

## ارزیابی کارایی شش رقم آفتابگردان در استخراج گیاهی سرب از یک خاک حاوی سرب با سابقه بلند مدت

محمد رضا نادری<sup>۱</sup> - عبدالرزاق دانش شهرکی<sup>۲\*</sup> - فایز رئیسی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۹

### چکیده

انتخاب دقیق ارقام گیاهی مناسب به منظور حصول سازگاری مطلوب با محیط و آلاینده‌ی خاص، یک استراتژی مهم جهت موفقیت در فن‌آوری گیاه‌پالایی محسوب می‌شود. آفتابگردان از جمله گیاهانی است که به دلیل برخورداری از رشد سریع و بیوماس بالا، همواره گیاهی مناسب جهت جذب و استخراج فلزات سمی از خاک‌های آلوده محسوب می‌شود. به منظور ارزیابی کارایی شش رقم آفتابگردان در استخراج گیاهی فلز سنگین سرب از یک خاک حاوی سرب، این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد به اجرا در آمد. ارقام مورد استفاده در این آزمون شامل آلتار، هایسان ۳۳، سیرنا، سانبرا، رکورد و ایروفلور بودند. نتایج نشان داد که میان ارقام آفتابگردان از لحاظ غلظت سرب اندام هوایی، فاکتور انتقال و کل سرب برداشت شده توسط اندام هوایی، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. به‌طور کلی، به دلیل آنکه فاکتور انتقال تمامی ارقام مورد مطالعه در این آزمون کمتر از یک بود، می‌توان اظهار داشت که هیچ یک از ارقام کارایی مناسبی جهت استخراج سرب از خاک آلوده نداشتند. با این وجود، بالا بودن غلظت سرب ریشه‌ی این ارقام و در عین حال اندک بودن فاکتور انتقال آن‌ها بیانگر آن است که کارایی ارقام مورد مطالعه جهت استفاده در تکنیک تثبیت گیاهی بیشتر از تکنیک استخراج گیاهی است.

**واژه‌های کلیدی:** فلزات سنگین، آلودگی خاک، گیاه‌پالایی، فاکتور انتقال، تثبیت گیاهی

### مقدمه

زنجیره‌های غذایی در بدن انسان‌ها و حیوانات تجمع می‌یابد و سلامتی آن‌ها را به مخاطره می‌اندازد (۱۷). مسمومیت ناشی از سرب در کودکان باعث آسیب‌های عصبی می‌شود که این صدمات عصبی منجر به کاهش ضریب هوشی، از دست دادن حافظه‌ی کوتاه مدت، ناتوانی در یادگیری و اختلالات هماهنگی اعضا می‌گردند (۲۷).

در میان جانداران عالی، تنها گیاهان مکانیسم‌ها و استراتژی‌های مؤثری را به منظور حفظ بقای خود در مکان‌های شدیداً آلوده توسعه داده‌اند. گیاهان قادر به رشد در محیط‌هایی که میزان آلودگی آن‌ها بسیار بیشتر از آستانه‌ی تحمل سایر جانداران عالی است، می‌باشند. این جانداران با شیوه‌های مختلف از جمله دفع کردن، سم‌زدایی و انباشت نمودن یون‌های فلزی در سلول‌ها یا اجزای سلولی تخصصی شده‌ی خود (نظیر واکوئل‌ها و دیواره‌های سلولی)، حضور فلزات سمی را تحمل می‌کنند. از این رو، امکان بهره‌برداری از توانایی عظیم گونه‌های گیاهی خاص در علم نوظهور گیاه‌پالایی به منظور زدایش فلزات سمی از مکان‌های آلوده وجود دارد (۹).

گیاهانی که جهت استخراج فلزات سنگین از خاک‌های آلوده مورد

سرب (Pb) از جمله فلزات سنگینی محسوب می‌شود که دارای کارکرد زیستی مشخصی نمی‌باشد و قادر است در گیاهان و سایر موجودات زنده ایجاد مسمومیت نماید. این فلز به دلیل پراکنش گسترده در مناطق شهری و صنعتی و خطر بالقوه‌ی آن برای محیط زیست و سلامت انسان‌ها و حیوانات، منشأ نگرانی‌های متعددی گردیده است. سرب نه تنها فعالیت ریزجانداران خاک را تحت تأثیر قرار داده و سبب از دست رفتن حاصل‌خیزی خاک می‌شود، بلکه باعث بروز تغییر در شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد گیاهان و در نهایت کاهش عملکرد آن‌ها نیز می‌گردد (۱۹). این فلز به واسطه‌ی ورود به

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

\*- نویسنده مسئول: (Email: danesh-a@agr.sku.ac.ir)

۳- استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

رکورد و ایروفلور بودند. بذر مورد نیاز از شرکت توسعه‌ی کشت دانه‌های روغنی تهیه گردید. خاک مورد استفاده جهت اجرای این آزمون از معدن سرب و روی باما واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهر اصفهان (با عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۱ دقیقه و ۴۵ ثانیه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۸ دقیقه و ۳۷ ثانیه‌ی غربی و ارتفاع ۱۶۷۰ متر از سطح دریا) تهیه شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

