

پالایش خاک‌های آلوده به فلز سنگین سرب بوسیله گیاهان مرتعی در شرایط گلخانه‌ای*

علی طوبلی^۱، اسفندیار جهانتاب^{۱*}، محمد جعفری^۱، بابک متشعزاده^۲ و نصرت‌الله ضرغام^۱

^۱ کرج، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه مرتعداری

^۲ کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، گروه علوم و مهندسی خاک

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی توانمندی گونه‌های گیاهی مرتعی *Stipagrostis plumosa*، *Calotropis procera* L. و *Medicago sativa* تحت تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوجار (هر کدام در سه سطح ۰، ۱ و ۲٪ وزنی) در پالایش خاک‌های آلوده به فلز سنگین سرب در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. خاک مورد استفاده در تحقیق حاضر، از منطقه آلوده به ترکیبات نفتی پازنان گچساران برداشت شد. طرح به‌صورت آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار انجام شد. پس از دوره کشت شش ماهه، اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان برداشت و برخی از خصوصیات مهم در خاک و عناصر موجود در گیاهان اندازه‌گیری شد. مقدار کل فلز سنگین سرب با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. شاخص‌های فاکتور انتقال، فاکتور پالایش و فاکتور تجمع بیولوژیکی جهت ارزیابی توانمندی گیاهان استفاده شد. نتایج نشان داد که از نظر جذب فلز سرب، گونه‌های *St. plumosa* و *C. procera* می‌توانند با مکانسیم گیاه‌استخراجی باعث جذب و استخراج سرب در خاک‌های آلوده در مناطق نفتی از خاک شود. بیشترین مقدار RF (فاکتور پالایش) برای فلز سرب در گونه *C. procera* و تیمار بیوجار ۱ و ۲ درصد به‌میزان ۰/۸ و کمترین مقدار RF در گونه *St. plumosa* و تیمار شاهد به‌میزان ۰/۲ بود. براساس نتایج فوق، گونه *Calotropis procera* L. پتانسیل مناسبی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده در مناطق نفت خیز را دارد.

واژه‌های کلیدی: گیاه‌پالایی، سرب، *Calotropis procera* L.، *Stipagrostis plumosa*، *Medicago sativa*

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۶۳۲۲۸۸۴۴، پست الکترونیکی: E.jahantab@yahoo.com

* مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان بررسی امکان کاربرد گیاهان مرتعی در پالایش آلاینده‌های خاک در مناطق نفت خیز (مطالعه موردی: پازنان گچساران) می‌باشد که با حمایت مادی و معنوی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور اجرا شد.

مقدمه

آلوده شدن منابع خاک و آب به ترکیبات مختلف آلی و معدنی به دلیل ارتباط نزدیک این دو با تغذیه موجودات زنده و به دلیل دخالت مستقیم آن‌ها در تأمین غذای موجودات زنده از نظر جنبه‌های زیست‌محیطی و سلامت انسان حائز اهمیت است. مواد نفتی از منابع مختلف وارد محیط می‌شوند. آلودگی خاک به ترکیبات نفتی یکی از شایع‌ترین معضلات زیست‌محیطی می‌باشد. حجم تولید نفت خام در جهان تقریباً ۷۲ میلیون بشکه در روز می‌باشد (۳۴) که سالانه حدود ۴۰ هزار بشکه از آن در نتیجه‌ی مشکلات ناشی از استخراج و خطوط انتقال وارد زمین می‌شود (۳۳). ایران یکی از اعضای کشورهای صادرکننده-ی نفت و از جمله تولیدکنندگان اصلی نفت در دنیا به شمار می‌رود، از این‌رو خاک‌های آلوده به نفت در مناطق نفت‌خیز یک تهدید اساسی به‌ویژه برای مناطق جنوبی کشور محسوب می‌شوند. نفت خام ترکیبی پیچیده از انواع ترکیبات هیدروکربنی و غیر هیدروکربنی از جمله فلزات سنگین است (۱۷ و ۳۰) که بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر گذاشته (۲۳)، سبب چسبندگی و اتصال ذرات

آلوده شدن منابع خاک و آب به ترکیبات مختلف آلی و معدنی به دلیل ارتباط نزدیک این دو با تغذیه موجودات زنده و به دلیل دخالت مستقیم آن‌ها در تأمین غذای موجودات زنده از نظر جنبه‌های زیست‌محیطی و سلامت انسان حائز اهمیت است. مواد نفتی از منابع مختلف وارد محیط می‌شوند. آلودگی خاک به ترکیبات نفتی یکی از شایع‌ترین معضلات زیست‌محیطی می‌باشد. حجم تولید نفت خام در جهان تقریباً ۷۲ میلیون بشکه در روز می‌باشد (۳۴) که سالانه حدود ۴۰ هزار بشکه از آن در نتیجه‌ی

خاک شده و به دنبال سخت و غیرقابل نفوذ شدن خاک، زهکشی خاک و انتقال اکسیژن را مختل می‌کنند (۱۸) و (۲۸).

در میان آلاینده‌های موجود در نفت خام، فلزات سنگین، هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای معطر و همچنین مواد شیمیایی ازجمله آمین‌ها، فنل‌ها، بنزن‌ها، کلسیم، مس، روی، سرب، باریم، منگنز، فسفر و گوگرد وجود دارد که برای موجودات زنده خطرناک بوده و بسته به شدت آلودگی و نوع گونه می‌تواند رشد، محتوای پروتئین، نرخ فتوسنتز و محتوای رنگ‌دانه‌های گیاهان را کاهش دهد (۱۵) و (۲۷). فلزات سنگین از راه‌های مختلف وارد زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شوند. فاضلاب‌ها، مواد دفعی حاصل از فعالیت کارخانه‌ها، زباله‌ها، گرد و غبار و ... راه‌های معمول ورود فلزات سنگین به زنجیره‌های غذایی هستند. آلودگی به فلزات سنگین نه تنها با فعالیت‌های انسانی مرتبط است، بلکه به‌طور طبیعی در مقادیر مختلف در محیط، به‌ویژه در خاک وجود دارند (۳). عناصر سنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست به‌شمار می‌آیند که در چند دهه اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند. تجمع عناصر سنگین در خاک بویژه در اراضی کشاورزی، امری تدریجی بوده و غلظت این عناصر می‌تواند به سطحی برسد که امنیت غذایی بشر را تهدید نماید. سالانه هزاران تن از این عناصر که ناشی از فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است، وارد خاک می‌شود (۱۶). فلزات سنگین در اثر فعالیتهایی نظیر سوزاندن سوخت‌های فسیلی، معدن کاری، صنایع ذوب فلزات، زباله‌های شهری، کودهای شیمیایی، آفت‌کشها، لجن فاضلاب و غیره وارد خاک می‌شود (۲۶).

در بسیاری از مناطق صنعتی پساب کارخانجات به داخل رودخانه‌ها و یا اراضی اطراف (مانند اراضی کشاورزی یا مراتع طبیعی) رها می‌شود. این مسئله باعث ورود آلاینده‌ها به محیط زیست می‌شود که این روند آلودگی خاک، آب‌های

سطحی و منابع آب زیرزمینی را در پی دارد. روش‌های مختلفی برای پاکسازی خاک‌های آلوده در مناطق صنعتی یا معادن وجود دارد. عمده روش‌های پاکسازی خاک‌های مناطق آلوده، اغلب هزینه‌بر بوده و امکان استفاده از آنها در سطوح وسیع وجود ندارد و گاهی اوقات تأثیرات ناخواسته و نامطلوب بر خاک می‌گذارند. همچنین بودجه لازم برای پالایش خاک با روش‌های مرسوم فیزیکی و شیمیایی بالا می‌باشد. در این میان، فن‌آوری استفاده از گیاهان برای استخراج آلاینده‌های عنصری یا عبارتی همان گیاه‌پالایی، کاهش یا محدود کردن انتقال آلاینده‌ها به خاک و آب، مورد توجه زیادی قرار گرفته است. گیاه‌پالایی روشی موثر، ارزان قیمت، سازگار با محیط‌زیست و قابل اجرا در سطوح گسترده است. هزینه گیاه‌پالایی در مقایسه با روش‌های فیزیکو-شیمیایی، حدود ۱۰ تا ۱۰۰ برابر کمتر است (۲۳). از مطالعات صورت گرفته در زمینه فلزات سنگین می‌توان به مطالعات معماری و همکاران (۱۳۹۴) (۱۴)، ارزیابی پتانسیل گیاهان مرتعی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سرب و روی (اراضی مرتعی اطراف شرکت سرب و روی زنجان)؛ ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) (۱)، ارزیابی تجمع فلزات سنگین در گیاهان رشد یافته در خاک‌های آلوده (مطالعه موردی: قزوین، ایران) و صبا و همکاران (۲۰۱۵) (۳۲)، توانایی گیاهان بومی اطراف مراکز صنعتی استان زنجان برای انباشت فلزات سنگین اشاره کرد.

با توجه به مشاهدات، بازدیدهای میدانی از منطقه نفت‌خیز پازنان واقع در شهرستان گچساران و بررسی‌های آزمایشگاهی، دو گونه *Stipagrostis plumosa*، *Calotropis procera* جهت کشت گلخانه‌ای انتخاب شدند، همچنین گونه *Medicago sativa* واریته نیک‌شهری جهت کشت گلخانه‌ای انتخاب گردید. گونه *St. plumosa* یا سبط متعلق به خانواده گندمیان (Poaceae) می‌باشد و به عنوان رابط سراسری صحرایی- سندی و ایرانی- تورانی به شمار رفته و در شمال‌غربی هند و کشمیر، ساحل، اتیوپی و دریای مدیترانه‌ای شرقی و بر روی ماسه خالص و

شن و ریگ کم و بیش مخلوط با ماسه یافت می‌شود (۱۱). گیاه سبط به عنوان یکی از اصلی‌ترین عناصر مراتع بیابانی و نیمه‌بیابانی و استپی کشور به‌شمار می‌رود. این گونه از میدان اکولوژیک وسیعی برخوردار بوده و مقاومت بالایی نسبت به شرایط نامساعد محیطی دارد (۱۲).

استبرق (*Calotropis*) یا خرگ گیاهی از راسته کوشادیان (*Gentianales*) تیره استبرقیان (*Asclepiadaceae*) است و در مناطق حاره می‌روید (۷). از جمله گونه‌های گیاهی مناسب مناطق خشک و نیمه‌خشک، آفتاب-دوست، مستقر در خاک‌هایی با زهکشی خوب و متحمل به خشکی می‌باشد (۳۵). از گونه‌های منحصر به فرد است، اما تاکنون در کشور به آن توجه کافی نشده است. این گیاه در هند جهت تثبیت تپه‌های ماسه‌ای (۲۰) و برای احیای اراضی تخریب‌شده و حفاظت خاک نقش موثری دارد.

یونجه با نام علمی *Medicago*، گیاهی چند ساله از خانواده پروانه آسا (*Fabaceae*) است. گونه معروف جنس یونجه، گونه *M. sativa* است. یونجه، در منطقه‌ای که دارای آب و هوای قاره ای سرد یا تابستان‌های گرم و خشک بوده، رشد و گسترش یافته است (۹). گونه *M. sativa* دارای ارقام متعددی است. در تحقیق حاضر از رقم نیک‌شهری استفاده شد. ارتفاع بوته یونجه نیک‌شهری بین ۱۰۰ تا ۱۱۰ سانتی متر است. برگ‌ها پهن و بزرگ بوده، مقاومت آن در برابر گرما بیش از سایر ارقام ایرانی است و تا دمای حدود ۵۰ درجه سانتی گراد را بخوبی تحمل می‌کند.

ایران کشوری نفت‌خیز است و این نفت‌خیز بودن نه تنها در ایران بلکه در سایر نقاط دنیا با مشکل بزرگ آلودگی خاک، آب و هوا همراه بوده است و حداکثر تخریب را برای این منابع به‌همراه آورده است. به‌طوری‌که آلودگی خاک و آب در جوامع توسعه یافته و در حال توسعه، یکی از مهمترین مشکلات بشر در مقیاس جهانی است و از مهمترین نگرانی‌های قرن حاضر است. همچنین غلظت زیاد آلاینده‌های نفتی در خاک، افزون بر تأثیر گسترده بر

اکوسیستم منطقه، باعث جذب بیشتر این آلاینده‌ها توسط گیاهان شده و می‌تواند با ورود به زنجیره غذایی سبب بروز بیماری‌های مختلف برای انسان و سایر موجودات زنده شود. بنابراین با توجه به مورد ذکر شده در بالا، تحقیق حاضر با هدف بررسی توانمندی گونه‌های گیاهی مرتعی تحت تیمارهای مختلف کمپوست زباله شهری و بیوجار برای جذب فلز سنگین سرب انجام شد.

مواد و روشها

عملیات گلخانه‌ای: خاک مورد استفاده در کشت گلدانی، از منطقه مورد مطالعه (پازنان گچساران) تهیه شد. خاکی که جهت کشت گونه‌های گیاهی در گلدان‌ها استفاده شد، دارای ویژگی‌های زیر بود (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از مشخصات خاک اولیه گلدان‌ها

پارامتر	میزان اندازه گیری
هیدروکربن‌های کل نفتی (TPH)(mg/kg)	۴۰۱۲۰
اسیدیته (pH)	۷/۰۵
قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS/m)	۲/۱
کربن آلی (درصد)	۲/۸۶
نیتروژن (N) (%)	۱/۱۶
پتاسیم (K) (mg/kg)	۱۲۵/۳۵
فسفر (P) (mg/kg)	۳۶/۴
رس (درصد)	۸/۱۵
سیلت (درصد)	۳۱/۶
شن (درصد)	۶۰/۲۵
سرب کل (mg/kg)	۲۶۴۰/۴۵
سرب قابل جذب (mg/kg)	۲۳۷/۱۵

بذر گونه‌های گیاهی مورد استفاده از موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و همچنین شرکت پاکان بذر تهیه شد. کمپوست زباله شهری و بیوجار از گروه خاکشناسی پردیش کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد (بیوجار یک ماده سیاه رنگ، جامد و غنی از کربن است که با گرما دادن ماده آلی تحت شرایط اکسیژن محدود یا بدون

(تتریپلکس ۵) به آن اضافه شد (۳۱) و درب آن بسته شد. بعد از ۲ ساعت شیکر کردن، در داخل بالن ۱۰۰ سی سی صاف شد. سپس نمونه‌ها از کاغذ صافی استات سلولزی ۰/۲۳ نیز عبور داده شدند و غلظت فلز مورد نظر با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل GBC Avanta ساخت کشور استرالیا ارزیابی شد (۲۴).

تعیین مقدار فلز سنگین سرب در نمونه‌های گیاهان مورد مطالعه: برای تعیین مقدار فلز سنگین موجود در گیاهان، ۰/۵ گرم از نمونه‌های گیاهی پودر شده (اندام‌های هوایی و یا زیرزمینی) داخل بشر ۱۰۰ سی سی ریخته شد. سپس ۱۰ سی سی اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. در مرحله بعد، محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه بر روی اجاق با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد (قبل از جوش) قرار گرفت. بعد از کمی سرد شدن، ۵ سی سی آب اکسیژنه ۳۰ درصد به آن افزوده شد و یک دقیقه حرارت داده شد تا نمونه‌ها بی‌رنگ شود. در نهایت بعد از سرد شدن، نمونه‌ها با کاغذ واتمن صاف و به حجم ۱۰۰ سی سی رسیدند (۲۴). در مرحله بعد نمونه‌ها از کاغذ صافی استات سلولزی ۰/۲۳ نیز عبور داده شدند و غلظت فلزات مورد نظر با استفاده از دستگاه GBC Avanta ساخت کشور استرالیا اندازه‌گیری شد.

تعیین شاخص‌های TF، BCFroot، BCFshoot و RF
برای ارزیابی توانمندی گیاهان مورد مطالعه برای گیاه‌پالایی: برای ارزیابی توانمندی گیاهان و معرفی آنها برای پالایش آلودگی، باید بعد از مشخص کردن مقدار فلزات سنگین قابل استخراج در نمونه‌های گیاهی و خاک، شاخص‌های TF= Translocation Factor (فاکتور انتقال؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت فلز در ریشه)، BCFroot= Bio Concentration Factor root (فاکتور تجمع بیولوژیکی ریشه؛ نسبت غلظت فلز در ریشه گیاه به غلظت فلز در خاک)، BCFshoot= Bio Concentration Factor shoot (فاکتور تجمع بیولوژیکی ساقه؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت

اکسیژن ایجاد می‌شود). جهت اعمال تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوجار کمپوست زباله شهری، کمپوست و بیوجار در سه سطح ۰، ۱ و ۲ درصد به صورت وزنی به خاک‌ها اضافه شدند.

عملیات آزمایشگاهی:

برداشت گیاهان و خاک: بعد از رسیدن به حد نصاب رشد (دوره شش ماهه)، اندم‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان جمع‌آوری شد و نمونه‌های خاک گلدان‌ها برداشت شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل و پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، به طور یکنواخت مخلوط و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، درصد ماده آلی (روش والکلی و بلک)، بافت خاک (روش هیدرومتری)، فسفر قابل جذب گیاه (P) (روش اولسن)، نیتروژن کل (N) (کج‌لدال) و پتاسیم قابل جذب (K) (استات آمونیوم نرمال) اندازه‌گیری شدند (۴).

تعیین مقدار کل فلز سنگین سرب در نمونه‌های خاک: بعد از آنکه نمونه‌های خاک گلدان‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند، آماده عصاره‌گیری شدند. در ابتدا ۲ گرم خاک خشک و الک شده وزن شد و سپس ۱۵ سی سی اسید نیتریک ۴ نرمال اضافه شد و با دمای ۶۰ درجه به مدت ۲۰ ساعت داخل اجاق بن‌ماری قرار گرفت. سپس در بالن ۵۰ سی سی صاف و با آب دو بار تقطیر به حجم رسید (۱۹). در مرحله بعد نمونه‌ها از کاغذ استات سلولزی ۰/۲۳ عبور داده شد تا برای قرائت با دستگاه ICP آماده شوند.

تعیین مقدار تبدیلی فلز سرب در خاک: برای استخراج مقدار تبدیلی فلزات سنگین ۲۰ گرم خاک خشک و الک شده وزن و به داخل ارلن ریخته شد. سپس ۲۰ سی سی محلول (DTPA=diethylenetriaminepenta acetic acid)

تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) در محیط نرم-افزار SPSS و جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج

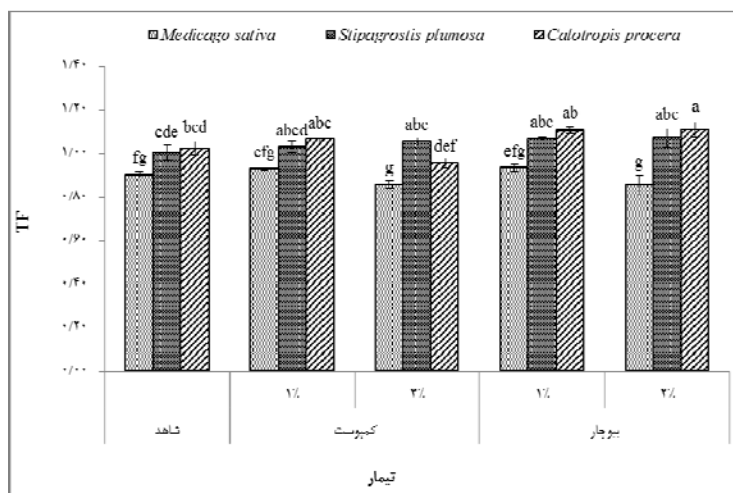
اثر کاربرد تیمارها بر شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاه-پالایی گونه‌های گیاهی مورد مطالعه

ارزیابی فاکتور انتقال (TF) سرب: نتایج نشان داد که اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر TF (فاکتور انتقال) در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار TF در گونه *C. procera* و تیمار بیوچار ۲ درصد و کمترین مقدار TF در گونه *M. sativa* و تیمار کمپوست ۲ درصد و بیوچار ۲ درصد بود (شکل ۱).

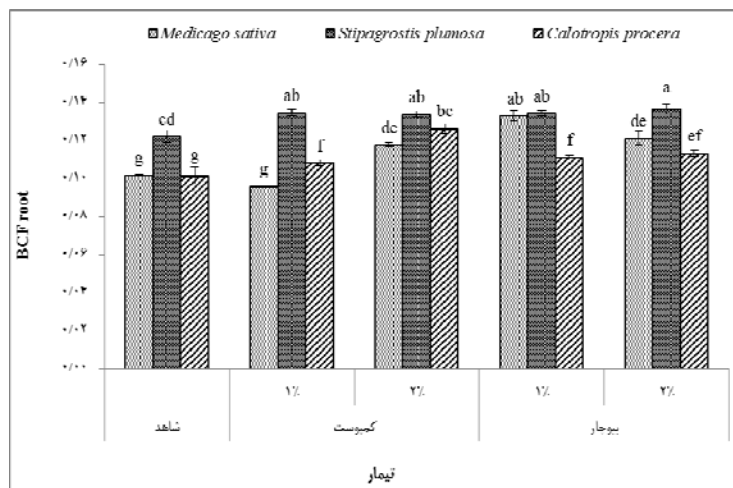
ارزیابی BCFroot سرب: اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر BCFroot (فاکتور تجمع بیولوژیکی ریشه) معنی‌دار بود (جدول ۲).

فلز در خاک) و فاکتور پالایش (RF= Remediation Factor) را اندازه‌گیری کرد و بر اساس این شاخص‌ها، گونه مناسب برای پالایش خاک‌های آلوده معرفی شود. فاکتور پالایش (RF) به غلظت فلز در زیست توده اندام‌های هوایی، مقدار خاک هر گلدان، تجمع فلز در اندام‌های هوایی گیاه و مقدار فلز در خاک بستگی دارد. فاکتور پالایش (کارایی گیاه‌پالایی) به‌عنوان نسبت تجمع فلز در اندام‌های هوایی گیاهان به خاک تعریف شده است، زیرا پتانسیل گیاه‌پالایی یک گونه با استفاده از فاکتور انتقال (TF)، فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF) و فاکتور پالایش (RF) محاسبه می‌شود. اگر TF بزرگتر از یک باشند، گیاه مورد نظر برای استخراج گیاهی آلاینده‌ها مناسب است. گیاهانی که در آنها مقدار TF کمتر از یک و مقدار BCF بیشتر از یک باشد، برای فرآیند گیاه تثبیتی مناسب هستند (۳۷).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: طرح به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با ۵ تکرار انجام شد. تیمارها شامل کمپوست زباله شهری و بیوچار هر کدام در سه سطح ۰، ۱٪ و ۲٪، و سه گونه گیاهی *St. plumosa*، *C. procera* و *M. sativa* بود. در نهایت جهت بررسی و تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات اندازه‌گیری شده از آزمون



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر مقدار شاخص TF سرب



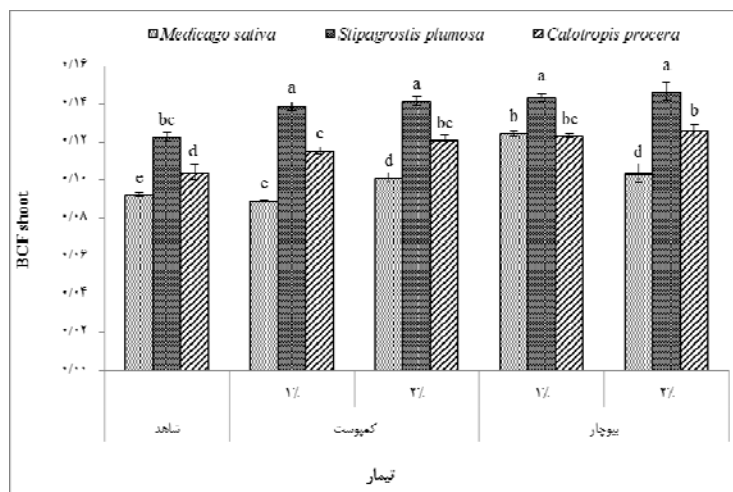
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر مقدار شاخص BCFroot سرب

ارزیابی RF سرب: نتایج نشان داد که اثر متقابل گونه و تیمار (بیوجار و کمپوست) بر مقدار RF (فاکتور پالایش) معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین مقدار RF در گونه *C. procera* و تیمار بیوجار ۱ و ۲ درصد و کمترین مقدار RF در گونه *St. plumosa* و تیمار شاهد بود (شکل ۴).

ارزیابی تاثیر تیمارها بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک: نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تاثیر تیمارها بر pH و هدایت الکتریکی خاک محیط کشت گونه های گیاهی معنی دار است.

مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین مقدار BCFroot در گونه *St. plumosa* و تیمار بیوجار ۲ درصد و کمترین مقدار BCFroot در گونه های *M. sativa* و تیمار شاهد و کمپوست ۱ درصد و گونه *C. procera* و تیمار شاهد بود (شکل ۲).

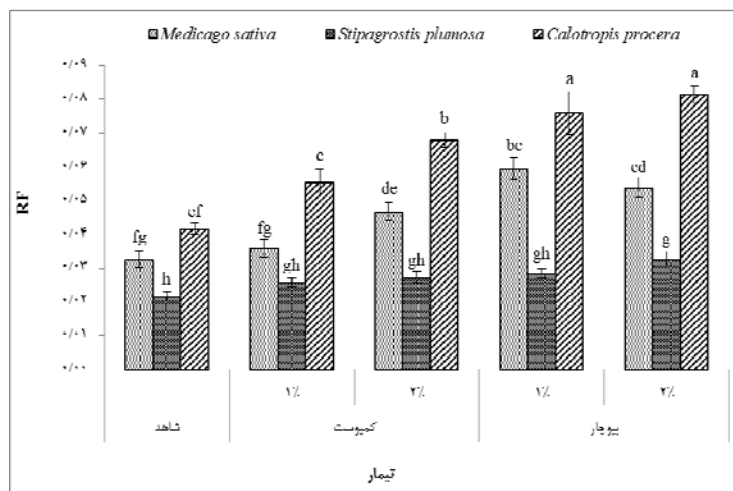
ارزیابی BCFshoot سرب: نتایج نشان داد که اثر متقابل گونه و تیمار (بیوجار و کمپوست) بر مقدار BCFshoot معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین ها نشان داد بیشترین مقدار BCFshoot در گونه *St. plumosa* و تیمارهای بیوجار و کمپوست و کمترین مقدار BCFshoot در گونه *M. sativa* و تیمار شاهد بود (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر مقدار شاخص BCFshoot سرب

مقدار pH و هدایت الکتریکی خاک معنی دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار بیوچار ۲ درصد به‌طور معنی‌داری بیشترین و تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کمترین مقدار pH و هدایت الکتریکی خاک را دارا بودند.

کاربرد تیمارهای بیوچار و کمپوست زباله شهری، باعث افزایش میزان pH و هدایت الکتریکی خاک محیط کشت گونه‌های گیاهی نسبت به شاهد شد. اثر متقابل گونه و تیمار (فاکتورهای اصلاح‌کننده) (بیوچار و کمپوست) بر



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر مقدار شاخص RF سرب

بر مقدار درصد کربن آلی خاک معنی‌دار بود. همچنین اثر تیمار بر مقدار کربن آلی معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار کمپوست ۲ درصد دارای بیشترین درصد کربن آلی خاک و تیمار شاهد دارای کمترین درصد کربن آلی خاک بود. اثر متقابل گونه و تیمار بر مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک معنی‌دار نبود، ولی اثر تیمار بر مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمار بیوچار ۲ درصد و کمترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمار شاهد بود (جدول ۳).

بحث و نتیجه‌گیری

مراعات علاوه بر تولید علوفه خدمات متعدد دیگری نیز دارند. بر اساس نتایج تحقیقات مختلف، حدود ۳۰ درصد ارزش مراعات به مسایل اقتصادی مانند (مانند تولید علوفه، تولید گیاهان دارویی و صنعتی و تولید عسل) می‌باشد. در حالی که کارکردهای زیست محیطی، حدود ۷۰ درصد ارزش مراعات را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین

به طور کلی تیمارهای به‌کار رفته (بیوچار و کمپوست) باعث افزایش مقدار pH و هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد شدند. اثر متقابل گونه و تیمار بر میزان نیتروژن خاک معنی‌دار نبود، ولی اثر تیمار بر مقدار نیتروژن خاک معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن خاک مربوط به تیمار بیوچار ۱ و ۲ درصد و کمترین مقدار نیتروژن مربوط به تیمار شاهد بود. مقدار نیتروژن در تیمار بیوچار نسبت به تیمار کمپوست بیشتر بود. اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر مقدار پتاسیم خاک معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار بیوچار ۲ درصد دارای بیشترین مقدار پتاسیم و تیمار شاهد دارای کمترین مقدار پتاسیم بود. اثر متقابل گونه و تیمار (فاکتورهای اصلاح‌کننده) بر مقدار فسفر خاک معنی‌دار بود. همچنین اثر تیمار بر مقدار فسفر معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار بیوچار ۲ درصد دارای بیشترین مقدار فسفر و تیمار شاهد دارای کمترین مقدار فسفر بود. به‌طور کلی تیمار بیوچار ۲ درصد دارای بالاترین مقادیر نیتروژن، پتاسیم و فسفر بود. اثر متقابل گونه و تیمار

بسیاری از گیاهان مرتعی علاوه بر ارزش های متعدد قادر
هستند در خاک های آلوده رشد کنند و باعث کاهش

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر متقابل گونه و تیمار بر فاکتورهای TF, BCFroot, BCFshoot و RF سرب

متغیر	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
فاکتور انتقال (TF)	گونه	۲	۰/۱۹۳**
	تیمار	۴	۰/۰۱۴**
	گونه * تیمار	۸	۰/۰۰۸*
	خطا	۶۰	۰/۰۰۳
	کل	۷۴	
	ضریب تغییرات (% CV)	۵/۷۹	
BCFroot	گونه	۲	۰/۰۰۳**
	تیمار	۴	۰/۰۰۱**
	گونه * تیمار	۸	۰/۰۰۰**
	خطا	۶۰	۰/۰۰۰
	کل	۷۴	
	ضریب تغییرات (% CV)	۴/۴۲	
BCFshoot	گونه	۲	۰/۰۰۸**
	تیمار	۴	۰/۰۰۱**
	گونه * تیمار	۸	۰/۰۰۰**
	خطا	۶۰	۰/۰۰۷
	کل	۷۴	
	ضریب تغییرات (% CV)	۵/۹۱	
RF	گونه	۲	۰/۰۰۸**
	تیمار	۴	۰/۰۰۱**
	گونه * تیمار	۸	۰/۰۰۰**
	خطا	۶۰	۰/۰۰۰
	کل	۷۴	
	ضریب تغییرات (% CV)	۱۵/۱۰	

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل گونه و تیمار بر برخی خصوصیات خاک

متغیر	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
pH	گونه	۲	۰/۰۸۷**
	تیمار	۴	۰/۴۷۴**
	گونه * تیمار	۸	۰/۰۱۹*
	خطا	۶۰	۰/۰۰۳
	ضریب تغییرات (% CV)	۰/۷۲	
	گونه	۲	۰/۲۴۱**
	تیمار	۴	۰/۲۰۶**

قابلیت هدایت الکتریکی	گونه * تیمار	۸	۰/۱۴**
	خطا	۶۰	۰/۰۰۶
	ضریب تغییرات (% CV)	۲/۹۲	
نیترژن	گونه	۲	۰/۰۱۹**
	تیمار	۴	۰/۰۱۲**
	گونه * تیمار	۸	۰/۰۰۰۶ ^{ns}
	خطا	۶۰	۰/۰۰۱
	کل	۷۴	
	ضریب تغییرات (% CV)	۱۰/۱۲	
پتاسیم	گونه	۲	۲۴۵۸۰/۰۵**
	تیمار	۴	۴۵۳۰/۲۰**
	گونه * تیمار	۸	۶۸۶/۳۷**
	خطا	۶۰	۱۵۵/۹۴
	ضریب تغییرات (% CV)	۶/۱۴	
فسفر	گونه	۲	۳۲/۰۶ ^{ns}
	تیمار	۴	۲۲۷/۶۵**
	گونه * تیمار	۸	۱۰/۳۸ ^{ns}
	خطا	۶۰	۱۹/۸۵
	ضریب تغییرات (% CV)	۱۳/۷۰	
کربن آلی	گونه	۲	۰/۲۵۳**
	تیمار	۴	۰/۷۹۵**
	گونه * تیمار	۸	۰/۰۲۸**
	خطا	۶۰	۰/۰۰۴
	ضریب تغییرات (% CV)	۱/۸۳	
ظرفیت تبادل کاتیونی	گونه	۲	۷/۷۹**
	تیمار	۴	۳۲/۱۱**
	گونه * تیمار	۸	۰/۶۱۹ ^{ns}
	خطا	۶۰	۰/۶۸۸
	ضریب تغییرات (% CV)	۴/۹۶	

(فاکتور تجمع بیولوژیکی شاخساره) سرب معنی دار بود. مقادیر شاخصهای BCFshoot و BCFroot سرب برای هر سه گیاه مورد مطالعه کمتر از یک بود. در گونه‌های *C. procera* و *St. plumosa* غلظت سرب در شاخساره گیاه بیشتر از غلظت آن در اندامهای زیرزمینی بود. از آنجاییکه مقدار TF سرب در گونه‌های *C. procera* و *St. plumosa* بزرگتر از یک بود، بنابراین گونه‌های *C. procera* و *St. plumosa* می‌توانند طی عمل گیاه‌استخراجی باعث

بر اساس نتایج این تحقیق، اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر TF (فاکتور انتقال) سرب معنی دار بود. توانایی گیاهان مورد مطالعه برای تجمع سرب به ترتیب به صورت $M. sativa < St. plumosa < C. procera$ بود. مقدار TF در گونه‌های *C. procera* و *St. plumosa* بزرگتر از یک و به طور معنی‌داری از گونه *M. sativa* بیشتر بود. اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر BCFroot (فاکتور تجمع بیولوژیکی ریشه) و BCFshoot

جذب و استخراج سرب از خاک شود. دلایل مختلفی برای اثبات گیاه‌پالایی گیاهان در عمل گیاه‌استخراجی وجود دارد. افزایش شاخص جذب در تیمارهای کمپوست و بیوپچار را می‌توان به نقش مثبت کمپوست و بیوپچار در بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک مرتبط دانست. به‌نظر می‌رسد کمپوست زباله شهری با دارا بودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک باعث بهبود ساختمان خاک، افزایش نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و در نهایت سبب افزایش رشد گیاه شده و در نهایت منجر به افزایش مقدار جذب سرب و نیکل نسبت به شاهد شده است.

نتایج نشان داد که اثر متقابل گونه و تیمار (بیوپچار و کمپوست) بر مقدار RF (فاکتور پالایش) سرب معنی‌دار بود. RF به‌عنوان فاکتوری برای بررسی استخراج فلز توسط اندام‌های هوایی گیاهان می‌باشد. مقدار RF با زیست توده هوایی گیاهان و غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاهان رابطه مستقیمی دارد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار RF سرب در گونه *C. procera* و تیمار بیوپچار ۱ و ۲ درصد و کمترین مقدار RF سرب در گونه *St. plumosa* و تیمار شاهد بود. بر اساس میزان RF سرب گونه‌های مورد مطالعه به ترتیب به صورت $C. procera < M. sativa < St. plumosa$ بودند، به‌عبارتی، گونه *C. procera* توانایی بیشتری در استخراج سرب از خاک دارد. مقدار RF سرب استخراج‌شده در تیمار بیوپچار و کمپوست نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود، بالاترین مقدار RF استخراج‌شده در تیمار بیوپچار ۱ و ۲ درصد بود. از آن-جاییکه که احتمالاً بیوپچار باعث افزایش زیست توده هوایی گیاه و از طرفی باعث مقدار فلز بیشتر در اندام‌های هوایی شده است، بنابراین مقدار RF سرب در تیمار بیوپچار افزایش داشته و بالاترین مقدار را دارا بود. در این ارتباط وانگ و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که

بیوپچار، میل به جذب قوی فلزات سنگین دارد (۳۶). علاوه بر این، بیوپچار پیرولیتی توانایی و ظرفیت بالایی برای جذب مس، سرب و کادمیم از محلول‌های آبی و خاک دارد. بیسلی و مارمیرولی (۲۰۱۱) گزارش کردند که بیوپچار، پتانسل قوی برای غیرفعال‌سازی فلزات سنگین در خاک‌های آلوده دارد. بیوپچار پتانسل مناسبی در بهبود خصوصیات خاک، تولید محصول و ترسیب کربن در خاک دارد. بیوپچار می‌تواند تحرک فلزاتی مانند آرسنیک محلول، کادمیم و روی را در خاک آلوده کاهش دهد (۲۱). از جمله مطالعاتی که در این راستا انجام شده و نتایج تحقیق حاضر با آنها مطابقت دارد می‌توان به گزارشات مصلحی و همکاران (۱۳۹۳) (۱۳)؛ اله‌دادی و همکاران (۱۳۹۰) (۲)؛ فلت و همکاران (۲۰۱۱) (۲۵)؛ حمزئی و همکاران (۱۳۹۱) (۵) اشاره کرد. رضائیان (۱۳۹۳) اظهار داشتند که تلقیح مایکوریزای همراه با کاربرد بیوپچار در افزایش خاصیت گیاه‌پالایی نعنا فلفلی نقش موثری ایفا می‌کند (۶).

در رابطه با گونه *M. sativa* برای فلز سرب که در تحقیق حاضر مقدار TF کمتر از یک بود، می‌توان به موضوع استفاده نمودن از تیمارهای بیوپچار و کمپوست که باعث افزایش تجمع سرب در ریشه شده است، اشاره کرد. همچنین می‌توان به اثر تحریک‌کنندگی رشد ریشه و افزایش قابلیت آن در جذب فلزات سنگین اشاره کرد. ماهیت فلزات سنگین ایجاب می‌کند که از پویایی و تحرک پایینی برخوردار باشند و انباشت آنها در اندام‌های زیرزمینی نسبت به اندام‌های هوایی برتری داشته باشد. از طرف دیگر احتمالاً بواسطه تشکیل ترکیبات با پویایی کمتر در ریشه که به‌عنوان یک مکانسیم دفاعی در اکثر گیاهان مقاوم به تنش فلزات سنگین در ریشه در مقایسه با اندام-های هوایی می‌باشد. در رابطه با گونه *M. sativa* قلیچ و همکاران (۱۳۹۴) اظهار داشتند درصد جوانه زنی بذره‌های گیاه یونجه تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سرب کاهش پیدا کرد، همچنین زیتوده خشک اندام هوایی و ریشه

آلوده، کم هزینه ترین و تاثیرگذارترین گیاه برای پایش خاک می باشند (۱۰).

بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده، استفاده از بهبوددهنده های (Amendment) بستر کاشت شامل کمپوست و بیوچار جهت ارتقاء گیاه پالایی هیدروکربن های نفتی و فلزات سنگین موثر است. کمپوست و بیوچار با فراهم نمودن شرایط بهینه رشد برای گیاه، به جذب آلاینده ها توسط گیاه و در نهایت به ارتقاء فرایند گیاه پالایی کمک کردند. بنابراین، با توجه به تنوع گونه های گیاهی در ایران و آلودگی مناطق مختلف به ترکیبات نفتی، استفاده از گیاه پالایی می تواند به عنوان یک راهکار موثر و کاربردی در زیست پالایی خاک های آلوده مطرح شود.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان بررسی امکان کاربرد گیاهان مرتعی در پالایش آلاینده های خاک در مناطق نفت خیز (مطالعه موردی: پازنان گچساران) می باشد که با حمایت مادی و معنوی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور اجرا شد. در اینجا مراتب قدردانی خود را از ریاست صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور اعلام می داریم.

تحت تنش فلز سرب کاهش یافت (۸). در اما در مورد گونه های *St. plumosa* و *C. procera* برای فلز سرب که مقدار TF بزرگتر از یک بود (غلظت فلز در اندام های هوایی بیشتر از اندام های زیرزمینی بود)، احتمالاً بوسیله ساختار فیزیولوژیک ریشه و ترشحات ریزوسفری گونه های گیاهی مورد نظر می باشد که در نتیجه آن ترکیبات کمپلکس آلی محلول سرب تشکیل شده که افزایش تحرک منجر به انتقال بیشتر این عنصر از ریشه به اندام هوایی شد.

نتایج تحقیق حاضر با نتایج مصلحی و همکاران (۱۳۹۳) (۱۳)، ناسمینتو و همکاران (۲۰۰۶) (۲۹) هم خوانی دارد. ناسمینتو و همکاران (۲۰۰۶) گزارش نمودند که کاربرد اسیدهای آلی باعث افزایش رشد و زیست توده گیاهی شده و مقدار جذب را افزایش داد. مواد آلی موجود در کمپوست زباله شهری نیز با گروه های کربوکسیل خود می تواند تشکیل کلات هایی قوی با فلزات سنگین داده و باعث تغییر فراهمی فلزات سنگین در خاک شوند.

گونه *C. procera* که از گونه های گیاهی بومی منطقه پازنان گچساران بود توانایی بیشتری در استخراج سرب از خاک دارد. در همین راستا، کیارستمی و همکاران (۱۳۹۲) اظهار داشتن گیاهان بومی به دلیل سازگاری اکولوژیکی در محیط

منابع

۱. ابراهیمی، م.، جعفری، م.، ثوابی، غ.ر.، آذرینوند، ح.، طویلی، ع.، و مادرید، ف. ۱۳۹۴. ارزیابی تجمع فلزات سنگین در گیاهان رشد یافته در خاک های آلوده (مطالعه موردی: قزوین، ایران). مجله مرتع. ۴ (۲): ۹۱-۹۹.
۲. الهدادی، ا.، معماری، ع.، اکبری، غ.، لطفی، فر. ا. ۱۳۹۰. تاثیر کاربرد مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری بر خصوصیات و غلظت عناصر غذایی خاک و رشد و عملکرد ذرت علوفه ای. فن آوری تولیدات گیاهی، ۱۵ (۱).
۳. پناهی، ن. ۱۳۹۲. استفاده از گیاهان مرتعی در حذف فلزات سنگین از خاک. <http://zistboom.com>
۴. جعفری حقیقی، م. ۱۳۸۲. روش های تجزیه خاک- نمونه برداری و تجزیه های مهم فیزیکی و شیمیایی با تأکید بر اصول تئوری و کاربردی. انتشارات ندای ضحی. ۲۳۶ ص.
۵. حمزئی، ا.، لکزیان، ع. آستارایی و فتوت، ا. ۱۳۹۱. تاثیر بیوچار و فاضلاب بر غلظت کادمیوم قابل جذب خاک و رشد گیاه ماش. سومین همایش ملی مدیریت جامع آب، ۲۰ و ۲۱ شهریور ۱۳۹۱. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۶. رضائیان، آ. ۱۳۹۳. تاثیر بیوچار و میکوریزا آرباسکولار بر جذب، انتقال و انباشت کادمیوم در گیاه نعنا فلفلی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی شاهرود.
۷. قدسی، ج. ۱۳۸۴. علل بیابان زایی، صفحه ۶۶-۶۷.

۸. قلیچ، س.، زرین‌کمر، ف.، نیکنام، و. ۱۳۹۴. بررسی میزان انباشتگی فلز سرب و تاثیر آن بر فعالیت آنزیم پراکسیداز، محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در مرحله جوانه‌زنی در گیاه یونجه (*Medicago sativa*). مجله پژوهش‌های گیاهی ایران (زیست‌شناسی ایران)، ۲۸ (۱)، ۱۶۴-۱۷۴.
۹. کریمی، ه. ۱۳۶۹. یونجه. چاپ اول. تهران: انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.
۱۰. کیارستمی، خ.، غفاری رهبر، ف.، شیردم، ر. ۱۳۹۲. مطالعه رشد و واکنش دفاعی ریشه گیاهان در خاک‌های آلوده به نفت، مجله پژوهش‌های گیاهی ایران (زیست‌شناسی ایران)، ۲۶ (۴)، ۵۰۰-۵۰۹.
۱۱. لقمان، ح. ۱۳۷۶. منظرسازی جاده‌ها و بزرگراه‌ها با استفاده از سیستم‌های سطوح آبگیر باران و گیاهان مقاوم به خشکی. مرکز
22. Chupakhina G.N and P.V. Maslennikov, 2004. Plant adaptation to oil stress. Russian Journal of Ecology, 35: 290-295.
23. Cunningham, S. D., Berti, W. R and Huang, J. W. 1995. Phytoremediation of contaminated soils. TIBTECH. 13: 393-397.
24. Du Laing, G., F.M.G. Tack & M.G. Verloo, 2003. Performance of selected destruction methods for the determination of heavy metals in reed plants *Phragmites australis*. Jour. Analyt. Chim. Acta. 49: 191-198.
25. Fellet, G., Marchiol, L., Delle Vedove, G., Peressotti, A. 2011. Application of biochar on mine tailings: effects and perspectives for land reclamation. Chemosphere 83, 1262e1297.
26. Gaur A and Adholeya A, 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Curr sci, 86: 528-534.
27. Knabe, W., 1982. Monitoring of air pollutants by wild life plants and plant exposure: suitable bioindicators for different immissions types. Monitoring of Air Pollutants by Plants-Methods and Problems. S: 59-72.
28. Luepromchai, E., W. Lertthamrongsak, P. Pinphanichakarn, S. Thaniyavarn, 2007. Biodegradation of PAHs in petroleum-contaminated soil using tamarind leaves as microbial inoculums. Journal of Scienc Technology, 29: 515-527.
29. Nascimento, C.W., D. Amarasiriwardena and X. Baoshan. 2006. Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multimetal
- تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، وزارت جهاد سازندگی، ۲۳۲ ص.
۱۲. لئونارد، ژ. ۱۳۸۰. نگرشی بر فلور و پوشش گیاهی بیابان‌های ایران. چاپ اول، ترجمه مه‌لقا قربانلی، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، چاپ اول: ۲۰۸ ص.
۱۳. مصلحی، ت.، فیضیان، م.، سهرابی، ا. ۱۳۹۳. بررسی اثر کمپوست زیاله شهری و EDTA بر گیاه پالایی کادمیم از خاک، اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط زیست، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.
۱۴. معمري، م.، جعفری، م.، طویلی، ع.، متشعزاده، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی پتانسیل گیاهان مرتعی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سرب و روی (اراضی مرتعی اطراف شرکت سرب و روی زنجان). مجله مرتع، ۹ (۱): ۲۹-۴۱.
15. Agrawal, S.B, 1992. Effects of supplemental UV-B radiation on photosynthetic pigment, protein and glutathione contents in green algae. Environmental and Experimental Botany, 32(2): 137-143.
16. Ahmadi, B. 2012. The role of heavy metals in human health. July 20 2012. available at: Resources heavy metals.
17. Akaninwor, J.O., A.O. Ayeleso and C.C. Monago, 2007. Effect of different concentrations of crude oil (Bonny light) on major food reserves in guinea corn during germination and growth. Scientific Research and Essay (Academic), 2(4):127-131.
18. Anigboro, A.A. and J.T. Nyerhovwo, 2008. Effect of crude oil on invertase and amylase activities in cassava leaf extract and germinating cowpea seedlings. Asian journal of Biological Sciences, 1(1):56-60.
19. APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, 19 Pp.
20. Balakram, M. and J.S. Chauhan. 2005. Mapping cultivable lands in Bikaner district of arid Rajasthan for sustainable use and development. Central Arid zone Research Institute. Jodhpur.
21. Beesley, L. and M. Marmiroli. 2011. The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. Environmental Pollution 159 (2011) 474-480

- contaminated soil. Environmental Pollution, 140:114-123.
30. Peng S., Z. Zhou Cai, Z. Zhang, 2009. Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis jalapa* L. in greenhouse plotexperiment. J. of Hazardous Materials, 168: 1496-1490.
 31. Rodojvic M., V.N. Bashkin, 1999. "Practical Environmental Analysis", the Royal Society of Chemistry, 466p.
 32. Saba, G., A.H. Parizanganeh, A. Zamani & J. Saba, 2015. Phytoremediation of Heavy Metals Contaminated Environments: Screening for Native Accumulator Plants in Zanjan-Iran. International Journal of Environmental Researched, 9(1):309-316.
 33. Salanitro, J.P., 2001. Bioremediation of petroleum hydrocarbons in soil. Adv Agron, 72: 53-105.
 34. Singh, A. and O.P. Word, 2004. Applied Bioremediation and Phytoremediation. Published by Springer-verlag Berlin Heidelberg. Germany.
 35. The Ecological Society of Americans Committee on Land Use. 2000. Ecological principles for managing land use. Journal ecological applications. 10(3).
 36. Wang, X.S., H.H. Miao., W. He., H.L. Shen. 2011. Competitive adsorption of Pb (II), Cu (II), and Cd (II) ions on wheat-residue derived black carbon, J. Chem. Eng. Data, 56: 444-449.
 37. Yoon, J., X. Cao, Q. Zhou and L.Q. Ma, 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment 368: 456-464.

Remediation of contaminated soils with heavy metal of Pb using rangelands plants in the greenhouse condition

Tavili A., Jahantab E., Jafari M., Motashre zadeh B. and Zargham N.A.

Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. of Iran

Abstract

This study aimed to introduce and investigate the rangeland plants of *Stipagrostis plumosa*, *Calotropis procera* L. and *Medicago sativa* remediation of contaminated soils with heavy metal of Pb in the greenhouse condition under treatments of urban waste compost and biochar at three levels (0, 1 and 2 percentage) in a completely randomized design with 5 replications. The soil used in this study was collected from the petroleum-contaminated traditional Pazanan. After six-month, aerial and underground parts of plant have collected and some important characteristics of soil, morphological properties of plant and some elements have been examined. ICP-OES is used for Pb measurement. Translocation factor, remediation factor and biological aggregation factor measured for the assessment of plants remediation potential. The results showed that *C. procera* and *St. plumosa* absorb and extract Pb through phyto-extraction from petroleum contaminated soils. *C. procera* had the most RF (0.08) for lead under biochar 1 and 2 percentage treatment, while the least amount of RF (0.02) found for *St. plumosa* in control samples. Therefore, according to the current results; *C. procera* L. has good potential to apply for phytoremediation in petroleum contaminated soils.

Key words: Phytoremediation, pb, *Calotropis procera* L., *Stipagrostis plumosa*, *Medicago sativa*.