

ارزیابی توانایی دو گونه گیاه مرتعی در جذب و اندوزش سرب در یک خاک آهکی آلوده

ندا مرادی^{۱*} و میرحسن رسولی صدقیانی^۲

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۲ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۲/۱۵	گیاه پالایی راهکار مناسبی برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین است. هدف از این پژوهش بررسی توانایی گیاه پالایی سرب توسط افسنتین (<i>Artemisia absinthium</i> L.) و توق (<i>Xanthium strumarium</i> L.) در یک خاک آهکی آلوده بود. این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای بصورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی و در سه تکرار در گلخانه گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه انجام شد. بدین منظور یک نمونه خاک انتخاب و به-طور یکنواختی با غلظت‌های مختلف سرب (صفر، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) آلوده شد. سپس کشت گیاهان در خاک آلوده انجام شد (۲۴ گلدان). در پایان دوره رشد، وزن خشک ریشه و شاخساره، غلظت سرب در ریشه و شاخساره گیاهان و سرب زیست-فراهم خاک اندازه‌گیری شد. همچنین، شاخص‌های گیاه پالایی محاسبه شدند. نتایج نشان داد با افزایش آلودگی سرب در خاک، وزن خشک ریشه و شاخساره و تحمل گیاهان کاهش یافت، در حالی-که غلظت سرب ریشه و شاخساره، سرب تثبیت شده در ریشه و سرب استخراج شده توسط شاخساره گیاهان، افزایش یافت. بین شاخص تحمل دو گیاه تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0/05$) وجود نداشت. نتایج همچنین نشان داد اندوزش سرب در ریشه توق (میانگین mBAF و mBCF ریشه و mTF به ترتیب ۱/۶۵ درصد، ۵/۴۸ و ۰/۹۷) بیش‌تر از افسنتین بود. در حالی‌که اندوزش سرب در شاخساره افسنتین (میانگین mBAF، mBCF شاخساره و mTF به ترتیب ۲/۷۹ درصد، ۲/۸۶ و ۱/۸۴) بیش‌تر بود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد توق و افسنتین به-ترتیب در تثبیت گیاهی و استخراج گیاهی سرب در خاک‌های آلوده (بوژه در سطوح ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) موثر باشند.
کلمات کلیدی: آلودگی سرب، استخراج گیاهی، تثبیت گیاهی، زیست‌توده، فلزات سنگین	
* عهده دار مکاتبات Email: moradi@scu.ac.ir	

آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین و تهدید سلامت محیط زیست شده است (۲۷). سرب یکی از فراوان‌ترین و خطرناک‌ترین فلزات سنگین در خاک‌های آلوده است

مقدمه

در دهه‌های اخیر افزایش بی‌رویه فعالیت‌های بشری و گسترش فعالیت‌های صنعتی کشاورزی، سبب افزایش

(تثبیت آلاینده‌ها در ریشه گیاهان) از جمله‌ی رایج‌ترین آن‌ها می‌باشند (۲۸).

انتخاب گونه گیاهی مناسب در فرآیند گیاه‌پالایی بسیار حائز اهمیت است. استفاده از گیاهان بومی هر منطقه برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌تواند کارآیی گیاه‌پالایی را افزایش دهد، چرا که این گیاهان به شرایط اقلیمی و آلودگی منطقه سازگار بوده و نگهداری آن‌ها ساده‌تر است. افزون بر این، یکی از محدودیت‌های گیاه‌پالایی، زیست‌توده اندک بیشتر گیاهان بیش‌اندوز و همچنین سازگار نبودن آن‌ها با شرایط دیگر محیط‌های آلوده است (۲۱). بنابراین استفاده از گیاهان بومی هر منطقه با تولید زیست‌توده بالا و سازگار با شرایط هر منطقه می‌تواند کارآیی گیاه‌پالایی را به‌طور چشم‌گیری افزایش دهد (۳). به‌همین دلیل در سال‌های اخیر انجام مطالعات جهت ارزیابی تحمل گیاهان بومی و توانایی آن‌ها در گیاه‌پالایی فلزات سنگین، مورد توجه قرار گرفته است (۱۸). برای نمونه ساین و همکاران^۳ (۳۴) گونه‌های گیاهی فرفیون (*Euphorbia hirta*)، تاج‌خروس (*Amaranthus hybridus*)، تاج‌ریزی سیاه (*Solanum nigrum*) را گیاهان مناسبی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین گزارش کردند. همچنین ساقی و همکاران (۲۹) گزارش کردند که گیاهان شلمی (*Rapistrum rugosum* L.) و خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) توانایی بالایی در تثبیت گیاهی سرب دارند. مهدویان و همکاران^۴ (۲۳) نیز گیاهان بوماداران (*Achillea wilhelmsii* L.)، سوزنک (*Erodium cicutarium* L.) و نعناع وحشی (*Mentha longifolia* L.) را به‌عنوان گیاهانی مناسب برای تثبیت گیاهی سرب در خاک‌های آلوده، شناسایی کردند. کریمی و همکاران^۵ (۲۰۱۷) با بررسی توانایی سه گونه گیاه مرتعی در گیاه‌پالایی سرب

(۲۰). آلودگی سربی، زیست‌بوم خاک، کیفیت و سلامت محصولات کشاورزی و دامی و کیفیت آب‌ها را به‌شدت تحت تاثیر قرار داده و تهدیدی جدی برای سلامت انسان می‌باشد (۱ و ۴). سرب حتی در غلظت‌های کم بسیار سمی بوده و پس از ورود به زنجیره غذایی انسان و انتقال در خون سبب آسیب اندام‌های مختلف بدن از جمله کلیه، کبد، مغز و سیستم‌های عصبی می‌شود (۱۰). حد مجاز سرب در خاک در کشورهای مختلف ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۲۵). اگر چه اطلاعات کاملی در مورد وسعت اراضی آلوده به سرب در خاک‌های ایران در دسترس نیست و مطالعات انجام شده در نقاط مختلف کشور به‌صورت پراکنده انجام شده است. با این حال غلظت سرب در برخی خاک‌های ایران بسیار بیش‌تر از حد مجاز گزارش شده است (۲۳). بررسی آلودگی سرب در برخی خاک‌های کشاورزی اطراف مناطق صنعتی ایران نشان داده که خاک بسیاری از مزارع به سرب آلوده شدند (۲۳). بنابراین با توجه به پیامدهای خطرناک آلودگی سربی خاک، جهت جلوگیری از تهدید زیست‌بوم خاک، پالایش خاک‌های آلوده به سرب بسیار ضروری می‌باشد (۱۰).

تاکنون روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای پالایش خاک‌های آلوده ارائه شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۳). از میان روش‌های استفاده شده گیاه‌پالایی به‌عنوان روشی اقتصادی، پایدار و دوستدار محیط‌زیست شناخته شده است (۲ و ۲۷). گیاه‌پالایی روشی است که در آن از گیاهان برای پالایش فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها از خاک استفاده می‌شود (۳). گیاه‌پالایی افزون بر کم‌هزینه بودن، سبب حفظ کیفیت شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک می‌شود (۳ و ۹). گیاه‌پالایی روش‌های گوناگونی دارد که استخراج گیاهی^۱ (جذب و پالایش آلاینده‌های خاک در شاخساره گیاهان) و تثبیت گیاهی^۲

3- Singh et al.

4- Mahdavian et al.

5- Karimi et al.