۸ عدد بذر از هر رقم آفتابگردان درون گلدان‌های ۷ کیلوگرمی محتوی ۵ کیلوگرم خاک کشت گردید. در روز پانزدهم پس از کاشت، تعداد گیاهچه‌های درون هر گلدان به پنج عدد و در روز سی‌ام پس از کاشت به سه عدد کاهش یافت و این سه گیاهچه تا روز پنجاه و پنجم به رشد خود ادامه دادند. در انتهای روز پنجاه و پنجم، بخش هوایی بوته‌های درون گلدان‌ها برداشت شد و ریشه‌های آن‌ها نیز به واسطه‌ی غوطه‌ور نمودن خاک درون گلدان در آب و انجام حرکات رفت و برگشتی الک، کاملاً از خاک جدا گردید. پس از آنکه اندام‌های گیاهی ابتدا چندین مرتبه توسط آب معمولی و سپس چندین نوبت به وسیله‌ی آب مقطر شسته شدند، بخش هوایی و ریشه‌ی گیاهان در پاکت‌های جداگانه ریخته شده و پس از اتیکت‌گذاری، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک گردیدند.

پس از خشک شدن نمونه‌های گیاهی، ۰/۵ گرم از هر نمونه درون کوره در دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد سوزانده شد، نمونه‌های گیاهی سوزانده شده به لوله‌های آزمایش انتقال یافته و ۶ میلی‌لیتر اسیدنیتریک غلیظ به آن‌ها اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق به حال خود رها شده و سپس به مدت یک ساعت در دمای ۱۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد حرارت داده شدند. پس از سرد شدن کامل لوله‌های آزمایش، ۲ میلی‌لیتر پرکلریک‌اسید به هر لوله اضافه نموده و محتوای درون لوله‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد حرارت داده شد. در انتها نیز به هر لوله‌ی آزمایش که به طور کامل سرد شده بود، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر ۹۰ درجه اضافه نموده، سپس محتوای درون هر لوله با کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف شده و حجم آن به ۲۵ میلی‌لیتر رسانیده شد (۱۱). غلظت سرب نمونه‌های گیاهی به وسیله‌ی دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی (AAS) تعیین و برحسب  $\text{mg kg}^{-1}$  وزن خشک گیاه بیان گردید. در نهایت از سه شاخص فاکتور انتقال (رابطه‌ی ۱)، کل سرب برداشت شده توسط اندام هوایی گیاه (رابطه‌ی ۲) و فاکتور تجمع زیستی (رابطه‌ی ۳) که با استفاده از روابط زیر تعیین شدند، به منظور ارزیابی پتانسیل ارقام آفتابگردان در استخراج فلز سنگین سرب از خاک آلوده استفاده شد.

استفاده قرار می‌گیرند و یا مناسب هستند، بایستی توان بالایی برای تحمل این فلزات داشته باشند، سازگار به شرایط اقلیمی و خاکی منطقه‌ی آلوده باشند و بتوانند مقادیر بالایی از آلاینده‌های فلزی را جذب نمایند (۱۴). به طور کلی، دو گروه از گونه‌های گیاهی به منظور استخراج گیاهی فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند: گروه اول گونه‌های بیش‌اندوز<sup>۱</sup> هستند که قادر به انباشت و تحمل مقادیر بسیار بالای آلاینده‌های فلزی می‌باشند و گروه دوم شامل گونه‌های گیاهی با توانایی تولید زیست توده‌ی بالا نظیر ذرت، تنباکو و آفتابگردان است که ظرفیت خود را در جذب و انباشت فلزات سنگین به واسطه‌ی تولید بیوماس بالا جبران می‌کنند (۲۶).

در این میان، گونه‌های گیاهی خانواده‌ی آفتابگردان<sup>۲</sup> از مطلوبیت فوق‌العاده‌ی جهت حذف زیستی فلزات سنگین و عناصررادایواکتیو نظیر استرانسیوم، سزیم و اورانیوم برخوردار هستند (۹). آفتابگردان<sup>۳</sup>، یکی از گونه‌های گیاهی متعلق به خانواده‌ی آستراسه است که به دلیل برخورداری از رشد سریع و زیست توده‌ی بالا، گیاهی مناسب جهت زدودن (جذب) فلزات سنگین از خاک مناطقی که شدیداً به این فلزات آلوده هستند، محسوب می‌شود (۱۳). فتاحی کیاسری و همکاران (۱) عنوان داشتند که آفتابگردان در ترکیب با کلات EDTA گیاهی مؤثر به منظور دستیابی به هدف پاکسازی خاک‌های آلوده به سرب می‌باشد. زمینز و همکاران (۲۸) بیان داشتند که آفتابگردان در زدودن فلزات سنگین سرب، کروم، روی، کادمیوم و نیکل از خاک‌های آلوده، گیاهی کارآمد است. به علاوه، تجمع غلظت‌های ناچیز فلزات سمی در دانه و روغن آفتابگردان، خطر آلودگی زنجیره‌های غذایی را به حداقل رسانده و از طرف دیگر، امکان استفاده از روغن آن در مصارف صنعتی نیز وجود خواهد داشت (۱۸). با توجه به مطالب عنوان شده، به منظور شناسایی ارقام مناسب آفتابگردان جهت استفاده در پالایش زیستی خاک‌ها و اراضی آلوده به سرب، این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی شش رقم آفتابگردان روغنی در استخراج سرب از خاک به اجرا در آمد.

## مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی کارایی شش رقم آفتابگردان در استخراج گیاهی سرب از یک خاک حاوی سرب با سابقه‌ی بلند مدت، یک آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شهرکرد به اجرا درآمد. ارقام مورد استفاده در این آزمون شامل آلتار، هایسان ۳۳، سانبرا، سیرنا،

1- Hyperaccumulators

2- Asteraceae

3- *Helianthus annuus* L.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمون

بافت خاک	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	سرب کل (mg kg <sup>-1</sup> )	سرب قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	پتاسیم قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	فسفر قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	کربن آلی (%)	نیترژن کل (%)
لومی	۷/۶۲	۰/۲۹	۴۵	۳۶	۱۹	۳۷۹	۴۱	۲۵۰	۹/۳۵	۰/۵۸	۰/۰۶

حال، میان این رقم و رقم‌های سان ۳۳ از لحاظ غلظت سرب اندام هوایی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. غلظت سرب اندام هوایی سه رقم هایسان ۳۳، سانبرا و سیرنا نیز دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد نبود (شکل ۱). در مجموع می‌توان اظهار داشت که غلظت سرب اندام هوایی ارقام مورد مطالعه در این آزمون بسیار کمتر از گیاهان بیش‌اندوز سرب می‌باشد، چراکه گونه‌های گیاهی بیش‌اندوز سرب بایستی قادر به تجمع این فلز با غلظت‌های بیش از ۰/۱ درصد وزن خشک (بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) باشند (۱۶). در این رابطه، نه‌نوجا و همکاران (۲۲) با مقایسه‌ی ۱۵ رقم آفتابگردان اظهار داشتند که میان ارقام مورد مطالعه از لحاظ غلظت سرب اندام هوایی اختلاف معنی‌دار وجود داشت. این محققین بیان داشتند که غلظت سرب در اندام هوایی ارقام مورد مطالعه از ۲/۸ تا ۲۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک متفاوت بود. آن‌ها در ادامه عنوان کردند که میزان تجمع سرب در اندام هوایی ارقام مورد مطالعه بسیار کمتر از گیاهان بیش‌اندوزی همچون *Thlaspi caerulescens* می‌باشد.

شش رقم آفتابگردان مورد مطالعه در این آزمایش از لحاظ غلظت سرب ریشه اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۲). با این وجود، بالاترین غلظت سرب ریشه با مقدار میانگین ۷۴/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم متعلق به رقم سیرنا و کمترین آن با مقدار میانگین ۵۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به رقم ایروفلور بود. به عبارت دیگر، هر شش رقم آفتابگردان از لحاظ آماری دارای توانایی یکسانی در جذب سرب از خاک آلوده می‌باشند. ناندکومار و همکاران (۲۱) نیز میزان جذب سرب توسط ریشه‌های آفتابگردان را در حدود ۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک ریشه گزارش نمودند.

$$(۱) \quad \text{فاکتور انتقال} = \frac{\text{غلظت سرب در اندام هوایی گیاه}}{\text{غلظت سرب در ریشه گیاه}}$$

$$(۲) \quad \text{عملکرد بیولوژیک (g plant}^{-1}\text{)} = \text{غلظت سرب (} \mu\text{g g}^{-1}\text{)} \times \text{اندام هوایی (} \mu\text{g plant}^{-1}\text{)}$$

$$(۳) \quad \text{فاکتور تجمع زیستی} = \frac{\text{غلظت سرب در ریشه گیاه}}{\text{غلظت سرب در خاک}}$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد. ترسیم نمودارها به وسیله نرم‌افزار Excel 2007 صورت پذیرفت.

## نتایج و بحث

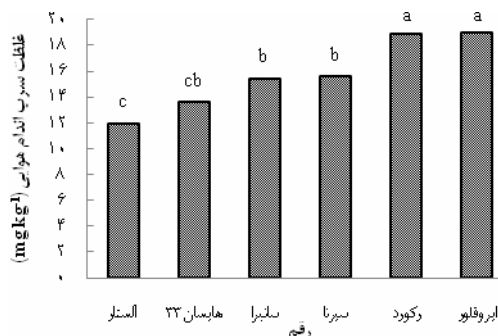
با توجه به نتایج جدول تجزیه‌ی واریانس (جدول ۲)، اثر رقم بر غلظت سرب اندام هوایی، فاکتور انتقال سرب از ریشه‌ی گیاه به اندام هوایی آن و کل سرب برداشت شده توسط اندام هوایی گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که اثر رقم بر غلظت سرب ریشه، عملکرد بیولوژیک و همچنین فاکتور تجمع زیستی معنی‌دار نبود.

