۹۴ ± ۰/۰۱ ab	۲/۲۷ ± ۰/۰۲ bcde		پیشگام	۲۰۰	
۰/۷۸ ± ۰/۰۴ hij	۰/۸۶ ± ۰/۰۴ bcd	۲/۴ ± ۰/۰۸ bc		میهن		
۰/۷۷ ± ۰/۰۴ hij	۰/۸۶ ± ۰/۰۴ bcd	۲/۲۶ ± ۰/۰۶ bcde		اوروم		
۰/۴۷ ± ۰/۰۲ j	۰/۷۳ ± ۰/۰۳ efg	۲/۳۲ ± ۰/۰۸ bcd		زارع		
۰/۵۴ ± ۰/۰۱ ij	۰/۶۶ ± ۰/۰۲ g	۲/۴۱ ± ۰/۲۳ bc		پیشگام	۴۰۰	
۰/۴۸ ± ۰/۰۱ j	۰/۷۳ ± ۰/۰۲ efg	۲/۶۷ ± ۰/۱۰ a		میهن		
۰/۴۵ ± ۰/۰۱ j	۰/۷۵ ± ۰/۰۲ ef	۲/۲۷ ± ۰/۰۶ bcde		اوروم		

میانگین سه تکرار ± انحراف معیار، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

یک به دست آمد. به‌طور کلی می‌توان گفت که هر چهار رقم گندم مورد بررسی (پیشگام، زارع، اوروم و میهن) در سطوح صفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک دارای فاکتور انتقال کم‌تر از یک و فاکتور تجمع زیستی بیش‌تر از یک هستند و این امر بیان‌گر طبقه‌بندی این ارقام جز گیاهان اجتناب‌کننده عنصر سرب در این سطوح می‌باشد. حضور سرب در خاک امکان تجمع این فلز سنگین و سمی را در گندم افزایش داده که باعث بروز بیماری‌های خطرناکی در انسان و دام می‌شود. هم‌چنین تجمع غلظت‌های بالای سرب در گندم بدون آنکه علائم سمیت سرب را نشان دهد، خطرناک بوده و بنابراین بررسی مزارع تحت کشت گندم به فلزات سنگین به‌خصوص سرب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مشاهده شد که با افزایش غلظت سرب خاک، عملکرد تر و خشک هر چهار رقم گندم (زارع، پیشگام، میهن و اوروم) به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. مقایسه غلظت سرب در ریشه و بخش هوایی گندم حاکی از تجمع سرب در بخش ریشه گیاه گندم بود. بیش‌ترین غلظت سرب بخش هوایی و ریشه در رقم پیشگام و سطح ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک و کم‌ترین غلظت سرب بخش هوایی در رقم زارع به دست آمد. فاکتور انتقال برای هر چهار رقم گندم و در تمام تیمارها کم‌تر از یک بود. فاکتور تجمع زیستی سرب برای هر چهار رقم گندم در تیمارهای شاهد (بدون سرب)، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک بیش‌تر از یک ولی در تیمارهای ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک کم‌تر از

REFERENCES

- Abdollahi, S. and Golchin, A. (2018). Evaluate Ability of Uptake and Translocation of Lead in Three Varieties of Cabbage. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 49(1): 145-158. (In Farsi).
- Alloway, B. J. (1995). Heavy metals in soils, 2nd (ed.), Blackie Academic and professional. London, England. (pp. 38-303).
- Attanayake, C. P., Hettiarachchi, G. M., Harms, A., Presley, D., Martin, S. and Pierzynski, G. M. (2014). Field evaluations on soil plant transfer of lead from an urban garden soil. *Journal of Environmental Quality*. 43(2): 475-87.
- Bouyoucos, C. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy*

- Journal*. 54: 464-465p.
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-total. In: Sparks, D. L. et al., Method of soil analysis. Published by Soil Science Society of America, Inc. *American Society of Agronomy*, Inc. Madison, Wisconsin, USA. (pp. 1085-1122).
- Cai, L., Xu, Z., Ren, M., Guo, Q., Hu, X., Hu, G. and Peng, P. (2012). Source identification of eight hazardous heavy metals in agricultural soils of Huizhou, Guangdong Province, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 78: 2-8.
- Cenkci, S., Cigerci, IH., Yildiz, M., Özay, C., Bozdog, A. and Terzi, H. (2010). Lead contamination reduces chlorophyll biosynthesis and genomic template stability in Brassica rapa L. *Environ Exp Bot*. 67(3):467-473.
- Defoe, P. P., Hettiarachchi, G. M., Benedict, C. and Martin, S. (2014). Safety of gardening on lead-and arsenic contaminated brownfields. *Journal of Environmental Quality*. 43(6): 2064-2078.
- Fatahi Kiasari, E., Fotovvat, A., Astarai, A. R. and Haghnia, G. H. (2010). Lead Phytoextraction from Soil by Corn, Sunflower, and Cotton Applying EDTA and Sulfuric Acid. *JWSS-Isfahan University of Technology*. 14(51): 57-69.
- Gardea-Torresdey, J. L., Peralta-Videa, J. R., De La Rosa, G., and Parsons, J. G. (2005). Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*. 249(17-18): 1797-1810.
- Golchin, A. (2003). Industrial activities and heavy metal contamination of agricultural soils. 8th Soil Science Congress of Iran. 2: 776-779. (In Farsi).
- Helmke, P. H. and Spark D. L. (1996). Potassium. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis. Published by: *Soil Science Society of America*, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA. (pp. 551-574).
- Igwe, J., and Abia, A. A. (2006). A bioseparation process for removing heavy metals from waste water using biosorbents. *African Journal of Biotechnology*. 5(11): 1167-1179.
- Islam, E., Liu, D., Li, T., Yang, X., Jin, X., Mahmood, Q. and Li, J. (2008). Effect of Pb toxicity on leaf growth, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. *Journal of Hazardous Materials*. 154(1-3): 914-926.
- Islam, E., Yang, X., Li, T., Liu, D., Jin, X. and Meng, F. (2007). Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. *Journal of Hazardous Materials*. 147(3): 806-816.
- Jafarnejadi, A. R., Homae, M., Sayyad, GH.A., and Bybordi, M. (2012). Evaluation of main soil properties affecting Cd concentrations in soil and wheat grains on some calcareous soils of Khuzestan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 19(2): 149-164. (In Farsi).
- Javad-zarrin, I., Moteshare-zade, B. (2015). Effect of cadmium on concentration of copper, iron, manganese and zinc in shoot of different cultivars of wheat. *Journal of Crops Improvement*, 17(1): 27-41. (In Farsi).
- Joonki, Y., Xinde, C., Qixing, Z. and Lena, Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Fliria site. *Science of the Total Environment*. 368: 456-464.
- Kadukova, J., and Kalogerakis, N. (2007). Lead accumulation from non-saline and saline environment by *Tamarix smyrnensis* Bunge. *European Journal of Soil Biology*. 43(4): 216-223.
- Kopitke, P. M., Asher, C. J., Kopitke, R. A. and Menzies, N. W. (2007). Toxic effects of Pb²⁺ on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Environmental Pollution*. 150(2): 280-287.
- Kosobrukhhov, A., Knyazeva, I. and Mudrik V. (2004). Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: growth and photosynthesis. *Plant Grow Regulation*. 42:145-151.
- Kupper, h., Zhao, F. and McGhrath, S. (1999). Cellular compartmentation of zinc in leaves of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Physiology*. 119: 305-311.
- Larbi, A., Morales, F. and Abadia, a. (2003). Effects of Cd and Pb in sugar beet plants grown in nutrient solution: induced Fe deficiency and growth inhibition. *Functional Plant Biology*. 20 (12): 1453-1464
- Li, M. S., Luo, Y. P., and Su, Z. Y. (2007). Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi, South China. *Environmental pollution*. 147(1): 168-175.
- Lindsay, W. L. and Norvel, W. A. (1978). Development of a DTPA soil tests for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 421-428.
- Liu, D., Li, T. Q., Yang, X. E., Islam, E., Jin, X. F., and Mahmood, Q. (2008). Effect of Pb on leaf antioxidant enzyme activities and ultrastructure of the two ecotypes of *Sedum alfredii* Hance. *Russian journal of Plant Physiology*. 55(1): 68-76.
- Loeppert, R. H., and Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum, in: Sparks, D. L., Page, A. L., Sumner, M.E., Tabatabai, M. A. and Helmke, P. A. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods. *Soil Science Society of America Inc.*, Madison, WI, USA. (pp. 437-474).
- Macfarlane, G. R., Koller, C. E. and Blomberg, S. P. (2007). Accumulation and partitioning of heavy metals in mangroves: A synthesis of field-based studies. *Chemosphere*. 69: 1454-1464.
- Memon, A., Aktoprakligil, D., Ozdemir, A. and Vertii, A. (2001). Heavy metal accumulation and detoxification mechanisms in plants. *Turkish Journal of Botany*. 25: 111-121.
- Muchuweti, M., Birkett, J. W., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M. D., and Lester, J. N. (2006). Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. *Agriculture, Ecosystems and*

- Environment*. 112(1): 41-48.
- Munzuroglu, O. and Geckil, H. (2002). Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 43(2): 203-213.
- Nareshkumar, A., Nagamallaiyah, G.V., Pandurangaiah, M., Kiranmai, K., Amaranathareddy, V., Lokesh, U., Venkatesh, B., Sudhakar, C., (2015). Pb-Stress Induced Oxidative Stress Caused Alterations in antioxidant efficacy in two groundnuts (*Arachis hypogaea* L.) Cultivars. *Agricultural Sciences*. 6: 1283-1297.
- Ndeda, L.A., Manohar, S., (2014). Bioconcentration factor and translocation ability of heavy metals within different habitats of hydrophytes in Nairobi Dam, Kenya. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food*. 8(5):42-45.
- Nemati, H., and Bostani, A. A. (2014). Assessment of lead and cadmium uptake by tomato plant in the presence of PGPR and arbuscular Mycorrhizal fungi. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 4 (1): 219-233 (In Farsi).
- Olowoyo, J. O., Heerden, E., Fischer, J. L. and Baker, C. (2010). Trace metals in soil and leaves of *Jacaranda mimosifolia* in Tshwane area, South Africa. *Atmospheric Environment*. 44: 1826-1830.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. and Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture. United States Government. Print Office, Washington, D. C.
- Pachura, P., Ociepa-Kubicka, A., Skowron-Grabowska, B., (2016). Assessment of the availability of heavy metals to plants based on the translocation index and the bioaccumulation factor. *Journal of Desalination and Water Treatment*. 57(3): 1469-1477.
- Page, A. L. (1982). Methods of soil analysis, Part 2-Chemical and microbiological properties. *Soil Science Society of America*.
- Pallavi, sh. and Rama, Sh. D. (2005). Lead toxicity in plant. *Braz J Physiol*, 17(1):1-15.
- Parsadoost, F., Bahreininejad, B., Safarisanjani, A. and Kaboli, M. (2007). Phytoremediation of lead with native rangeland plants in Irankooch polluted soils. *Pajuhesh and Sazandegi*. 75: 54-63. (In Farsi).
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. Method of soil analysis, parss: *Chemical Methods*. Madison. Wisconsin, USA. (pp. 417-436).
- Roberts, T. M., Gizyn, W., and Hutchinson, T. C. (1974). Lead contamination of air, soil, vegetation and people in the vicinity of secondary lead smelters. *Trace Subst. Environ. Health*; (United States), 8.
- Seed and Seedling Breeding Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization. (2015). Introduction to Agricultural Cultivars. . *Food Safety and Health*. Retrieved June 3, 2020, from [http:// www.areeo.ac.ir](http://www.areeo.ac.ir)
- Sharma, P. and Dubey, R. S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17(1): 35-52.
- Tafvizi, M., Moteshare-zadeh, B., (2014). Effects of Lead on Iron, Manganese, and Zinc Concentrations in Different Varieties of Maize (*Zea mays*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 45: 1853-1865
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. (pp. 475-490). In Sparks, D. L. *et al.*, Method of Soil Analysis. Published by: *Soil Science Society of America*, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Vassilev, A., Vangronsveld, J. and Yordanov, I. (2002). Cadmium phytoextraction: Present state, biological backgrounds and research needs. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. 28: 68-95.
- Verma, S. and Dubey, R. S. (2003). Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*. 164(4): 645-655.
- Vesk, P. A., and Allaway, W. G. (1997). Spatial variation of copper and lead concentrations of water hyacinth plants in a wetland receiving urban run-off. *Aquatic Botany*. 59(1-2): 33-44.
- Walkley, A. and I. A. Black. (1934). an examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.
- Wang, H., Zhong, G., Shi, G. and Pan, F. (2010). October. Toxicity of Cu, Pb, and Zn on seed germination and young seedlings of wheat (*Triticum aestivum* L.). In *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*. 231-240.
- Winsor, G. W. (1973). Nutrition. The UK Tomato Manual. *Grower Books, London*. 8: 1246-1252.
- Zaier, H., Ghnaya, T., Lakhdar, A., Baioui, R., Ghabriche, R., Mnasri, M. and Abdelly, C. (2010). Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: tolerance and accumulation. *Journal of Hazardous Materials*. 183(1-3): 609-615.