1- Phytoextraction

2- Phytostabilization

خاک‌های آهکی، ماده آلی کم، غیر شور و با توجه به حدود مجاز گزارش شده در منابع (۶)، غلظت اولیه سرب در محدوده حد مجاز آن در خاک بود (جدول ۱). بخش دوم نمونه‌های خاک به گلخانه پژوهشی گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، انتقال داده شد و پس از عبور از الک پنج میلی‌متری با غلظت‌های مختلف سرب آلوده شد. برای آلوده کردن خاک، از نیترات سرب $Pb(NO_3)_2$ استفاده شد (۱۹). نیتروژن افزوده شده به خاک توسط نمک نیترات سرب، با افزودن مقادیر محاسبه شده اوره به تیمارهای مختلف تصحیح شد. بر پایه مطالعات پیشین (۱۹ و ۲۰)، خاک آلوده شده به مدت ۵ ماه در معرض تناوب‌های تر و خشک شدن قرار گرفت که تا حد امکان برهم کنش‌های آلاینده و خاک تکوین یافته و توزیع سرب در خاک به شرایط آلودگی درازمدت و طبیعی نزدیک‌تر شود (۱۷ و ۲۰). همچنین خاک ۱۸ ماه دیگر در شرایط آنکوباسیون قرار داده شد.

این پژوهش در شرایط گلخانه بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور غلظت سرب (۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نوع گونه گیاه مرتعی (افستین و توق) در سه تکرار انجام شد. خاک آلوده شده در گلدان‌های آماده شده ریخته شد. پس از رساندن رطوبت گلدان‌ها به ظرفیت مزرعه، در هر گلدان ۸ بذر از گیاهان با فواصل منظم در گلدان‌های مورد نظر کشت گردید. پس از جوانه زنی بذرها ۲ بوته سالم و قوی‌تر در هر گلدان نگه‌داری شدند. در طول دوره رشد رطوبت گلدان‌ها به روش وزنی در حد ظرفیت مزرعه حفظ شد. گلدان‌ها در طول دوره رشد (فصل بهار و تابستان) در گلخانه پژوهشی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه با دوره نوری میانگین ۱۵ ساعت روشنایی و ۹ ساعت تاریکی و در درجه حرارت 25 ± 5 درجه سلسیوس نگه‌داری شدند. در پایان ماه پنجم ارتفاع گیاهان اندازه‌گیری شد. سپس شاخص‌های گیاهان از رویه‌ی خاک بریده شدند. ریشه

گزارش کردند گیاهان خارپنبه (*Onopordum acanthium* L.) و گل‌گندم (*Centaurea cyanus* L.) می‌توانند در گیاه‌پالایی سرب در سطوح ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم در خاک موثر باشند.

در ایران، حدود ۸۰۰۰ گونه گیاهی وجود دارند که حدود ۱۷۲۷ گونه آن بومی هستند (۱۱). با این که تحمل برخی گونه‌های گیاهی در خاک‌های آلوده به سرب و توانایی آن‌ها در گیاه‌پالایی سرب در خاک‌های آهکی ایران ارزیابی شده است (۱۵، ۲۰، ۲۹ و ۳۶)، توانایی بسیاری از گونه‌های گیاهی بومی ایران در تحمل سرب و گیاه‌پالایی آن در خاک‌های آهکی ایران بررسی نشده است. گیاهان افستین (*Artemisia absinthium* L.) و توق (*Xanthium strumarium* L.) از گونه‌های بومی استان آذربایجان غربی هستند که در بسیاری از مراتع و اطراف جاده‌ها وجود دارند. این گیاهان رشد سریعی داشته و در شرایط طبیعی زیست‌توده بالایی تولید می‌کنند. این گیاهان همچنین نسبت به خشکی و کمبود آب مقاوم هستند. بنابراین این گیاهان برای این پژوهش انتخاب شدند. بر همین اساس هدف از این پژوهش بررسی توانایی افستین (*Artemisia absinthium* L.) و توق (*Xanthium strumarium* L.) در گیاه‌پالایی سرب در یک خاک آهکی آلوده بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش از یک نمونه خاک بارده-بندی Fine, mixed, mesic Typic Halaquepts واقع در استان آذربایجان غربی نمونه‌برداری شد. این خاک پس از هوا-خشک شدن به دو بخش تقسیم گردید. یک بخش برای انجام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک و غلظت اولیه عناصر در خاک به روش‌های استاندارد (۷) اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. بر اساس نتایج بدست آمده خاک مورد مطالعه دارای بافتی متوسط، pH آن در محدوده‌ی

جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table (2) Some physico-chemical properties of the soil used for this study

مقدار Value	واحد Unit	ویژگی Property
323	g kg ⁻¹	شن Sand
403	g kg ⁻¹	سیلت Silt
274	g kg ⁻¹	رس Clay
26.9	g kg ⁻¹	مواد آلی Organic matter
22.1	cmol _c kg ⁻¹	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation exchange capacity (CEC)
2.5	dS m ⁻¹	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (EC _e)
30.5	%	کربنات کلسیم معادل Calcium Carbonate Equivalent (CCE)
8.1		پ‌هاش pH
21.4	mg kg ⁻¹	غلظت کل سرب Total Pb concentration

همین اساس شاخص تحمل برای ریشه و شاخساره گیاهان از نسبت وزن خشک گیاه در هر تیمار به وزن خشک گیاه در شرایط بدون آلودگی سرب (سطح صفر سرب یا تیمار شاهد) محاسبه شد (۳). همچنین مقدار سرب جذب شده در گیاهان محاسبه شد. بدین ترتیب که در هر تیمار مقدار سرب استخراج شده توسط شاخساره گیاهان و سرب تثبیت شده در ریشه، با استفاده از حاصلضرب غلظت سرب در ریشه یا شاخساره در وزن خشک ریشه یا شاخساره تعیین شد (۱۷ و ۱۸). همچنین برای ارزیابی توانایی گیاهان در پالایش آلودگی سرب از خاک، فاکتور اصلاح شده اندوزش زیستی (mBAF)^۲ ریشه و شاخساره گیاهان در هر تیمار از نسبت مقدار سرب استخراج شده در ریشه یا شاخساره به مقدار سرب زیست‌فراهم خاک در گلدان (mg pot⁻¹) محاسبه شد (۳). برای ارزیابی توانایی گیاهان در تغلیظ و تجمع سرب در ریشه و شاخساره، فاکتور اصلاح شده تغلیظ زیستی

گیاهان نیز به آرامی از خاک گلدان‌ها جدا شد. نمونه‌ها به گیاهی پس از شستشو با آب مقطر و خشک کردن، به درون پاکت‌های کاغذی منتقل و به مدت ۷۲ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از خشک شدن و توزین وزن خشک، با استفاده از آسیاب برقی با محافظه تمام استیل آسیاب شدند. برای عصاره‌گیری غلظت سرب کل ریشه و شاخساره گیاهان از روش اکسیداسیون تر استفاده شد (۸). همچنین پس از برداشت گیاهان، سرب زیست‌فراهم خاک، به روش عصاره‌گیری با نترات آمونیوم ۱ نرمال اندازه‌گیری شد، که این روش مقدار عمده فلز زیست‌فراهم خاک را عصاره‌گیری می‌کند (۲۲). غلظت سرب در عصاره‌های خاک و گیاهان، با دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری (Shimadzu 6300 AA) قرائت شد. شاخص تحمل (TI)^۱ شاخص مناسبی برای ارزیابی حساسیت گیاهان به آلودگی فلزات سنگین است. بر