مقایسه میانگین صفات نشان داد که بالاترین غلظت سرب اندام هوایی (۱۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) متعلق به رقم ایروفلور بود (شکل ۱). با این وجود، میان این رقم و رقم رکورد از لحاظ غلظت سرب اندام هوایی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده نشد. کمترین غلظت سرب اندام هوایی نیز با مقدار میانگین ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به رقم آلستار بود. با این

جدول ۲- تجزیه‌ی واریانس صفات مورد مطالعه

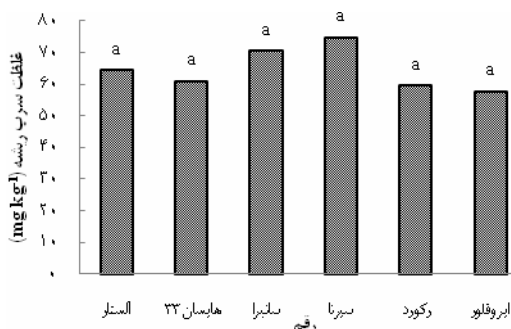
میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
فاکتور تجمع زیستی	عملکرد بیولوژیک	کل سرب برداشت شده توسط اندام هوایی	فاکتور انتقال	غلظت سرب ریشه	غلظت سرب اندام هوایی	رقم		
۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۱۷۱/۵۳ <sup>**</sup>	۰/۰۱۱ <sup>**</sup>	۱۳۳/۹۱۰ <sup>ns</sup>	۲۳/۳۵۰ <sup>**</sup>	۵	رقم	
۰/۰۴	۰/۰۷۰	۲۲/۴۷۰	۰/۰۰۱	۷۱/۳۲۰	۱/۰۱۰	۱۰	خطا	
۱۲/۹۳	۱۲/۳۸	۱۳/۷۳	۱۵/۷۴	۱۳/۰۳	۶/۳۹		ضریب تغییرات (%)	

\*\*\*- معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار



شکل ۱- اثر رقم بر غلظت سرب اندام هوایی

(میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)



شکل ۲- اثر رقم بر غلظت سرب ریشه

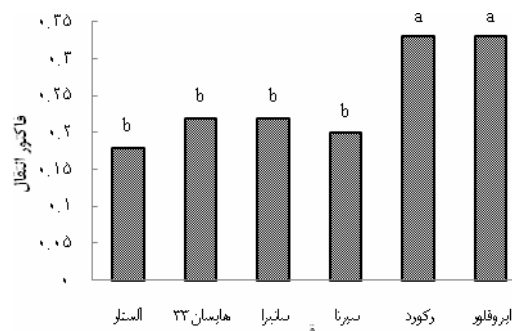
(میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

معنی‌داری نشان نداد. بالاترین میزان فاکتور تجمع با میانگین ۱/۸۲ متعلق به رقم سیرنا و کمترین میزان آن با میانگین ۱/۴۱ متعلق به رقم ایروفلیور بود. با توجه به شکل ۳، فاکتور تجمع زیستی تمامی ارقام بالاتر از ۱ بود که مؤید آن است که این ارقام به خوبی، همانند یک گیاه بیش‌اندوز توانسته‌اند سرب موجود در خاک را به ریشه‌های خود انتقال دهند (شکل ۴). در مطالعه‌ی صفری سینجانی و خلیلی‌خواه (۲۴) بر استخراج گیاهی سرب توسط آفتابگردان تحت تیمارهای مختلف (شامل تیمار شاهد، تیمار کاربرد EDTA با دو غلظت ۰/۵ و ۲ گرم بر کیلوگرم و تیمار کاربرد عصاره‌ی کود گوسفندی با دو غلظت ۰/۵ و ۲ گرم بر کیلوگرم) نیز فاکتور تجمع زیستی سرب در تمامی تیمارها (حتی تیمار شاهد) بیش از ۱ بود، که این امر بیانگر توانایی مطلوب آفتابگردان در جذب سرب موجود در خاک می‌باشد.

ارقام مورد مطالعه از لحاظ فاکتور انتقال اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۴). بیشترین میزان فاکتور انتقال با میانگین ۰/۳۳ متعلق به رقم ایروفلیور بود، با این وجود میان این رقم و رقم رکورد از لحاظ فاکتور انتقال اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کمترین میزان فاکتور انتقال با مقدار میانگین ۰/۱۸ متعلق به رقم آستار بود، این در حالی است که میان این رقم و ارقام هایسان ۳۳، سانبرا و سیرنا از لحاظ فاکتور انتقال اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

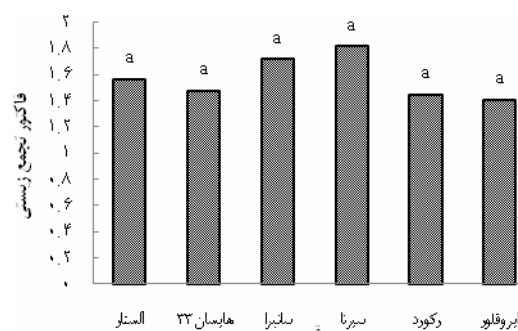
همانگونه که از مقایسه‌ی دو شکل ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، غلظت سرب ریشه‌ی تمامی ارقام آفتابگردان بیش از غلظت سرب اندام هوایی آن‌ها است. مطالعات صورت گرفته در مورد توانایی گیاه‌پالایی آفتابگردان نیز نشان داده‌اند که بالاترین غلظت سرب در ریشه‌های این گیاه تجمع می‌یابد (۱۲). بر این اساس، بونیوپوکانا و همکاران (۶) اظهار داشتند که ۸۰ تا ۸۷ درصد از کل سرب جذب شده توسط آفتابگردان، در ریشه‌های آن تجمع یافت و تنها ۱۳ تا ۲۰ درصد از سرب به اندام هوایی این گیاه انتقال پیدا کرد. در مطالعه‌ی حاضر نیز ارقام مختلف آفتابگردان تنها ۱۶ تا ۲۴ درصد از کل سرب جذب شده توسط گیاه را به اندام هوایی خود انتقال دادند. با توجه به اینکه آفتابگردان گیاهی متحمل نسبت به فلزات سنگین است، می‌توان اظهار داشت که تمامی ارقام آفتابگردان مورد مطالعه در این آزمون به طور طبیعی جهت تحمل سمیت ناشی از سرب از مکانیسم گونه‌های طردکننده‌ی فلز بهره می‌گیرند. به عبارت دیگر این گونه‌های گیاهی از ورود یون‌های فلزی به درون بخش‌های هوایی خود جلوگیری می‌کنند، درحالی‌که غلظت فلزات در ریشه‌های آن‌ها بالا می‌باشد (۶).

فاکتور تجمع زیستی بین ارقام مورد مطالعه در این آزمون تفاوت



شکل ۴- اثر رقم آفتابگردان بر فاکتور انتقال سرب

(میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)



شکل ۳- اثر رقم بر فاکتور تجمع زیستی سرب

(میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

به نظر نمی‌رسد که به راحتی بتوان فاکتور انتقال سرب از ریشه‌های آفتابگردان به اندام هوایی آن را افزایش داد، چراکه سرب همراه با فلزاتی نظیر کروم و جیوه، جزء عناصری هستند که به سختی از ریشه‌های گیاه به اندام هوایی آن انتقال می‌یابند (۴). وجود غلظت‌های بالای فسفات و یون‌های کربنات-بی‌کربنات و همچنین pH نسبتاً بالای فضاهای بین‌سلولی ریشه‌ی آفتابگردان موجب می‌شود که سرب بلافاصله پس از ورود به درون ریشه‌ی گیاه، به شکل فسفات‌ها یا کربنات‌ها رسوب کند. این امر در نهایت موجب کاهش جابه‌جایی سرب به سمت اندام هوایی آفتابگردان و در نتیجه کاهش فاکتور انتقال آن می‌شود (۱۳).

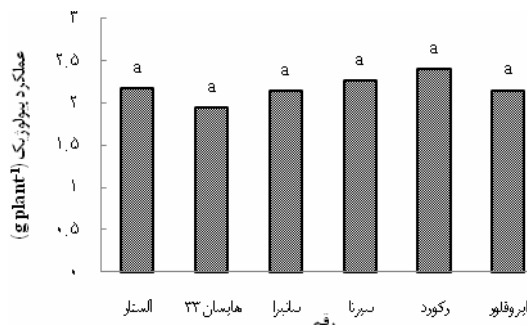
با این وجود، با توجه به تحمل بالای ارقام آفتابگردان نسبت به فلزات سنگین و بالا بودن زیست توده‌ی تولیدی آن‌ها، با استفاده از روش‌های کمکی نظیر کاربرد عوامل کلات‌ساز (مانند EDTA) (۲۴) و کاربرد مایه‌ی تلقیح ریزوباکتری‌های بومی خاک‌های آلوده به فلز (۲۰) می‌توان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کارآیی استخراج گیاهی سرب توسط آفتابگردان را بهبود بخشید، چراکه این عوامل به‌طور هم‌زمان جذب و جابه‌جایی فلزات سنگین از ریشه‌ی گیاه به سمت اندام هوایی آنرا افزایش می‌دهند (۲۵) و بنابراین کاربرد آن‌ها موجب افزایش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان غیر بیش‌اندوز یا بیوماس بالا نظیر خردل، آفتابگردان، ذرت و تنباکو خواهد شد (۸).