2- Modified Bioaccumulation Factor

1- Tolerance Index

شاخساره در اثر افزایش آلودگی سرب در خاک بیش تر از وزن خشک ریشه بود (شکل ۱). همچنین نتایج نشان داد وزن خشک ریشه و شاخساره افسنتین در تمامی سطوح سرب در خاک، بیش تر از توق بود (شکل ۱). اما تفاوت میان شاخص تحمل دو گیاه در سطوح مختلف سرب معنی دار ($P > 0.05$) نبود (شکل ۲). با توجه به این نتایج، تفاوت معنی داری ($P \leq 0.05$) میان تحمل گیاهان در سطوح مختلف سرب در خاک، مشاهده نشد و میزان حساسیت گیاهان به تنش آلودگی سربی تقریباً مشابه بود (شکل ۲). کاهش وزن خشک ریشه و شاخساره گیاهان در سطوح بالای سرب در خاک به دلیل اختلال در تنفس سلولی، فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های گیاه در اثر سمیت سرب گزارش شده است (۱۳). همچنین، سرب در همچنین سرب در گیاهان با تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن و ایجاد تنش اکسیداتیو، در تعادل تغذیه‌ای و آبی بافت‌ها اختلال ایجاد می‌کند و عملکرد گیاه را به-طور چشم‌گیری می‌کاهد (۳۳). نتایج بسیاری از پژوهشگران با یافته‌های این پژوهش مشابه بود (۳، ۱۵، ۲۰ و ۳۷). برای نمونه، خداوردیلو و حمزه‌نژاد (۲۰) گزارش کردند سرب از تقسیم سلول‌های مریستمی و رشد سلول‌های ریشه جلوگیری کرده و عملکرد ریشه - گیاهان را می‌کاهد. نتایج پژوهش آن‌ها همچنین نشان داد که سرب قابلیت ارتجاع دیواره سلولی ریشه را کاسته و موجب کاهش رشد ریشه گیاهان می‌شود. کریمی و همکاران (۱۷) نیز گزارش کردند سمیت سرب در گیاهان سبب کاهش رشد ریشه و شاخساره گیاه مرتعی گل‌گندم شد.

(mBCF)^۱ سرب در ریشه و شاخساره گیاهان از نسبت غلظت سرب در ریشه یا شاخساره گیاه (mg kg^{-1}) به غلظت سرب زیست‌فراهم در خاک (mg kg^{-1}) محاسبه شد (۳). این شاخص، ظرفیت و توانایی گیاه در جذب و انتقال فلزات سنگین را به‌صورت واقعی تر نشان می‌دهد. همچنین برای ارزیابی توانایی گیاه در انتقال سرب از ریشه به شاخساره گیاه، فاکتور اصلاح شده انتقال گیاهی (mTF) برای هر تیمار، از نسبت مقدار سرب در شاخساره (mg kg^{-1}) به مقدار سرب در ریشه گیاه (mg kg^{-1}) تعیین شد (۱ و ۳).

در این تحقیق برای حفاظت از محیط‌زیست به دلیل آلوده نشدن با خاک آلوده شده، بعد از پایان تحقیق خاک آلوده جهت انجام مطالعات بعدی در انبار نمونه-های خاک گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه نگهداری می‌شوند.

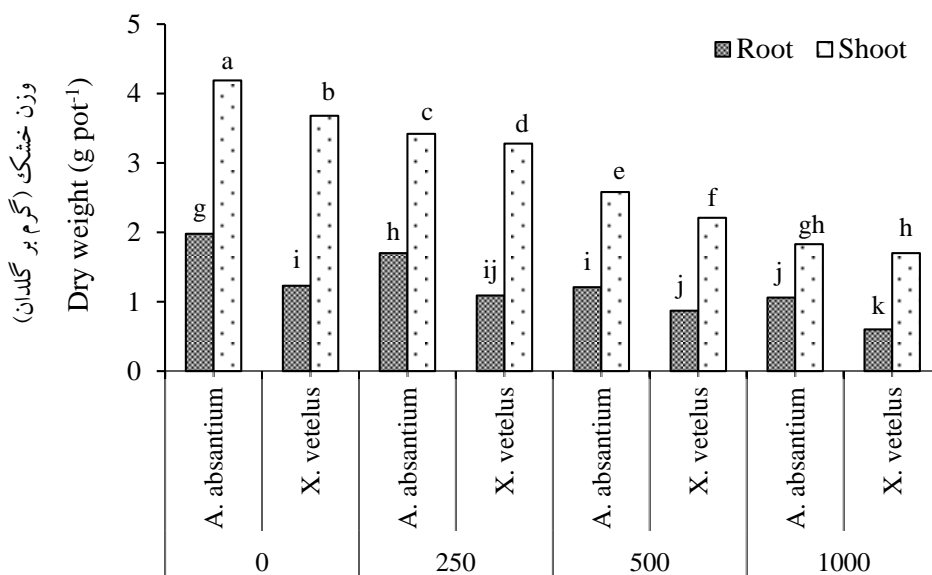
تجزیه و تحلیل آماری داده‌های با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تحمل گیاهان به تنش آلودگی سرب در خاک

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی و نوع گیاه مرتعی و غلظت سرب و همچنین اثرات متقابل متقابل بر وزن خشک ریشه و شاخساره گیاه، سرب زیست‌فراهم خاک و شاخص‌های گیاه‌پالایی محاسبه شده معنی‌دار بود (جدول آورده نشده است). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش غلظت سرب در خاک وزن خشک و شاخص تحمل ریشه و شاخساره هر دو گیاه به‌طور معنی-داری ($P \leq 0.05$) کاهش یافت (شکل ۱ و ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک گیاهان به‌ترتیب در سطوح Pb_0 و Pb_{1000} مشاهده شد. در هر دو گیاه کاهش وزن خشک

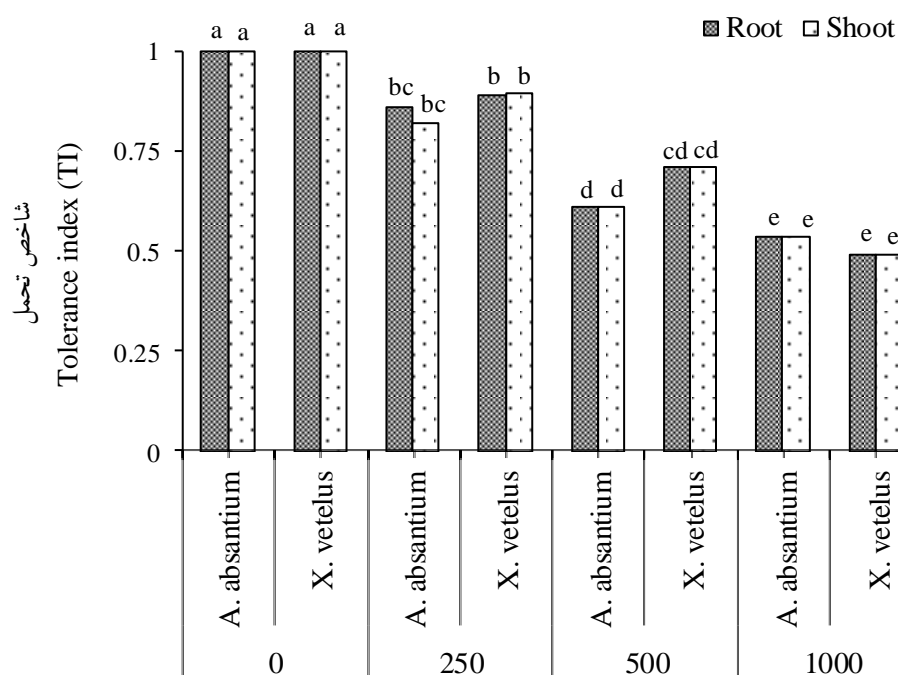
مرادی و رسولی صدقیانی: ارزیابی توانایی دو گونه گیاه...