علاوه بر این، بالا بودن غلظت سرب ریشه‌ی ارقام مورد مطالعه و اندک بودن فاکتور انتقال آن‌ها بیانگر کارآیی بیشتر این ارقام جهت استفاده در تکنیک تثبیت گیاهی<sup>۲</sup> می‌باشد، چرا که ویژگی‌های اختصاصی گیاهان مناسب برای استفاده در تثبیت گیاهی آلاینده‌های فلزی عبارتند از: ۱- متحمل بودن نسبت به غلظت‌های بالای فلزات سنگین، ۲- تولید مقادیر زیاد زیست‌توده‌ی ریشه‌ای به منظور جذب درونی یا سطحی یون‌های فلزی و جلوگیری از تحرک آن‌ها در خاک

در مطالعات پیشین نیز با وجود افزایش معنی‌دار فاکتور انتقال سرب در نتیجه‌ی کاربرد عوامل کلات‌ساز (۲۴) و همچنین مایه‌ی تلقیح باکتری‌های بومی (۲۰)، همچنان فاکتور انتقال بوته‌های آفتابگردان در تمامی تیمارها کمتر از ۱ بود. فتاحی کیاسری و همکاران (۱) پس از آلوده کردن خاک با سرب و افزودن اسید سولفوریک و EDTA نسبت غلظت سرب به اندام هوایی ریشه آفتابگردان را ۰/۲۲ گزارش کردند. متشرع زاده و ثواقبی (۲) هم نشان دادند که فاکتور انتقال سرب در آفتابگردان در خاک‌های آلوده شده به سرب به‌طور مصنوعی کمتر و یا نزدیک به یک است. این در حالی است که نجفی و همکاران (۳) ضریب انتقال سرب توسط آفتابگردان را حتی کمتر و حدود ۰/۱ گزارش نموده‌اند. دلیل وجود اختلاف بین نتایج منتشر شده می‌تواند ناشی از تفاوت ارقام و شرایط یا حالت ایجاد آلودگی باشد. بدین ترتیب که برخی از خاک آلوده استفاده کرده‌اند در حالی که برخی خاک را به‌طور مصنوعی یا دستی آلوده نموده‌اند.

فاکتور انتقال در تکنیک استخراج گیاهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که در این تکنیک هدف نهایی برداشت اندام هوایی گیاه می‌باشد. گونه‌ها و ارقام گیاهی مناسب جهت استفاده در تکنیک استخراج گیاهی بایستی دارای فاکتور انتقال بیش از ۱ باشند، به عبارت دیگر باید غلظت فلز سنگین در اندام هوایی گیاه بیش از غلظت آن فلز در ریشه‌ی گیاه باشد (۲۳). با استناد به موارد ذکر شده، هیچ یک از ارقام مورد مطالعه در این آزمون به‌طور معمول از قابلیت مناسبی جهت استخراج فلز سنگین سرب از خاک آلوده برخوردار نبوده‌اند، چرا که فاکتور انتقال هیچکدام از آن‌ها بیش از ۰/۳۳ نبوده‌اند. به عبارت دیگر، هیچ یک از ارقام در شرایط طبیعی نتوانسته‌اند به خوبی سرب جذب شده به وسیله‌ی ریشه‌های گیاه را به اندام‌های هوایی خود انتقال دهند.

سرب اندام هوایی و فاکتور انتقال آن، دارای بیشترین میزان جذب سرب از خاک آلوده نیز می‌باشد.



شکل ۶- اثر رقم بر عملکرد بیولوژیک

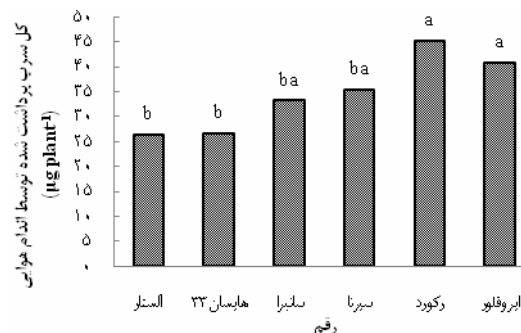
(میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

## نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه به خوبی نشان داد که ارقام آفتابگردان مورد بررسی نتوانستند به گونه‌ای مناسب سرب موجود در ریشه‌ها را به اندام هوایی خود منتقل نمایند، بنابراین هیچ یک از قابلیت مطلوبی جهت استخراج گیاهی سرب از خاک آلوده برخوردار نیستند. چرا که هیچکدام از آن‌ها دارای فاکتور انتقال بیش از یک، که ویژگی بسیار ضروری برای گیاهان بیش‌اندوز محسوب می‌شود، نبودند. با این وجود، دو رقم رکورد و ایروفولور به دلیل برخورداری از فاکتور انتقال بیشتر، توانستند مقادیر بالاتری از سرب را در اندام هوایی خود تجمع دهند و در نتیجه از کارایی بیشتری نسبت به سایر ارقام جهت استخراج گیاهی سرب برخوردار بودند. ارقام مورد مطالعه در این آزمایش، به دلیل بالا بودن غلظت سرب ریشه و در عین حال پایین بودن غلظت سرب اندام هوایی آن‌ها دارای مطلوبیت مناسبی جهت استفاده در تکنیک تثبیت گیاهی سرب و به تبع آن کاهش خطر ورود این عنصر سمی به زنجیره‌های غذایی می‌باشند.