شکل (۱) مقایسه میانگین وزن ماده خشک ریشه و شاخساره گیاهان در سطوح مختلف سرب در خاک
 Figure (1) Mean comparison of the dry weight of root and shoot at different levels of lead in the soil

حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری (P ≤ 0.05) ندارند.

The same letters show no significant difference in treatments (P < 0.05).



شکل (۲) مقایسه میانگین شاخص تحمل ریشه و شاخساره گیاهان در سطوح مختلف سرب در خاک
 Figure (2) Mean comparison of the tolerance index of root and shoot at different levels of lead in the soil

حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری (P ≤ 0.05) ندارند.

The same letters show no significant difference in treatments (P < 0.05).

سرب زیست‌فراهم خاک

با افزایش غلظت سرب در خاک، غلظت سرب زیست‌فراهم خاک ریزوسفری هم‌ی گیاهان به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) افزایش یافت (شکل ۳). غلظت سرب زیست‌فراهم در خاک تحت کشت دو گیاه روند منظمی را نشان نداد. بدین ترتیب اگر چه اختلاف غلظت سرب زیست‌فراهم در خاک تحت کشت دو گیاه در سطح صفر سرب در خاک، معنی‌دار ($P \leq 0/05$) نبود، اما در سطوح Pb_{250} و Pb_{500} در خاک تحت کشت توق بیش‌تر از خاک تحت کشت افسنتین بود. در حالی‌که این مقدار در تیمار Pb_{1000} در خاک تحت کشت افسنتین به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) بیش‌تر خاک تحت کشت توق بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که بخش سرب زیست‌فراهم خاک در مقایسه با غلظت کل آن، بسیار کم بود. غلظت کم سرب زیست‌فراهم در خاک مورد مطالعه احتمالاً به دلیل آهکی بودن و pH بالای خاک مورد مطالعه ($8/1$) بود (جدول ۱). در خاک‌های آهکی سرب زیست‌فراهمی اندکی داشته و برای گیاهان فراهم نمی‌باشد (۲۱ و ۲۴). سرب به‌طور معمول در خاک و به‌ویژه خاک‌های آهکی حلالیت اندکی دارد و حلالیت آن با افزایش pH خاک کاهش می‌یابد. جذب سرب توسط خاک‌های آهکی بسیار شدید می‌باشد، زیرا در خاک‌های آهکی کانی‌های کربناتی می‌توانند با سرب، کمپلکس‌های درون‌کره‌ای تشکیل دهند و آن‌را نامتحرک سازند (۵). نتایج پژوهش سیپوس و همکاران^۱ (۳۵) نیز نشان داد فرآیند رسوب به‌شکل کربنات سرب عامل اصلی زیست‌فراهمی کم سرب در خاک‌های آهکی می‌باشد. آن‌ها گزارش کردند حضور کربنات‌ها در خاک‌های آهکی، مکان‌های اختصاصی جدیدی را برای جذب سرب به‌وجود می‌آورد و بدین ترتیب رسوب سرب در خاک را افزایش می‌دهد.

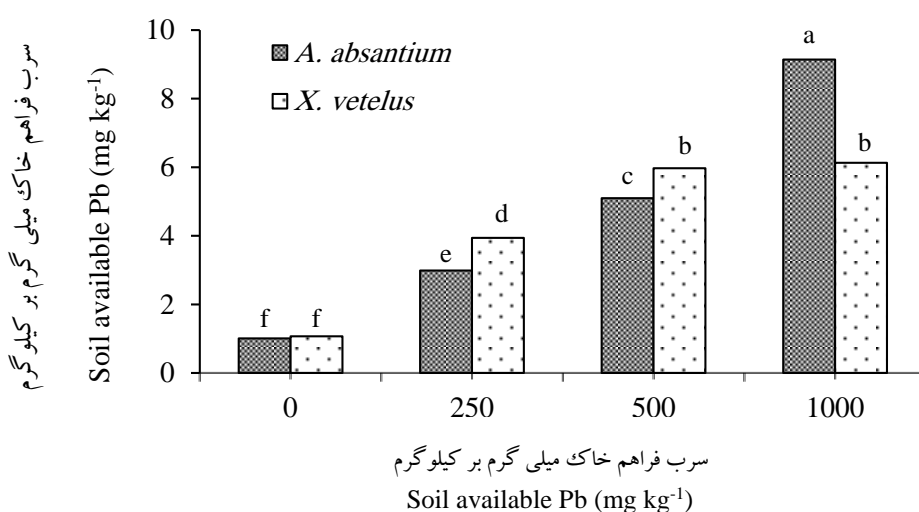
غلظت و اندوزش سرب در ریشه و شاخساره گیاهان

با افزایش غلظت سرب در خاک، غلظت سرب در ریشه و شاخساره گیاهان به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) افزایش یافت (جدول ۲). غلظت سرب در تمامی سطوح سرب در خاک در شاخساره توق به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) بیش‌تر از افسنتین بود. در حالی‌که غلظت سرب در ریشه افسنتین بیش‌تر از توق بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به مقدار سرب تثبیت شده در ریشه گیاهان نشان داد با افزایش غلظت سرب در خاک این مقدار در گیاه افسنتین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). در حالی‌که در گیاه توق ابتدا در سطح Pb_{250} افزایش یافت، سپس با افزایش غلظت سرب در سطوح Pb_{500} و Pb_{1000} تغییر معنی‌داری نکرد. با وجود این‌که در تمامی سطوح سرب در خاک غلظت سرب در ریشه توق بسیار بیش‌تر از افسنتین بود، اما تنها در تیمارهای Pb_{250} و Pb_{500} مقدار سرب تثبیت شده در ریشه توق بیش‌تر از افسنتین بود. همچنین در تیمارهای Pb_0 و Pb_{1000} مقدار سرب تثبیت شده در ریشه افسنتین به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از توق بود. به‌طور میانگین (میانگین تمامی سطوح سرب در خاک) تفاوت معنی‌داری میان مقدار سرب تثبیت شده در ریشه دو گیاه وجود نداشت (جدول ۲).

با افزایش آلودگی سرب در خاک از Pb_0 تا Pb_{500} ، مقدار سرب استخراج شده توسط شاخساره هر دو گیاه به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) افزایش یافت (جدول ۳). در حالی‌که با افزایش آلودگی سرب در خاک از Pb_{500} به Pb_{1000} در خاک، تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج همچنین نشان داد در تمام غلظت‌های سرب در خاک مقدار سرب استخراج شده توسط شاخساره افسنتین به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از توق بود (جدول ۳). به‌طور میانگین مقدار سرب اندوزش یافته در شاخساره افسنتین بیش از ۴۸ درصد بیش‌تر از توق بود (جدول ۳). این نتایج نشان داد افسنتین نسبت به توق توانایی بالاتری در

و استخراج شده توسط شاخساره) افزایش یافت (شکل ۴). در گیاه توتوق هم این روند افزایش تا سطح Pb_{250} مشاهده شد. اما پس از آن با تغییر سطح سرب خاک از Pb_{500} به Pb_{1000} این مقدار تغییر معنی داری نکرد. همچنین مقایسه مقدار کل سرب اندوزش یافته در دو گیاه نشان داد بجز در سطح Pb_{500} ، این مقدار در گیاه افسستین بیش تر از توتوق بود (شکل ۴).

استخراج سرب در شاخساره داشت. همچنین نتایج نشان داد با این که غلظت سرب در ریشه هر دو گیاه به طور معنی داری بیش تر از شاخساره آنها بود، اما به دلیل وزن خشک بیش تر شاخساره آنها مقدار سرب استخراج شده در شاخساره هر دو گیاه بیش تر از ریشه آنها بود (جدول ۲ و ۳). نتایج همچنین نشان داد با افزایش آلودگی سرب در خاک مقدار کل سرب اندوزش یافته در گیاه افسستین (مجموع مقدار سرب تیت شده در ریشه



شکل (۳) مقایسه میانگین غلظت سرب فراهم در حاد تحت دست دیهان، در سطوح مختلف سرب در خاک
Figure(3) Mean comparison of the soil available lead at different levels of lead in the soil.

حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

The same letters show no significant difference in treatments ($P < 0.05$).

جدول (۲) مقایسه میانگین غلظت سرب در ریشه و شاخساره گیاهان، در سطوح مختلف سرب در خاک
Table (2) Mean comparison of the lead concentration in the root and shoot of plants at different levels of lead in the soil

سرب کل اضافه شده به خاک (میلی گرم بر کیلوگرم) Total Pb added to soil (mg kg ⁻¹)	غلظت سرب ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم) Root Pb concentration (mg kg ⁻¹)		غلظت سرب شاخساره (میلی گرم بر کیلوگرم) Shoot Pb concentration (mg kg ⁻¹)	
	<i>A. absantium</i>	<i>X. vetelus</i>	<i>A. absantium</i>	<i>X. vetelus</i>
0	2.41 ^g	3.40 ^f	2.45 ^g	0.58 ^g
250	8.62 ^e	25.85 ^c	7.81 ^e	6.92 ^f
500	19.07 ^d	31.09 ^b	18.35 ^c	14.85 ^d
1000	33.28 ^b	42.70 ^a	25.47 ^a	20.36 ^b
میانگین (Average)	15.85	25.76	13.52	10.7

حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

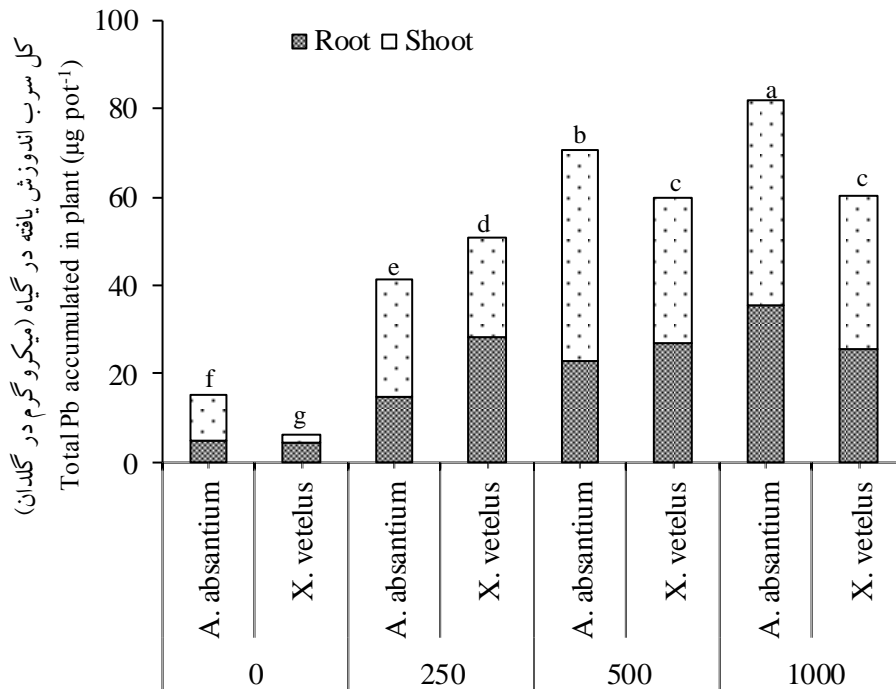
The same letters show no significant differences among treatments ($P < 0.05$).

جدول (۳) مقایسه میانگین مقدار سرب جذب شده در ریشه و شاخساره گیاهان، در سطوح مختلف سرب در خاک
 Table(3) Mean comparison of the root Pb stabilization and the shoot Pb extraction of plants at different levels of lead in soil.

سرب کل اضافه شده به خاک (میلی گرم بر کیلوگرم) Total Pb added to soil (mg kg ⁻¹)	سرب جذب شده در ریشه (میکروگرم در گلدان) Root Pb stabilization (μg pot ⁻¹)		سرب جذب شده در شاخساره (میکروگرم در گلدان) Shoot Pb extraction (μg pot ⁻¹)	
	<i>A. absantium</i>	<i>X. vetelus</i>	<i>A. absantium</i>	<i>X. vetelus</i>
0	4.77 ^f	4.18 ^g	10.27 ^e	2.13 ^f
250	14.65 ^e	28.18 ^{bc}	26.7 ^c	22.70 ^d
500	23.07 ^d	27.05 ^{bc}	47.34 ^a	32.82 ^b
1000	35.28 ^a	25.62 ^c	46.61 ^a	34.61 ^b
میانگین (Average)	19.44	21.26	32.73	23.07

حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری (P≤۰/۰۵) ندارند.

The same letters show no significant difference in treatments (P< 0.05)

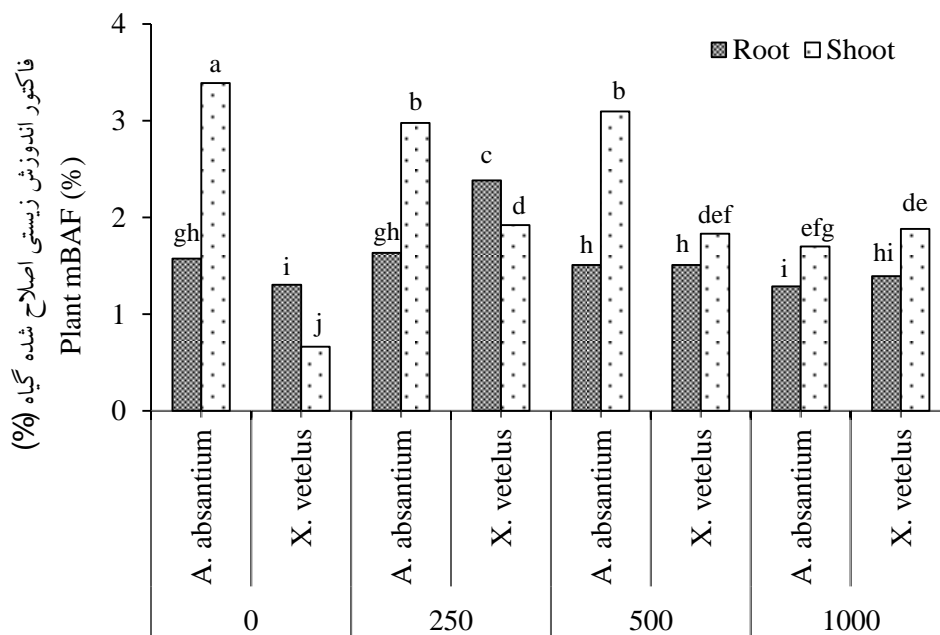


شکل (۴) مقدار کل سرب اندوزش یافته در گیاهان (ریشه و شاخساره)، در سطوح مختلف سرب در خاک

Figure(4) The amount of total Pb accumulated in plants (root and shoot) at different levels of lead in the soil.

(ندارند.حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری (P≤۰/۰۵)

The same letters show no significant difference in treatments (P< 0.05).



شکل (۵) مقدار mBAF در گیاهان (ریشه و شاخساره)، در سطوح مختلف سرب در خاک

Figure (5) The amount of mBAF in plants (root and shoot) at different levels of lead in the soil

حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

The same letters show no significant difference in treatments ($P < 0.05$).

که گیاهان در Pb_{250} ، نسبت به مقدار سرب زیست‌فراهم خاک، بیش‌ترین توانایی اندوزش سرب در شاخساره را داشتند (شکل ۲). به‌طور کلی نتایج نشان داد درصد mBAF ریشه و شاخساره هر دو گیاه بجز برای ریشه توف در سطح Pb_0 در همه سطوح سرب در خاک بیش‌تر از یک بود.

تغلیظ زیستی سرب در ریشه و شاخساره گیاهان

شکل ۶ مقایسه میانگین شاخص mBCF ریشه و شاخساره گیاهان را نشان می‌دهد. در تمامی سطوح سرب در خاک BCF شاخساره افسنتین بیش‌تر از توف بود (شکل ۶). در حالی که mBCF ریشه توف بیش‌تر از افسنتین بود. همانند mBAF در همه سطوح سرب در خاک درصد mBCF ریشه و شاخساره هر دو گیاه بجز برای ریشه توف در سطح Pb_0 ، بیش‌تر از یک بود. مقادیر mBCF نشان داد هر دو گیاه نسبت به مقدار سرب زیست‌فراهم خاک، توانایی بالایی در تغلیظ سرب در شاخساره داشتند. نتایج مربوط به شاخص‌های mBAF و

فاکتور اندوزش زیستی (mBAF) شاخص مناسبی برای ارزیابی توانایی گیاهان در جذب و اندوزش فلزات سنگین نسبت به مقدار سرب زیست‌فراهم خاک، در سطوح مختلف آلودگی می‌باشد (Barbosa et al., 2015). با افزایش غلظت سرب در خاک mBAF ریشه گیاهان، ابتدا در Pb_{250} ، به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) افزایش یافت، سپس در سطوح بالاتر سرب در خاک (Pb_{500} و Pb_{1000}) mBAF ریشه تغییر معنی‌داری نکرد (شکل ۲). با افزایش غلظت سرب در خاک mBAF ریشه گیاهان، ابتدا در Pb_{250} به‌طور معنی‌داری کاهش یافت اما پس از آن با افزایش سطح سرب خاک از Pb_{250} به Pb_{500} در گیاه توف تغییر معنی‌داری نکرد، اما در افسنتین به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳). همچنین این مقدار برای ریشه گیاه افسنتین در سطح Pb_{1000} کاهش یافت به‌طور کلی درصد mBAF شاخساره افسنتین در تمامی سطوح سرب در خاک بجز Pb_{250} بیش‌تر از توف بود. نتایج درصد mBAF نشان داد

دلیل محدودیت رشد ریشه و شرایط فیزیولوژیکی نتوانستند مشابه با شرایط طبیعی زیست توده تولید کنند. این پژوهش در شرایط کشت گلدانی (گلدان‌های ۳ کیلوگرمی) و در این شرایط گیاهان احتمالاً به دلیل محدودیت رشد ریشه و شرایط فیزیولوژیکی نتوانستند مشابه با شرایط طبیعی زیست توده تولید کنند. حتی در شرایط بدون آلودگی سرب (غلظت صفر سرب در خاک یا تیمار شاهد) گیاهان در مقایسه با شرایط طبیعی رشد بسیار کمی داشتند. بنابراین می‌توان گفت رشد کم این گیاهان به دلیل آلودگی سرب نبوده است. رشد گیاهان افسنتین و توف در شرایط طبیعی نشان داده که این گیاهان می‌توانند زیست توده بالایی تولید کنند که این زیست توده بالا می‌تواند تا حدود زیادی غلظت‌های پایین جذب سرب را جبران نماید. بنابراین این احتمال می‌رود که این گیاهان در شرایط طبیعی بتوانند در پالایش سرب از خاک موثر باشند.

انتقال گیاهی

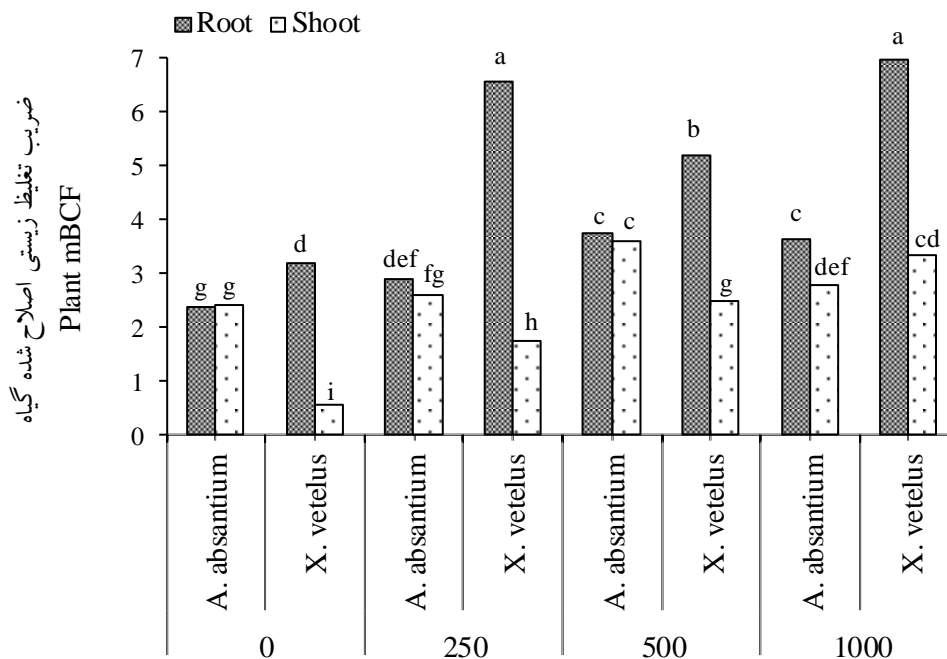
با افزایش غلظت سرب در خاک مقادیر فاکتور اصلاح شده انتقال گیاهی افزایش معنی‌داری پیدا کرد (شکل ۷). در حالی که در افسنتین مقدار mTF ابتدا (در Pb_{250} نسبت به Pb_0) کاهش یافت و پس از آن (از Pb_{250} به Pb_{500}) تغییر معنی‌داری نکرد. اما در در Pb_{1000} این مقدار کاهش معنی‌داری پیدا کرد. در تمامی سطوح سرب در خاک بجز Pb_{500} مقدار این شاخص در افسنتین بیش‌تر از توف بود. در صورتی که در این سطح سرب در خاک اختلاف معنی‌داری میان مقدار mTF دو گیاه وجود نداشت. نتایج همچنین نشان داد در تمامی سطوح سرب در خاک مقدار mTF برای افسنتین بیش‌تر از یک بود. اما در گیاه توف در سطوح بالای سرب در خاک این مقدار بیش‌تر از یک بود در حالی که در سطوح پایین‌تر سرب در خاک این مقدار کم‌تر از یک بود (شکل ۷). نتایج این پژوهش نشان دهنده توانایی بالای گیاه افسنتین در انتقال سرب از ریشه به شاخساره بویژه در سطوح Pb_{250} و Pb_{500} بود. همچنین این نتایج و نتایج

mBCF مشخص نمود که جذب و تغلیظ کم سرب در این گیاهان به دلیل ناتوانی این گیاهان در جذب سرب نبوده، بلکه به دلیل زیست فراهمی اندک سرب در خاک مورد مطالعه بود (شکل ۳)، چرا که نسبت به مقدار سرب زیست فراهم خاک بیش‌تر از ۱ درصد را جذب کردند (۱۷). آستانه غلظت برای گیاهان بیش‌اندوز سرب، ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۳۸). همچنین مقادیر mBCF و TI بیش‌تر از یک از جمله دیگر شرایط گیاهان بیش‌اندوز سرب است (۳). نتایج این پژوهش نشان داد گیاهان مطالعه شده بیش‌اندوز نبودند، چرا که افزون بر این که غلظت سرب در آن‌ها کم‌تر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۲)، بلکه شاخص تحمل آن‌ها نیز کم‌تر از ۱ بود (شکل ۲). با این حال توانایی گیاهان در گیاه‌پالایی نه تنها به اندوزش فلز و غلظت فلز در گیاه بلکه به ویژگی‌های دیگری از جمله رشد و زیست توده گیاه بستگی دارد (۳۹). نتایج مطالعات نشان داده که گیاهان بیش‌اندوز با وجود این که می‌توانند مقدار زیادی از اندوزش و فلزات سنگین را در اندام‌های خود تغلیظ نمایند اما اغلب زیست توده اندکی تولید می‌کنند و در پالایش خاک‌های آلوده کارآیی چندانی ندارند (۳۰ و ۳۹). همچنین بررسی‌ها نشان داده برخی از گیاهان با وجود اندوزش کم‌تر فلزات نسبت به گیاهان بیش‌اندوز، به دلیل تولید زیست توده بالا در شرایط مزرعه‌ای، توانایی پالایش فلزات سنگین را داشتند (۳۱ و ۳۹). نتایج این پژوهش نیز نشان داد با وجود غلظت کم‌تر سرب در شاخساره گیاهان نسبت به ریشه آن‌ها، اما به دلیل وزن خشک بیش‌تر شاخساره این گیاهان نسبت به ریشه، مقدار سرب استخراج شده توسط شاخساره گیاهان در سطوح بیش‌تر از سرب تثبیت شده در ریشه آن‌ها باشد (جدول ۳). افزون بر زیست فراهمی اندک سرب در خاک مورد مطالعه، یکی دیگر از دلایل جذب و تغلیظ کم سرب در گیاهان در این پژوهش، این بود که این پژوهش در شرایط کشت گلدانی (گلدان‌های ۳ کیلوگرمی) انجام شد و در این شرایط گیاهان احتمالاً به

مرادی و رسولی صدقیانی: ارزیابی توانایی دو گونه گیاه...

دارد. همچنین گیاه افسنتین با دارا بودن مقادیر mBCF (شکل ۶)، mBAF و mTF بیش تر از یک می تواند در استخراج گیاهی سرب موثر باشد.

مربوط به شاخص mBCF (شکل ۶) و mBAF نشان دهنده این است که گیاه توت بویژه در سطح Pb₂₅₀ و در تثبیت گیاهی سرب در ریشه، کارآیی بالایی



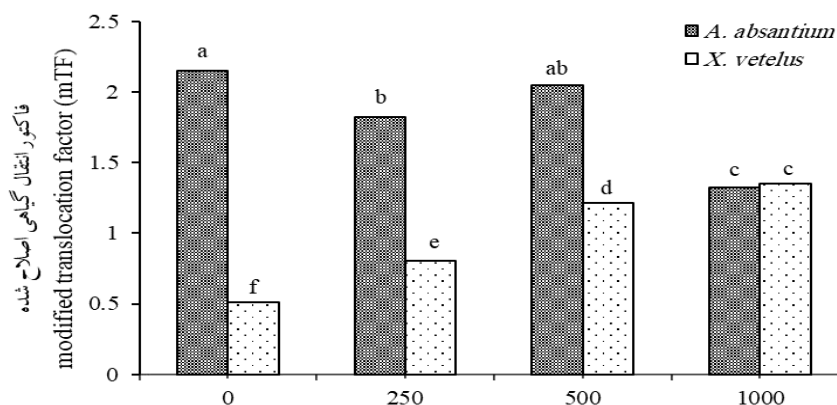
شکل (۶) مقایسه میانگین شاخص اصلاح شده ضریب تغلیظ زیستی (mBCF) ریشه و شاخساره گیاهان در سطوح مختلف سرب در خاک

Figure(6) Mean comparison of mBCF in plants (root and shoot) at different levels of lead in the soil

حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

The same letters show no significant difference in treatments ($P < 0.05$).

مقدار اولیه سرب در خاک ۲۱/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم بود که در محاسبه mBCF در نظر گرفته شد.



شکل (۷) مقایسه میانگین شاخص اصلاح شده فاکتور انتقال گیاهی (mTF)، در سطوح مختلف سرب در خاک

Figure(7) Mean comparison of the modified translocation factor (mTF) at different levels of lead in the soil

حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

The same letters show no significant difference in treatments ($P < 0.05$).

نتیجه گیری

تحمل و اندوزش سرب داشتند. بنابراین با توجه به این نتایج می توان گفت در صورت فراهمی سرب در خاک می توان از افسنتین برای استخراج گیاهی سرب و از توق برای تثبیت گیاهی سرب به ویژه در سطوح ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب) استفاده نمود. همچنین به نظر می رسد در صورت افزایش فراهمی سرب از طریق اصلاح کننده های اسیدی، اسیدهای آلی، کلات کننده ها و همزیستی ریزجانداران خاک، کارآیی این گیاهان در گیاه پالایی سرب، افزایش می یابد.

به طور کلی با توجه به شاخص های بررسی شده و با توجه به مقدار سرب زیست فراهم خاک، گیاه افسنتین در اندوزش و تغلیظ سرب در شاخساره موثر نشان داد. همچنین توق در تثبیت سرب در ریشه توانایی داشت. برآورد شاخص های گیاه پالایی نشان داد دلیل عمده جذب و تغلیظ کم سرب توسط گیاهان مطالعه شده، زیست فراهمی اندک سرب در خاک مورد مطالعه بود. همچنین با توجه به شاخص تحمل و شاخص اصلاح شده اندوزش زیستی سرب هر دو گیاه در سطوح ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب در خاک کارآیی بالاتری در

منابع

1. Alaribe, F.O. and Agamuthu, P., 2015. Assessment of phytoremediation potentials of *Lantana camara* in Pb impacted soil with organic waste additives. *Ecological Engineering*, 83: 513-520.
2. Ali, H., Khan, E., and Sajad, M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. *Chemosphere*, 91: 869–881.
3. Barbosa, B., Boléo S, Sidella, S., Costa, J., Duarte, M.P., Mendes, B., Cosentino, S.L., and Fernando, A.L. 2015. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soils Using the Perennial Energy Crops *Miscanthus* spp. and *Arundo donax* L. *BioEnergy Research*, 8: 1500-1511.
4. Boussen, S., Soubrand, M., Bril, H., Ouerfelli, K., and Abdeljaouad, S. 2013. Transfer of lead, zinc and cadmium from mine tailings to wheat (*Triticum aestivum*) in carbonated Mediterranean (Northern Tunisia) soils. *Geoderma*, 192: 227–236.
5. Businelli, D., Massaccesi, L., and Onofri, A. 2009. Evaluation of Pb and Ni mobility to ground water in calcareous urban soils of Ancona, Italy. *Water Air Soil Pollution*, 201: 185-193.
6. Cariny, T., 1995. The reuse of contaminated land. John Wiley and Sons Ltd. Publisher, 219 p.
7. Carter, M.R. and Gregorich, E.G. 2008. Soil sampling and methods of analysis (2nd ed). CRC Press. Boca Raton. FL, 1204 p.
8. Gupta, R.K. 2000. Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agrobios, New Delhi, India, 438 p.

9. Houben, D., Evrard, L., and Sonnet, P. 2013. Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus L.*). *Biomass and Bioenergy*, 57: 196–204.
10. Huang, H., Li, T., Gupta, D.K., He, Z., Yang, X., Ni, B., and Li, M., 2012. Heavy metal phytoextraction by *Sedum alfredii* is affected by continual clipping and phosphorus fertilization amendment. *Journal of Environmental Sciences*, 24(3): 376–386.
11. Jalili, A. and Jamzad, Z. 1999. Red data book of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR) Publication, Tehran, Iran. 748 p.
12. Jiang, W. and Liu D. 2010. Pb-induced cellular defense system in the root meristematic cells of *Allium sativum L.* *BMC Plant Biology*, 10: 40–40.
13. Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants, 4th end. CRC, Boca Raton. 534 p.
14. Karimi A, Khodaverdiloo H, Sepehri M, and Rasouli Sadaghiani M.H. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi and heavy metal contaminated soils. *African Journal of Microbiology Research*, 5: 1571- 1576.
15. Karimi, A., Khodaverdiloo, H. and Rasouli Sadaghiani, M.H. 2013. Enhanced soil Pb extraction by *Acroptilon (Acroptilon repens)* through inoculation with some arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(3): 193-210.
16. Karimi, A., Khodaverdiloo, H., and Rasouli Sadaghiani, M.H. 2017. Plant tolerance, accumulation and remediation of Pb by three rangeland plant species in a calcareous soil in west Azerbaijan province. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources)*, 70(4): 907-922.
17. Karimi, A., Khodaverdiloo, H., and Rasouli Sadaghiani, M.H. 2018. Microbial Enhanced Phytoremediation of Lead Contaminated Calcareous Soil by *Centaurea cyanus L.* *CLEAN–Soil, Air, Water*, 46(2): 1-9.
18. Khodaverdiloo, H., Ghorbani Dashtaki, Sh., and Rezapour, S. 2011. Lead and cadmium accumulation potential and toxicity threshold determined for land cress (*Barbarea verna*) and spinach (*Spinacia oleracea L.*). *International Journal of Plant Production*, 5: 275-281.
19. Khodaverdiloo, H., Rahmadian, M., Rezapour, S., Ghorbani Dashtaki, Sh., Hadi, H., and Han, F.X., 2012. Effect of wetting-drying cycles on redistribution of lead in some semi-arid zone soils spiked with a lead salt. *Pedosphere*, 22: 304–313.
20. Khodaverdiloo, H. and Hamzenejad Taghliabad, R. 2014. Phytoavailability and potential transfer of Pb from a salt-affected soil to *Atriplex verucifera*, *Salicornia europaea* and *Chenopodium album*. *Chemistry and Ecology*, 30(3): 216-226.

21. Laghlimi, M., Baghdad, B., Hadi, H.E., and Bouabdli. A. 2015. Phytoremediation Mechanisms of Heavy Metal Contaminated Soils: A Review. *Journal of Ecology*, 5: 375-388.
22. Langer, I., Krpata, D., Fitz, W.J., Wenzel, W.W., and Schweiger, P.F. 2009. Zinc accumulation potential and toxicity threshold determined for a metal accumulating *Populus canescens* clone in a dose–response study. *Environmental Pollution*, 157: 2871-2877.
23. Mahdavian, K., Ghaderian, S.M., and Torkzadeh-Mahani, M. 2015. Accumulation and phytoremediation of Pb, Zn, and Ag by plants growing on Koshk lead–zinc mining area, Iran. *Journal of Soils and Sediments*, 1–11.
24. Mahmood, T. 2010. Phytoextraction of Heavy Metals- The Process and Scope for Remediation of Contaminated Soils. *Soil and Environment*, 29: 91-109.
25. McLaughlin, M.J., Hamon, R.E., McLaren, R.G., Speir, T.W., and Rogers, S.L. 2000. Review: a bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand. *Australian Journal of Soil Research*, 38: 1037–1086.
26. Moreira, H., Marques, A., Rangel, A., and Castro, P.M.L. 2011. Heavy metal accumulation in plant species indigenous to a contaminated Portuguese site: Prospects for phytoremediation. *Water Air Soil Pollution*, 221: 377–389.
27. Nsanganwimana, F., Marchland, L., Douay, F., and Mench, M. 2014. *Arundo donax* L., a candidate for phytomanaging water and soils contaminated by trace elements and producing plant-based feedstock, a review. *International Journal of Phytoremediation*, 16: 982–1017.
28. Placek, A., Grobelak, A., and Kacprzak, M. 2016. Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. *International Journal of Phytoremediation*, 18(6): 605-618.
29. Saghi, A., Rashed Mohassel, M.H., Parsa, M., and Hammami, H. 2016. Phytoremediation of lead contaminated soil by *Sinapis arvensis* and *Rapistrum rugosum*. *International Journal of Phytoremediation*, 18(4): 387-392.
30. Sahmurova, A., Celik, M., and Allahverdiyev, S. 2010. Determination of the accumulator plants in Kucukcekmece Lake (Istanbul), *African Journal of Biotechnology*, 9: 6545-6551.
31. Sainger, P.A., Dhankhar, R., Sainger, M., Kaushik, A., and Singh, R.P. 2011. Assessment of heavy metal tolerance in native plant species from soils contaminated with electroplating effluent. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(8): 2284–2291.
32. Salas-Luévano, M.A., Manzanares-Acuña, E., Letechipía-de León, C., and Vega-Carrillo, H.R. 2009. Tolerant and hyperaccumulators autochthonous plant species from mine tailing disposal sites. *Asian Journal of Experimental Sciences*, 23(1): 27–32.

33. Sharma, P. and Dubey, R.S. 2005. Lead Toxicity in plants. *Plant Physiology*. 17, 35-52.
34. Singh, S., Fulzele, D.P., and Kaushik, C.P. 2016. Potential of *Vetiveria zizanoides* L. Nash for phytoremediation of plutonium (^{239}Pu): chelate-assisted uptake and translocation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 132:140–144.
35. Sipos, P., Németh, T., Kovacs Kis, V., and Mohai, I., 2008. Sorption of Cu, Zn and Pb on soil mineral phases, *Chemosphere*, 73: 461-469.
36. Solhi, S., Solhi, M., Sief, A., Hajabassi, M.A., and Shariatmadari, H. 2012. Metal extraction of some native plant species in contaminated sites of Iran. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(3): 568-575.
37. Tauqeer, H.M., Ali, S.H., Rizwan, M., Ali, G.H. Saeed, R. Iftikhar, U., Rehan Ahmad, R., Farid, M., and Abbasi. G.H. 2016. Phytoremediation of heavy metals by *Alternanthera bettzickiana*: Growth and physiological response. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126: 138-146.
38. Wu, G., Kang, H., Zhang, X., Shao, H., Chu, L., and Ruan, C., 2010. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: issues, progress, ecoenvironmental concerns and opportunities. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 1–8.
39. Yang, W., Li, H., Zhang, T., Lin Sen, L., Ni, W. 2014. Classification and identification of metal-accumulating plant species by cluster analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(18): 10626-10637.