و ۳- عدم برخورداری از توانایی انتقال مقادیر زیاد آلاینده‌های فلزی از ریشه به اندام هوایی گیاه (۱۰). نتایج مطالعات پیشین نیز حاکی از آن هستند که آفتابگردان به دلیل تثبیت آلاینده‌ها بر سطح و درون ریشه‌های خود گیاهی مناسب جهت استفاده در تکنیک تثبیت گیاهی می‌باشد (۷ و ۱۵).

ارقام مورد بررسی از لحاظ کل سرب برداشت شده توسط اندام هوایی دارای اختلاف معنی‌داری بودند (شکل ۵). رقم آلتار علی‌رغم آنکه از عملکرد بیولوژیک بالایی برخوردار بود، اما به دلیل پایین بودن غلظت سرب اندام هوایی و فاکتور انتقال آن، دارای کمترین میزان سرب برداشت شده می‌باشد. با این حال، میان این رقم و ارقام هایسان ۳۳، سانبرا و سیرنا از لحاظ کل سرب برداشت شده توسط اندام هوایی گیاه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. رقم رکورد به دلیل تولید بالاترین عملکرد بیولوژیک در میان ارقام مورد مطالعه و همچنین به دلیل بالاتر بودن غلظت سرب اندام هوایی و فاکتور انتقال آن نسبت به سایر ارقام، بیشترین میزان سرب را از خاک جذب نموده است. با این حال، میان این رقم و ارقام ایروفولور، سانبرا و سیرنا از لحاظ کل سرب برداشت توسط اندام هوایی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.



شکل ۵- اثر رقم بر کل سرب برداشت شده توسط اندام هوایی

(میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

ارقام مورد مطالعه در این آزمون از لحاظ عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۶)، با این وجود رقم رکورد بالاترین عملکرد بیولوژیک را تولید نموده و به دلیل بالا بودن غلظت

## منابع

- ۱- فتوحی کیاسری ا.، فتوحی ا.، آستارایی ع. و حق‌نیا غ. ۱۳۸۹. اثر اسید سولفوریک و EDTA بر گیاه‌پالایی سرب در خاک توسط سه گیاه آفتابگردان، ذرت و پنبه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵۱: ۶۸-۵۷.
- ۲- متشع زاده ب. و ثواقبی غ. ۱۳۹۰. بررسی پاسخ‌های آفتابگردان به سمیت کادمیوم و سرب با کاربرد باکتریهای محرک رشد گیاه در یک خاک آهکی. نشریه آب و خاک. ۲۵ (۵): ۱۰۷۹-۱۰۶۹.
- ۳- نجفی ن.، مردمی س. و اوستان ش. ۱۳۹۰. اثر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر غلظت فلزات سنگین در ریشه و بخش هوایی آفتابگردان

در یک خاک شن لومی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵۸: ۱۵۶-۱۳۹.

- 4- Alloway B.J. 1995. Soil Processes and the Behaviour of Heavy Metals. p. 11-37. In: B.J. Alloway (ed) Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, London.
- 5- Baker A.J.M., and Walker P.L. 1990. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants, heavy metal tolerance in plants. p. 155-177. In: A.J. Shaw (ed) Evolutionary Aspects. CRC Press, Boca Raton.
- 6- Boonyapookana B., Parkpian P., Techapinyawat S., Delaune R.D., and Jugsujinda A. 2005. Phytoaccumulation of lead by Sunflower (*Helianthus annuus*), Tobacco (*Nicotianatabacum*), and Vetiver (*Vetiveriazizanioides*). Journal of Environmental Science and Health, 40: 117-137.
- 7- Chany R.L., Malik M., Li Y.M., Brown S.L., Brewer E.P., Angle J.S., and Baker A.J.M. 1997. Phytoremediation of soil metals. Environmental Biotechnology, 8: 279-284.
- 8- Di Gregorio S., Barbafieri M., Lampis S., Sanangelantoni A.M., Tassi E., and Vallini G. 2006. Combined application of Triton X-100 and Sinorhizobium sp. P002 inoculum for the improvement of lead phytoextraction by *Brassicajunceae* in EDTA amended soil. Chemosphere, 63: 293-299.
- 9- Gawronski S.W. and Gawronska H. 2007. Plant taxonomy for phytoremediation. p. 79-88. In: N. Marmioli et al. (Eds), Advanced Science and Technology for Biological Decontamination of Sites Affected by Chemical and Radiological Nuclear Agents. Springer.
- 10- Ghosh M. and Singh S.P. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by-products. Applied Ecology and Environmental Research, 3: 1-18.
- 11- Hanlon E.A. 1997. Elemental Determination By Atomic Absorption Spectrophotometry. P. 285. In: Y.P. Kalra (ed), Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press.
- 12- Herrero E.M., Lopez-Gonzalvez A., Ruiz M.A., Lucas-Garcia J.A., and Barbas C. 2003. Uptake and distribution of zinc, cadmium, lead and copper in *Brassicainapus* var. oleifera and *Helianthusannuus* grown in contaminated soils. International Journal of Phytoremediation, 5: 153-167.
- 13- Jadia C.H. and Fulekar M.H. 2008. Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nikel and lead by sunflower Plant. Environmental Engineering and Management Journal, 7: 547-558.
- 14- Keller C., Hammer D., Kayser A., Richner W., Brodbeck M., and Sennhauser M. 2003. Root development and heavy metal phytoextraction efficiency: Comparison of different plant species in the field. Plant and Soil, 249: 67-81.
- 15- Lasat M.M. 2002. Phytoextraction of toxic metals – A review of biological mechanisms. Journal of Environmental Quality, 31: 109-120.
- 16- Lin C., Liu J., Liu L., Zhu T., Sheng L. and Wang D. 2009. Soil amendment application frequency contributes to phytoextraction of lead by sunflower at different nutrient levels. Environmental and Experimental Botany, 65: 410-416.
- 17- Liu J.G., Li K.Q., Xu J.K., Zhang Z.J., Ma T.B., Lu X.L., Yang J.H., and Zhu Q.S. 2003. Lead toxicity, uptake, and translocation in different rice cultivars. Plant Science, 165: 793-802.
- 18- Madejon P., Murillo J.M., Maranon T., Cabrera F., and Soriano M.A. 2003. Trace element and nutrient accumulation in sunflower plants two years after the Aznac´ollar mine spill. Science of Total Environment, 307: 239-257.
- 19- Majer B.J., Tscherko D., and Paschke A. 2002. Effects of heavy metal contamination of soils on micronucleus induction in Tradescantia and on microbial enzyme activities: a comparative investigation. Mutation Research, 515: 111-124.
- 20- Moteshare Zadeh B., Savaghebi-Firozabadi G.R., Alikhani H.A., and MirseyedHosseini H. 2008. Effect of sunflower and amaranthus culture and application of inoculants on phytoremediation of the soils contaminated with Cadmium. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 4: 93-103.
- 21- Nandakumar P.B.A., Dushenkov V., Motto H., and Raskin I. 1995. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. Environmental Science and Technology, 29: 1232-1238.
- 22- Nehnevajova E., Herzig R., Federer G., and Erismann K.H. 2005. Screening of sunflower cultivars for metal phytoextraction in a contaminated field prior to mutagenesis. International Journal of Phytoremediation, 7: 337-349.
- 23- Peer W., Baxter I., Richards E., Freeman J., and Murphy A. 2005. Phytoremediation and hyperaccumulator plants. 14: 299-340. In: M. Tamas, E. Martinoia, (eds), Topics in Current Genetics, Molecular Biology of Metal Homeostasis and Detoxification. Springer, Berlin.
- 24- Safari Sinegani A.A., and Khalilikah F. 2008. Phytoextraction of lead by *Helianthus annuus*: effect of mobilizing agent application time. Plant, Soil and Environment, 54: 434-440.
- 25- Tandy S., Schulin R., Nowack B. 2006. The influence of EDDS on the uptake of heavy metals in hydroponically grown sunflowers. Chemosphere, 62: 1454-1463.
- 26- Vassilev A., Schwitzguebel J.P., Thewys T., van der Lelie D., and Vangronsveld J. 2004. The use of plants for remediation of metal-contaminated soils. Scientific World Journal, 4: 9-34.
- 27- WHO. 1997. Health and environment in sustainable development. WHO. Geneva.

- 28- Ximenez-Embun P., Madrid-Albarran Y., Camara C., Cuadrado C., Burbano C., and Muzquiz M. 2001. Evaluation of *Lupinus* species to accumulate heavy metals from waste waters. International Journal of Phytoremediation, 3: 369-379.





## Evaluation the Efficiency of Six Sunflower Cultivars in Phytoextraction of Lead from a Pb-bearing Soil for Long Term

M.R. Naderi<sup>1</sup> - A. Danesh-Shahraki<sup>2\*</sup> - F. Raiesi<sup>3</sup>

Received:08-10-2013

Accepted:29-04-2014

### Abstract

The right selection of an appropriate cultivar, which can be adapted with a particular pollutant and environmental conditions, is a crucial factor for a successful phytoremediation technology. Sunflower might be a suitable plant to remove the toxic metals from soil of polluted sites due to its rapid growth and high biomass production. In order to evaluate the efficiency of six sunflower cultivars in lead (Pb) phytoextraction from a contaminated soil, an experiment was carried out using a completely randomized design with three replications in Research Station of Shahrekord University. Sunflower cultivars used in this experiment were Alestar, Serena, Sanburu, Hysun 33, Record and Euroflor. Results showed that there was a significant difference in shoot lead concentration, translocation factor and total lead harvested by shoot among sunflower cultivars at 1% probability level. Generally, due to translocation factor of all cultivars was less than 1, this can be stated that none of cultivars had the proper efficiency for extraction of lead from contaminated soil. However, high root lead concentration and low translocation factor of these cultivars show that efficiency of them for use in phytostabilization technique is more than phytoextraction technique.

**Keywords:** Heavy metals, Soil pollution, Phytoremediation, Translocation factor, Phytostabilization

---

1- PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

(\* - Corresponding Author Email: danesh-a@agr.sku.ac.ir)

3- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran