فصلنامه علوم محیطی، دوره چهاردهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵

۱۰۷-۱۲۲

ارزیابی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های گیاهی مرتعی در خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی با تاکید بر فلز سنگین نیکل

اسفندیار جهانتاب[۱*]، محمد جعفری[۱]، بابک متشرع‌زاده[۲]، علی طویلی[۱]و نصرت‌الله ضرغام[۳]

[۱] گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۲] گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۳] گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۲۲

جهانتاب، ا.، م. جعفری، ب. متشرع زاده، ع. طویلی و ن. ضرغام. ۱۳۹۵. ارزیابی پتانسیل گیاه پالایی گونه های گیاهی مرتعی در خاکهای آلوده به ترکیبات نفتی با تاکید بر فلزسنگین نیکل. فصلنامه علوم محیطی. ۱۴(۳): ۱۲۲-۱۰۷.

سابقه و هدف: افزایش آلودگی آب و خاک باعث ایجاد مسائل و مشکلات محیط زیستی زیادی می‌شود. 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 ازنظر جنبه‌های محیط‌زیستی و سلامت انسان دارای اهمیت است. هدف از این پژوهش بررسی توانمندی گونه‌های گیاهی مرتعی *Stipagrostis plumosa* ، *Calotropis procera* و *Medicago sativa* تحت تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوچار (هرکدام در سه سطح ۰، ۱ ٪ و ۲ ٪ وزنی) در پالایش خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی با تاکید بر فلز سنگین نیکل در شرایط گلخانه‌ای است.

مواد و روش‌ها: برای کشت گلخانه‌ای، از منطقه آلوده به ترکیبات نفتی پازنان گچساران، خاک برداشت شد. کشت در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در ۵ تکرار انجام شد. پس از دوره کشت شش‌ماهه، اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان برداشت و برخی از خصوصیات مهم در خاک و فلز نیکل در گیاهان اندازه‌گیری شد. مقدار کل فلز نیکل با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. برای تجزیه‌وتحلیل آماری اطلاعات اندازه‌گیری‌شده از آزمون تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شد. شاخص‌های فاکتور انتقال (TF)، فاکتور پالایش (RF) و فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF) برای ارزیابی توانمندی گیاهان استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد مقدار TF نیکل در گونه *S. plumosa* بزرگ‌تر از یک و به‌طور معنی‌داری از گونه‌های *M. sativa* و *C. procera* بیشتر بود. با توجه به اینکه مقدار TF در گونه *S. plumosa* بزرگتر از یک است، گونه *S. plumosa* می‌تواند طی عمل گیاه استخراجی باعث جذب و استخراج نیکل از خاک شود. بیشترین مقدار RF (فاکتور پالایش) برای فلز نیکل در گونه *C. procera* و تیمار بیوچار ۱ و ۲ درصد به میزان ۰/۰۸ و کمترین مقدار RF در گونه *S. plumosa* و تیمار شاهد به میزان ۰/۰۲ بود. نتایج نشان داد کاربرد تیمارهای بیوچار و کمپوست زباله شهری باعث افزایش میزان pH و هدایت الکتریکی خاک محیط کشت گونه‌های گیاهی نسبت به شاهد شد. نتایج نشان داد تیمار بیوچار ۲ درصد دارای بالاترین مقادیر نیتروژن، پتاسیم و فسفر بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار کمپوست ۲ درصد دارای بیشترین درصد کربن آلی خاک و تیمار شاهد دارای کمترین درصد کربن آلی خاک بود. بیشترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمار بیوچار ۲ درصد و کمترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمار شاهد بود. نتایج اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر ویژگی‌های طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن کل خشک گیاهان معنی‌دار شد. تیمارهای (بیوچار و کمپوست) استفاده‌شده در تحقیق حاضر باعث افزایش طول ساقه، طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن کل خشک نسبت به تیمار شاهد شدند. به‌طورکلی تیمار بیوچار ۲ درصد دارای بیشترین طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن کل خشک بود.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: E.jahantab@ut.ac.ir

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، گونه *S. plumosa* می‌تواند طی عمل گیاه‌استخراجی باعث جذب و استخراج نیکل از خاک شود، همچنین بیوچار ۲ درصد بیشترین تاثیر را در ارتقاء گیاه‌پالایی نیکل داشت. بنابراین با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان گونه *S. plumosa* را به‌عنوان گیاهی مناسب برای گیاه‌پالایی فلز نیکل در خاک‌های آلوده در مناطق نفتی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: نیکل، بیوچار، کمپوست زباله شهری، *Calotropis procera*، *Stipagrostis plumosa*، *Medicago sativa*

مقدمه

افزایش آلودگی آب و خاک باعث ایجاد مسائل و مشکلات محیط زیستی زیادی می‌شود. از بین تمام آلاینده‌های محیط‌زیست، نفت و هیدروکربن‌های نفتی از اهمیت بین‌المللی خاصی برخوردار هستند. آلودگی خاک به ترکیبات نفتی یکی از شایع‌ترین معضلات محیط‌زیستی است. حجم تولید نفت خام در جهان تقریباً ۷۲ میلیون بشکه در روز است (Wang *et al*., 2011) که سالانه حدود ۴۰ هزار بشکه از آن درنتیجه مشکلات ناشی از استخراج و خطوط انتقال وارد اکوسیستم های طبیعی می‌شود (Walker *et al*., 2003). ایران یکی از اعضای کشورهای صادرکننده نفت و ازجمله تولیدکنندگان اصلی نفت در دنیا به شمار می‌رود، ازاین‌رو خاک‌های آلوده به نفت در مناطق نفت‌خیز تهدیدی اساسی به‌ویژه برای مناطق جنوبی کشور محسوب می‌شود.

به‌طورکلی تجمع آلاینده‌ها در خاک می‌تواند اثرات مخربی بر محیط‌زیست و سلامت انسان داشته باشد. آلاینده‌های موجود در خاک می‌توانند وارد زنجیره غذایی شده و سلامت حیوان و انسان را با خطر جدی مواجه سازند (Nascimento *et al*., 2006). در میان آلاینده‌های موجود در نفت خام، فلزات سنگین، هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای معطر و همچنین مواد شیمیایی ازجمله آمین‌ها، فنول‌ها، بنزن‌ها، کلسیم، مس، روی، سرب، باریم، منگنز، فسفر و گوگرد وجود دارد که برای موجودات زنده خطرناک بوده (Peng *et al*., 2009) و بسته به شدت آلودگی و نوع گونه می‌تواند رشد، محتوای پروتئین، نرخ فتوسنتز و محتوای رنگ‌دانه‌ها را کاهش دهد (APHA, 1998).

فلزات سنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست به شمار می‌آیند که در چند دهه اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند. تجمع عناصر در خاک به‌ویژه در زمین‌های کشاورزی، امری تدریجی بوده و غلظت عناصر سنگین می‌تواند به سطحی برسد که امنیت غذایی بشر را تهدید کند. سالانه هزاران تن از این عناصر که ناشی از فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است، وارد خاک می‌شود (Balakram and Chauhan, 2005). از بررسی‌های صورت‌گرفته درباره فلزات سنگین می‌توان به بررسی‌های Barmaki and Alsagh (2013)، بررسی سنجش و اندازه‌گیری آلودگی‌های فلزات سنگین در رسوبات ساحلی خلیج فارس Moameri *et al*. (2015)، ارزیابی پتانسیل گیاهان مرتعی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سرب و روی (اراضی مرتعی اطراف شرکت سرب و روی زنجان)؛ Ebrahimi *et al*.(2014)، ارزیابی تجمع فلزات سنگین در گیاهان رشدیافته در خاک‌های آلوده (بررسی موردی: قزوین، ایران)؛ Mansouri *et al*. (2015). معرفی درخت حرا (*Avicennia marina*) به عنوان نماگر زیستی (بایواندیکاتور) مناسب برای آلودگی ناشی از نیکل در مناطق ساحلی کشور ایران؛ Saba *et al*. (2015)، توانایی گیاهان بومی اطراف مراکز صنعتی استان زنجان برای انباشت فلزات سنگنین اشاره داشت.

با توجه به نفت‌خیز بودن بسیاری از مناطق کشورمان به‌ویژه مناطق جنوب کشور که از قطب‌های مهم نفتی خاورمیانه محسوب می‌شوند و این پتانسیل را دارند که هر ساله حجم وسیعی از این آلاینده‌های بالقوه سمی و خطرناک را به محیط زیست وارد کنند و منجر به تحمیل آثار سوئی بر پیکره زیست‌بوم شوند و نیز استفاده از روش‌های کم‌هزینه و سازگار با محیط زیست در رفع این آلودگی‌ها کمتر پرداخته شده است. بنابراین بررسی و شناسایی گونه‌های مرتعی توانمند در پالایش و اصلاح خاک‌های آلوده به این ترکیبات،ضرورت دارد. با توجه به موارد ذکرشده، هدف از پژوهش حاضر بررسی توانمندی گونه‌های گیاهی مرتعی *Stipagrostis plumosa* ، *Calotropis procera* و *Medicago sativa* تحت تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوچار (هرکدام در سه سطح ۰، ۱ ٪ و ۲ ٪ وزنی) در پالایش خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی با تاکید بر فلز سنگین نیکل در شرایط گلخانه‌ای است.

مواد و روش‌ها

عملیات گلخانه‌ای

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 *S. plumosa*، *C. procera* و *M. sativa* است.

بذر گونه‌های گیاهی مورد استفاده از موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و همچنین شرکت پاکان بذر تهیه شد. کمپوست زباله شهری و بیوچار از گروه خاک‌شناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد. برای اعمال تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوچار کمپوست زباله شهری، کمپوست و بیوچار در سه سطح ۰، ۱ و ۲ درصد به صورت وزنی به خاک‌ها اضافه شدند.

خاک مورد استفاده در کشت گلدانی، از منطقه آلوده به ترکیبات نفتی پازنان گچساران تهیه شد. خاکی که برای کشت گونه‌های گیاهی در گلدان‌ها استفاده شد دارای ویژگی‌های زیر بود (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از مشخصات خاک اولیه گلدان‌ها.

Table 1. Some characteristics of soil in pots.

پارامتر character	میزان اندازه‌گیری rate
هیدروکربن‌های کل نفتی (TPH)(mg/kg) Total Petroleum Hydrocarbons	40120
اسیدیته (pH)	7.05
قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m) EC	2.1
کربن آلی (درصد) OC (%)	2.86
نیتروژن (٪) (N)	0.16
پتاسیم (mg/kg) (K)	125.35
فسفر (mg/kg) (P)	36.4
رس (درصد) Clay	8.15
سیلت (درصد) Silt	31.6
شن (درصد) Sand	60.25
نیکل کل (mg/kg) total nickel	178.5
نیکل قابل جذب (mg/kg) Ni Exchangeable	4.85

گونه‌های گیاهی مورد بررسی در این تحقیق

گونه *S. plumose* یا سبط متعلق به خانواده گندمیان (Poaceae) است گیاه سبط به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عناصر مراتع بیابانی و نیمه‌بیابانی و استپی کشور به شمار می‌رود. این گونه از میدان اکولوژیک وسیعی برخوردار بوده و مقاومت بالایی به شرایط نامساعد محیطی دارد (Ghodosi, 2005).

استبرق (*Calotropis*) یا خرگ گیاهی از راستهٔ کوشادیان (*Gentianales*) تیرهٔ استبرقیان (Asclepiadaceae)، است و درمناطق حاره می‌روید. این گیاه در هند جهت تثبیت تپه‌های ماسه‌ای و در برای احیای اراضی تخریب‌یافته و حفاظت خاک نقش موثری دارد (Balakram and Chauhan, 2005).

یونجه با نام علمی *Medicao*، گیاهی چندساله از خانواده پروانه‌آسا (Fabaceae) است. گونه معروف جنس یونجه، گونه *M. sativa* است. یونجه، در منطقه‌ای که دارای آب‌وهوای قاره‌ای سرد یا تابستان‌های گرم و خشک بوده رشد و گسترش یافته است (Loghman, 1997). در تحقیق حاضر از رقم نیک‌شهری استفاده شد.

عملیات آزمایشگاهی

برداشت گیاهان و خاک

بعد از رسیدن به مرحله رشد حداکثری (دوره شش‌ماهه)، 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 (Jafari Haghighi, 2003).

تعیین مقدار کل فلز سنگین نیکل در نمونه‌های خاک

بعد از آنکه نمونه‌های خاک گلدان‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک‌شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند، آماده عصاره‌گیری شدند. در ابتدا ۲ گرم خاک خشک و الک‌شده وزن شد و سپس ۱۵ سی‌سی اسید نیتریک ۴ نرمال اضافه شد و با دمای ۶۰ درجه به مدت ۲۰

ساعت داخل اجاق بن‌ماری قرار گرفت. سپس در بالن ۵۰ سی‌سی صاف و با آب دو بار تقطیر به حجم رسید (APHA, 1998). در گام بعد نمونه‌ها از کاغذ استات سلولزی ۰/۲۳ عبور داده شد تا برای قرائت با دستگاه ICP-OES (مدل GBC Avanta، ساخت کشور استرالیا) آماده شوند.

تعیین مقدار تبادلی فلز نیکل در خاک

برای استخراج مقدار تبادلی فلز سنگین نیکل ۲۰ گرم خاک خشک و الک‌شده وزن و به داخل ارلن ریخته شد. سپس ۲۰ سی‌سی محلول DTPA[1] (تتریپلکس ۵) به آن اضافه شد (Rodojvic and Bashkin, 1999) و درب آن بسته شد. بعد از ۲ ساعت شیکر کردن، در داخل بالن ۱۰۰ سی‌سی 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) آنالیز شد (Du Laing *et al.*, 2003).

تعیین مقدار فلز سنگین نیکل مورد نظر در نمونه‌های گیاهان مورد بررسی

برای تعیین مقدار فلز سنگین موجود در گیاهان، ۰/۵ گرم از نمونه‌های گیاهی پودرشده (اندام‌های هوایی و زیرزمینی) داخل بشر ۱۰۰ سی‌سی ریخته شد. سپس ۱۰ سی‌سی اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. در گام بعد، محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه بر روی اجاق با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد (قبل از جوش) قرار گرفتند. بعد از کمی سرد شدن، ۵ سی‌سی آب اکسیژنه ۳۰ درصد به آن افزوده شد و یک دقیقه حرارت داده شد تا نمونه‌ها بی‌رنگ شود. در نهایت بعد از سردشدن، نمونه‌ها با کاغذ واتمن صاف و به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسیدند (Du Laing *et al.*, 2003). در مرحله بعد نمونه‌ها از کاغذ صافی استات سلولزی ۰/۲۳ نیز عبور داده شدند و غلظت فلز مورد نظر با استفاده از دستگاه مدل GBC Avanta ساخت کشور استرالیا اندازه‌گیری شد.

تعیین شاخص‌های TF، BCFroot ، BCFshoot و RF برای ارزیابی توانمندی گیاهان مورد بررسی برای گیاه‌پالایی

برای ارزیابی توانمندی گیاهان و معرفی آنها برای پالایش آلودگی، بایستی بعد از مشخص کردن مقدار فلزات سنگین قابل استخراج در نمونه‌های گیاهی و خاک، شاخص‌های TF[2] (فاکتور انتقال؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت فلز در ریشه)، BCFroot[3] (فاکتور تجمع بیولوژیکی ریشه؛ نسبت غلظت فلز در ریشه گیاه به غلظت فلز در خاک)، BCFshoot[4] (فاکتور تجمع بیولوژیکی ساقه؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت فلز در خاک) و فاکتور پالایش (RF[5]) را اندازه‌گیری کرد و بر اساس این شاخص‌ها، گونه مناسب برای پالایش خاک‌های آلوده معرفی شود. چرا که 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 (Yoon *et al.*, 2006).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت بررسی و تجزیه‌وتحلیل آماری اطلاعات اندازه‌گیری‌شده از آزمون تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن در محیط نرم‌افزار SPSS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر کاربرد تیمارها بر شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاه‌پالایی گونه‌های گیاهی مورد بررسی

ارزیابی فاکتور انتقال (TF) نیکل

نتایج نشان داد اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر TF (فاکتور انتقال) معنی‌دار نبود (جدول ۲ و شکل ۱). اثر گونه‌ها بر TF نیکل معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد مقدار TF نیکل در گونه‌های *S. plumosa* بزرگ‌تر از یک و به‌طور معنی‌داری از گونه‌های *M. sativa* و *C. procera* بیشتر بود. نتایج نشان داد توانایی گیاهان مورد بررسی برای تجمع نیکل به‌ترتیب مربوط به *S. plumosa* > *M. sativa* > *C. procera* بود. گونه‌های گیاهی مورد بررسی دارای مقادیر BCFroot و BCFshoot نیکل کمتر از یک بودند. در گونه *S. plumosa* غلظت نیکل در شاخساره گیاه بیشتر از غلظت آن در اندام‌های زیرزمینی است. با توجه به اینکه مقدار

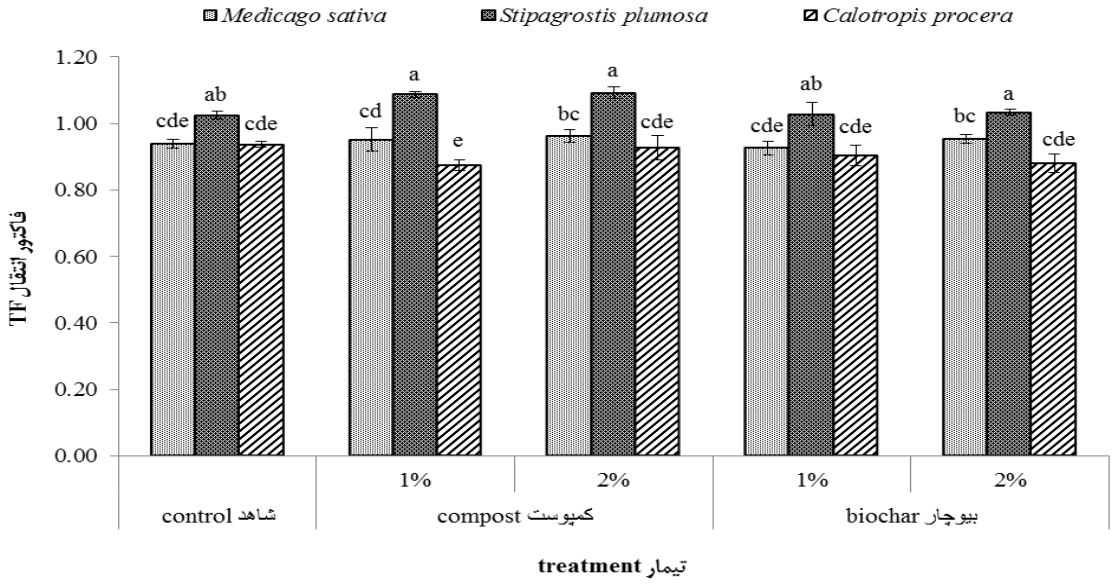
TF در گونه *S. plumosa* بزرگتر از یک است، گونه *S. plumosa* می‌تواند طی عمل گیاه‌استخراجی باعث جذب و استخراج نیکل از خاک شود. بنابراین با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان گونه *S. plumosa* را به‌عنوان گیاهی مناسب برای گیاه‌پالایی فلز نیکل در خاک‌های آلوده در مناطق نفتی استفاده کرد. گونه *S. plumosa* دارای توانایی گیاه‌استخراجی است، این گونه توانایی رشد در غلظت‌های بالای فلزات سنگین را دارد و می‌تواند فلزات سنگین را جذب و در اندام‌های خود ذخیره کنند.

افزایش شاخص جذب در تیمارهای کمپوست و بیوچار را می توان به نقش مثبت کمپوست و بیوچار 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 منجربه افزایش مقدار جذب نیکل نسبت به شاهد شده است.

در رابطه با گونه‌های *M. sativa* و *C. procera* برای فلز نیکل که در تحقیق حاضر مقدار TF کمتر از یک است می‌توان این موضوع را به استفاده کردن از تیمارهای بیوچار و کمپوست که باعث افزایش تجمع نیکل در ریشه شده است نسبت داد. 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. اما در مورد گونه *S. plumosa* برای فلز نیکل که مقدار TF بزرگتر از یک است و غلظت فلز در اندام‌های هوایی بیشتر از اندام‌های زیرزمینی است. این موضوع (غلظت بیشتر فلز نیکل در اندام-های هوایی نسبت به اندام‌های زیرزمینی) احتمالا می‌تواند به-دلیل ساختار فیزیولوژیک ریشه و ترشحات ریزوسفری گونه *S. plumosa* باشد، که در نتیجه آن ساختار و ترشحات، ترکیبات کمپلکس آلی محلول نیکل تشکیل شده، که افزایش تحرک و پویایی منجر به انتقال بیشتر این فلز از ریشه به اندام هوایی شده است. در تحقیق حاضر مشخص شد گونه *S. plumosa* که از گونه‌های گیاهی بومی منطقه پازنان گچساران است توانایی بیشتری در استخراج نیکل در شرایط گلخانه‌ای از خاک دارد. در همین راستا، Kiarostami *et al.* (2013) اظهار داشتند گیاهان بومی به دلیل سازگاری اکولوژیکی در محیط آلوده، کم‌هزینه‌ترین و تاثیرگذارترین گیاهان برای پایش خاک هستند.

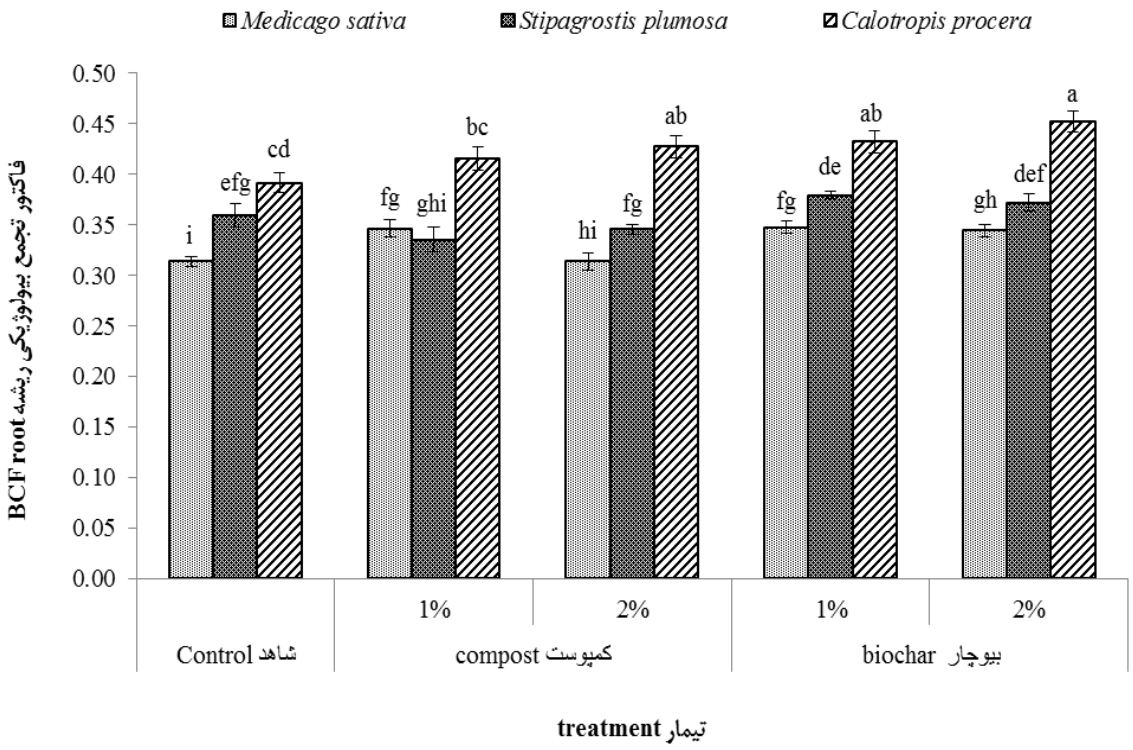
ارزیابی BCFroot نیکل

نتایج نشان داد اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر BCFroot (فاکتور تجمع بیولوژیکی ریشه) معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین مقدار BCFroot در گونه *C. procera* و تیمار بیوچار ۲ درصد و کمترین مقدار BCFroot در گونه *M. sativa* و تیمار شاهد است (شکل ۲).



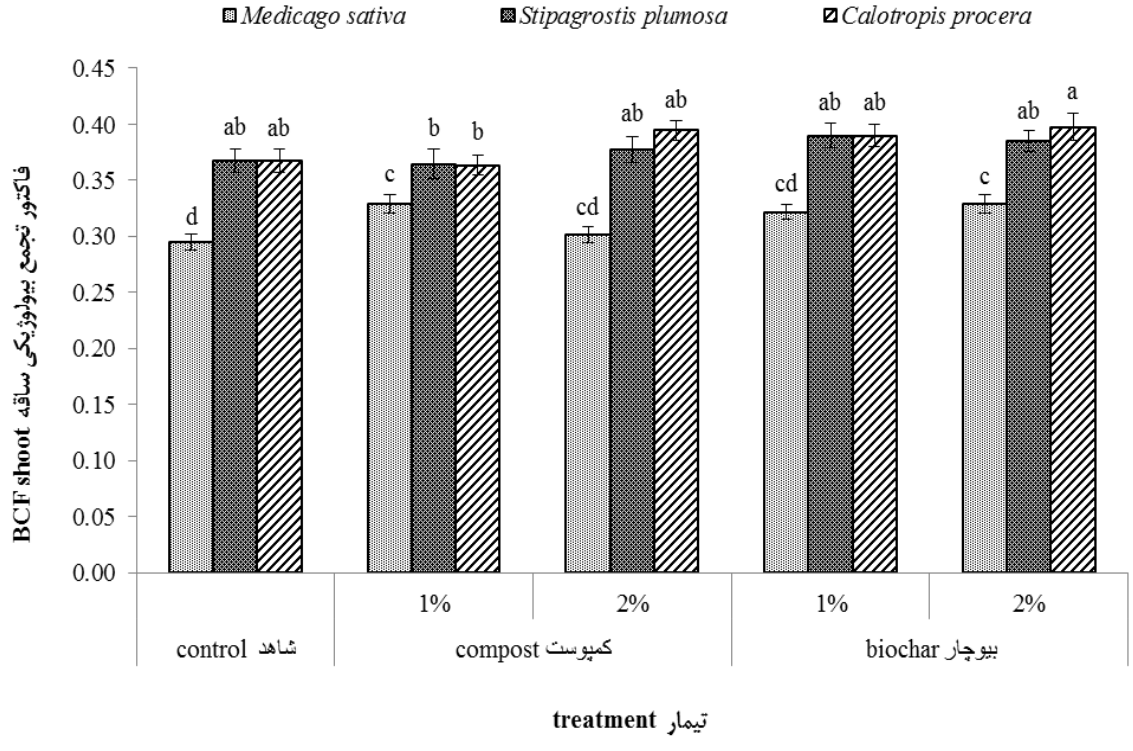
شکل۱ – مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر مقدار شاخص TF نیکل.

Fig. 1- Mean comparison the effect of interaction (biochar and compost) species and treatment on amount of Ni TF.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر مقدار شاخص BCFroot نیکل.

Fig. 2- Mean comparison the effect of interaction (biochar and compost) species and treatment on amount of Ni BCFroot.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر مقدار شاخص BCFshoot نیکل.

Fig. 3- Mean comparison the effect of interaction (biochar and compost) species and treatment on amount of Ni BCFshoot.

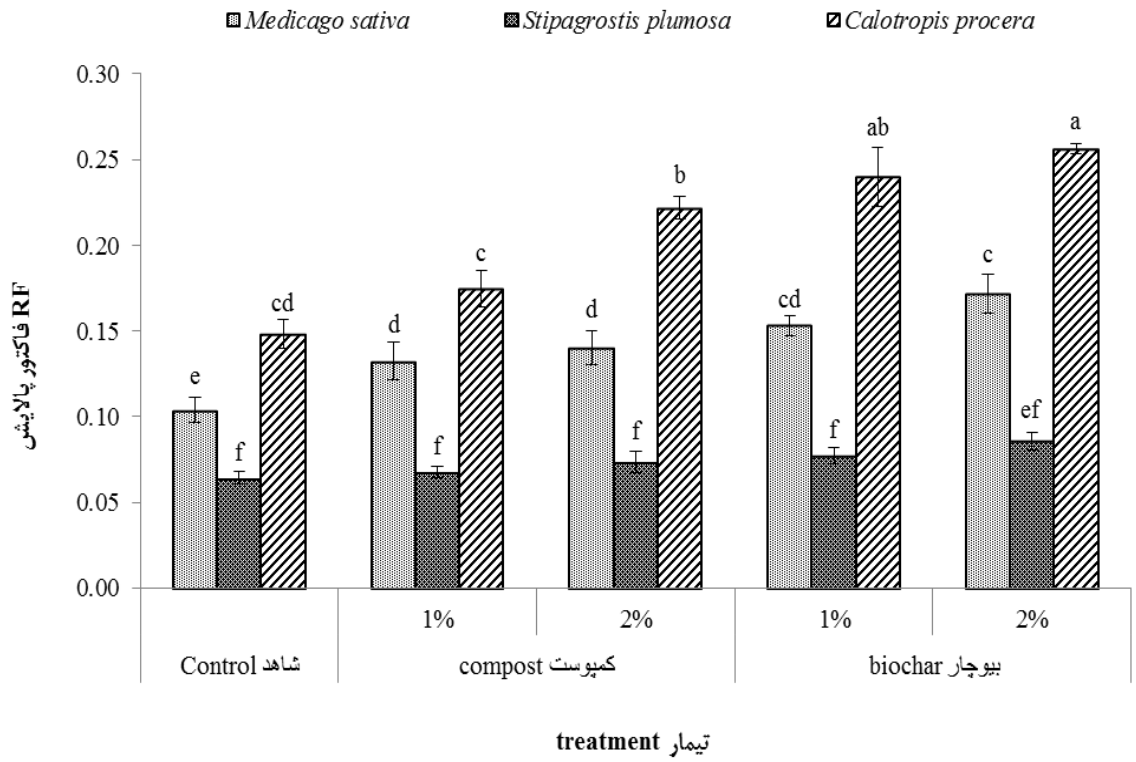
ارزیابی BCFshoot نیکل

اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) برمقدار BCFshoot معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین مقدار BCFshoot در گونه *C. procera* و تیمار بیوچار ۲ درصد و کمترین مقدار BCFshoot در گونه *M. sativa* و تیمار شاهد بود (شکل ۳).

ارزیابی RF نیکل

اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) برمقدار RF (فاکتور پالایش) معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین مقدار RF در گونه *C. procera* و تیمار بیوچار ۲ درصد و کمترین مقدار RF در گونه *S. plumosa* و تیمار شاهد بود (شکل ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد مقدار RF نیکل در گونه *C. procera* بیشترین و در گونه *S. plumosa* کمترین مقدار را دارا بود. اثر تیمار (بیوچار و کمپوست) بر مقدار RF نیکل معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین مقدار RF نیکل مربوط به تیمار بیوچار ۲ درصد و کمترین مقدار RF نیکل مربوط به تیمار شاهد است. بر اساس میزان RF، گونه‌های مورد بررسی به ترتیب شامل *S. plumosa* < *M. sativa* < *C. procera* بودند. گونه *C. procera* توانایی بیشتری در استخراج نیکل از خاک دارد. بالاترین مقدار RF نیکل استخراج‌شده در تیمار بیوچار ۱ و ۲ درصد بود. از آنجاکه که بیوچار باعث افزایش زی‌توده هوایی گیاه و از طرفی باعث مقدار فلز بیشتر در اندام‌های هوایی شده است، بنابراین مقدار RF نیکل در تیمار بیوچار افزایش داشته و بالاترین مقدار را داشت. از جمله بررسی‌هایی که در این راستا انجام شده و نتایج تحقیق حاضر با آنها مطابقت دارد می‌توان به گزارشات Alahdadi *et al* (2011)، Moslehi *et al.* (2014) و Fellet *et al.* (2011) اشاره کرد. Rezaeian (2013) اظهار داشت که تلقیح مایکوریزای همراه با کاربرد بیوچار در افزایش خاصیت گیاه‌پالایی نعنافلفلی نقش موثری ایفا می‌کند.

از آنجاکه که بیوچار باعث افزایش زی‌توده هوایی گیاه و از طرفی باعث مقدار فلز بیشتر در اندام‌های هوایی شده است، بنابراین مقدار RF نیکل در تیمار بیوچار افزایش داشته و بالاترین مقدار را دارا بود. در این ارتباط Wang *et al.* (2011) بیان می‌کنند که بیوچار میل به جذب قوی فلزات سنگین دارد. علاوه بر این، بیوچار پیرولیتی توانایی و ظرفیت بالایی برای جذب مس، سرب و کادمیم از محلول‌های آبی و خاک دارد.



شکل ۴-مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر مقدار شاخص RF نیکل.

Fig. 4- Mean comparison the effect of interaction (biochar and compost) species and treatment on amount of Ni RF.

جدول ۲-تجزیه واریانس اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر فاکتورهای TF، BCFroot، BCFshoot و RF نیکل.

Table 2. ANOVA table of F values for the effects of species and treatments and their interaction on TF, BCFroot, BCFshoot and RF.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	متغیر variable	میانگین مربعات Mean Square	F	P
گونه species	2	فاکتور انتقال (TF) translocation factors	0.147**	57.50	< 0.0001
تیمار treatment	4		0.003 ns	1.56	0.197
گونه × تیمار treatment ×species	8		0.003 ns	1.30	0.258
خطا error	60		0.002		
کل Total	74				
ضریب تغییرات % CV	5.22				
گونه species	2	BCFroot	0.054**	135.31	< ۰,۰۰۰۱
تیمار treatment	4		0.003**	9.05	< 0.0001
گونه × تیمار treatment ×species	8		0.001**	2.69	0.01
خطا error	60		0.000		
کل Total	74				
ضریب تغییرات % CV	5.40				
گونه species	2	BCFshoot	0.034**	72.89	< 0.0001
تیمار treatment	4		0.001 **	4.07	0.005
گونه × تیمار species × treatment	8		0.000 ns	1.42	0.207
خطا error	60		0.000		
کل Total	74				
ضریب تغییرات % CV	6.04				
گونه species	2	RF	0.113**	318.43	< 0.0001
تیمار treatment	4		0.010 **	28.79	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		0.001 **	4.93	0.0001
خطا error	60		0.000		
کل Total	74				
ضریب تغییرات % CV	13.45				

ns: غیرمعنی‌دار *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

*; **; p <0.05, p <0.01, ns not significant.

** TF (فاکتور انتقال)، BCFroot (فاکتور تجمع بیولوژیکی ریشه)، BCFshoot (فاکتور تجمع بیولوژیکی ساقه)، RF (فاکتور پالایش)

ارزیابی تاثیر تیمارها بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج نشان داد کاربرد تیمارهای بیوچار و کمپوست زباله شهری باعث افزایش میزان pH و هدایت الکتریکی خاک محیط کشت گونه‌های گیاهی نسبت به شاهد شد. نتایج نشان داد تیمار بیوچار ۲ درصد دارای بالاترین مقادیر نیتروژن، پتاسیم و فسفر بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار کمپوست ۲ درصد دارای بیشترین درصد کربن آلی خاک و تیمار شاهد دارای کمترین درصد کربن آلی خاک بود. بیشترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمار بیوچار ۲ درصد و کمترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمار شاهد بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد استفاده از تیمارهای کمپوست و بیوچار باعث افزایش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت به شاهد شد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار بیوچار ۲ درصد به‌طور معنی‌داری بیشترین و تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کمترین مقدار pH و هدایت الکتریکی خاک را دارا بودند. به طور کلی تیمارهای به‌کاررفته (بیوچار و کمپوست) باعث افزایش مقدار pH و هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد شده‌اند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد 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 است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار بیوچار ۲ درصد دارای بیشترین مقدار پتاسیم و تیمار شاهد دارای کمترین مقدار پتاسیم است. اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر مقدار فسفر خاک معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار بیوچار ۲ درصد دارای بیشترین مقدار فسفر و تیمار شاهد دارای کمترین مقدار فسفر است. به‌طور کلی تیمار بیوچار ۲ درصد دارای بالاترین مقادیر نیتروژن، پتاسیم و فسفر بود. اثر متقابل گونه و تیمار بر مقدار درصد کربن آلی خاک معنی‌دار بود. اثر تیمار بر مقدار کربن آلی معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار کمپوست ۲ درصد دارای بیشترین درصد کربن آلی خاک و تیمار شاهد دارای کمترین درصد کربن آلی خاک بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمار بیوچار ۲ درصد و کمترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمار شاهد بود (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد کمپوست زباله شهری و بیوچار 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 آلاینده‌ها نسبت به شاهد شده است. نتایج تحقیق حاضر با نتایج Moslehi *et al.* (2015) و Nascimento *et al.* (2006) هم‌خوانی دارد. Nascimento *et al.* (2006) گزارش کردند که کاربرد اسیدهای آلی باعث افزایش رشد و بیومس گیاهی شده و مقدار جذب را افزایش داد. مواد آلی موجود در کمپوست زباله شهری نیز با گروه‌های کربوکسیل خود می‌تواند تشکیل کلات‌هایی قوی با فلزات سنگین داده و باعث تغییر فراهمی فلزات سنگین در خاک شوند.

تاثیر تیمارها بر خصوصیات مورفولوژیک گونه‌های گیاهی

با توجه به تفاوت رشدی در بین گونه‌های گیاهی مورد بررسی (یونجه، استبرق و سبط)، فاکتورهای مورفولوژی (طول ریشه، طول ساقه و ...) برای یکسان‌سازی تیمارها نسبت به شاهد در هر گونه تبدیل به درصد شد به‌طوری‌که در هر گونه در تیمار شاهد معادل ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد و سایر تیمارها نسبت به شاهد مقایسه شد. اگر عدد بالای ۱۰۰ درصد بود میزان درصد افزایش نسبت به شاهد را نشان می‌دهد و اگر عدد کمتر از ۱۰۰ درصد بود میزان کاهش را نسبت به شاهد نشان می‌دهد.

طول ساقه

اثر متقابل گونه و تیمار (فاکتورهای اصلاح‌کننده) بر طول ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین طول ساقه در گیاه *C. procera* و تیمار بیوچار ۲ درصد، و کمترین مقدار طول ساقه در گیاه *S. plumosa* و تیمار شاهد مشاهده شد.

طول ریشه

اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) در سطح ۵ درصد بر طول ریشه معنی‌دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین طول ریشه در گیاه *S. plumosa* و تیمار بیوچار ۱ درصد مشاهده شد.

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر برخی خصوصیات خاک.

Table 3. ANOVA table of F values for the effects of species and treatments and their interaction on soil characteristics.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	متغیر variable	میانگین مربعات Mean Square	F	P
گونه species	2	pH	0.087**	29.84	< 0.0001
تیمار treatment	4		0.474**	162.77	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		0.019*	6.38	< 0.0001
خطا error	60		0.003		
ضریب تغییرات CV %	0.72				
گونه species	2	قابلیت هدایت الکتریکی EC	0.241**	43.76	< 0.0001
تیمار treatment	4		0.206**	37.41	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		0.014**	2.60	0.016
خطا error	60		0.006		
ضریب تغییرات CV %	2.92				
گونه species	2	نیتروژن N	0.019**	17.44	< 0.0001
تیمار treatment	4		0.012**	11.29	< 0.0001
گونه × تیمار species×treatment	8		0.0006 ns	0.55	0.815
خطا error	60		0.001		
ضریب تغییرات CV %	10.12				
گونه species	2	پتاسیم K	24580.05**	157.62	< 0.0001
تیمار treatment	4		4530.29**	29.05	< 0.0001
گونه ×تیمار species ×treatment	8		686.37**	4.40	0.0003
خطا error	60		155.94		
ضریب تغییرات CV %	6.14				
گونه species	2	فسفر P	32.06 ns	1.62	0.2073
تیمار treatment	4		227.65**	11.47	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		10.38 ns	0.52	0.8344
خطا error	60		19.85		
ضریب تغییرات CV %	13.70				
گونه species	2	کربن آلی OC	0.253**	60.34	< 0.0001
تیمار treatment	4		0.795**	189.65	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		0.028**	6.71	< 0.0001
خطا error	60		0.004		
ضریب تغییرات CV %	1.83				
گونه species	2	ظرفیت تبادلی کاتیونی CEC	7.79**	11.33	< 0.0001
تیمار treatment	4		32.11**	46.68	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		0.619 ns	0.90	0.5229
خطا error	60		0.688		
ضریب تغییرات CV %	4.96				

ns: غیرمعنی‌دار *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

*; **; p <0.05, p <0.01, ns not significant.

حجم ریشه

تاثیر گونه‌های گیاهی و تیمار (فاکتورهای اصلاح‌کننده) در سطح ۱ درصد بر حجم ریشه معنی‌دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان حجم ریشه مربوط به گونه‌های *M. sativa* و *C. procera* و تیمار بیوچار ۱ و ۲ درصد بود.

وزن خشک شاخساره

اثر متقابل گونه و تیمار بر وزن خشک شاخساره در سطح ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین وزن خشک شاخساره مربوط به گیاه *C. procera* و تیمار بیوچار ۲ درصد است.

وزن خشک ریشه

نتایج نشان داد اثر گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر وزن خشک اندام‌های زیرزمینی معنی‌دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین وزن خشک اندام‌های زیرزمینی در گیاه *S. plumosa* و تیمار بیوچار ۲ درصد و کمترین وزن خشک اندام‌های زیرزمینی در گونه‌های *M. sativa*، *C. procera* و *S. plumosa* تیمار شاهد مشاهده شد.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثرمتقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر خصوصیات مورفولوژیکی گونه‌های گیاهی.

Table 4. ANOVA table of F values for the effects of species and treatments and their interaction on plant species morphological characteristics.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	متغیر variable	میانگین مربعات Mean Square	F	P
گونه species	2	طول ریشه Root length	4751.64**	21.00	< 0.0001
تیمار treatment	4		5251.24**	23.21	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		483.63*	2.14	0.0457
خطا error	60		226.24		
ضریب تغییرات % CV	12.05				
گونه species	2	طول ساقه stem length	3533.05**	15.03	< 0.0001
تیمار treatment	4		4748.73**	20.20	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		493.47 *	2.10	0.498
خطا error	60		235.12		
ضریب تغییرات % CV	12.42				
گونه species	2	حجم ریشه root volume	2153.74**	6.50	0.0028
تیمار treatment	4		5601.07**	16.89	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		735.25*	2.22	0.0384
خطا error	60		331.56		
ضریب تغییرات (% CV)	14.84				
گونه species	2	وزن خشک ریشه root dry weight	3820.87 **	16.59	< 0.0001
تیمار treatment	4		4909.50**	21.32	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		507.81 *	2.21	0.0394
خطا error	60		230.26		
ضریب تغییرات % CV	12.21				
گونه species	2	وزن خشک شاخساره shoot dry weight	3239.96 **	21.16	< 0.0001
تیمار treatment	4		4874.84**	31.83	< 0.0001
گونه × تیمار species × treatment	8		330.49 *	2.16	0.0483
خطا error	60		153.14		
ضریب تغییرات % CV	9.94				

ns: غیرمعنی‌دار *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

*; **; $p < 0.05$, $p < 0.01$, ns not significant.

نتایج اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) بر ویژگی‌های طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن کل خشک گیاهان معنی‌دار شد. تیمارهای (بیوچار و کمپوست) استفاده‌شده در تحقیق حاضر باعث افزایش طول ساقه، طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن کل خشک نسبت به تیمار شاهد شدند. به‌طورکلی تیمار بیوچار ۲ درصد دارای بیشترین طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن کل خشک بود. در مورد طول ساقه اگرچه اثر متقابل گونه و تیمار (بیوچار و کمپوست) معنی‌دار نشد ولی مقدار طول ساقه در تیمار بیوچار ۲ درصد بیشترین مقدار طول ساقه را دارا بود (هم‌خوانی با نتایج Alahdadi *et al.* (2011)؛ Rezaeian (2013) *et al.* (2015) Moslehi). در همین راستا، Alahdadi *et al.* (2011) در بررسی تاثیر کاربرد مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری بر خصوصیات و غلظت عناصر غذایی خاک و رشد و عملکرد نشان دادند که در مجموع خصوصیات خاک و رشد و عملکرد گیاه ذرت با افزایش میزان مصرف کمپوست بهبود پیدا کرد. Rezaeian (2013) گزارش داد کاربرد بیوچار به‌طور معنی‌دار سبب افزایش وزن خشک ریشه شد. Walker *et al.* (2003) تاثیر اصلاح‌کننده‌های خاک مانند کمپوست و EDTA (اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید) را بر قابلیت دسترسی فلزات سنگین توسط دو گیاه اسفناج و تربچه در خاک‌های آلوده و غیرآلوده مدیترانه‌ای بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بیشترین وزن خشک هوایی تیمارها در هر دو عنصر سرب و کادمیم، در تیمار کمپوست و فاقد آلودگی مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج نشان داد توانایی گیاهان مورد بررسی برای تجمع نیکل به‌ترتیب مربوط به *S. plumosa* < *C. procera* < *M. sativa* بود. گونه *S. plumosa* می‌تواند طی عمل گیاه‌استخراجی باعث جذب و استخراج نیکل از خاک شود. بر اساس نتایج حاصله از تحقیق حاضر، مشخص شد کمپوست زباله شهری و بیوچار باعث افزایش گیاه‌پالایی فلزات سنگین سرب و نیکل می‌شود. نتایج نشان داد بیشترین مقدار RF (فاکتور پالایش) برای فلز نیکل در گونه *C. procera* و تیمار بیوچار ۱ و ۲ درصد و کمترین مقدار RF در گونه *S. plumosa* و تیمار شاهد بود. مقدار RF استخراج‌شده در تیمار بیوچار و کمپوست نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود، بالاترین مقدار RF استخراج‌شده در تیمار بیوچار ۱ و ۲ درصد بود. از آنجاکه که بیوچار باعث افزایش زی‌توده هوایی گیاه و از طرفی باعث مقدار فلز بیشتر در اندام‌های هوایی شده است، بنابراین مقدار RF در تیمار بیوچار افزایش داشته و بالاترین مقدار را دارا بود. به‌عبارتی در تحقیق حاضر، بهترین تیمار، تیمار بیوچار ۲ درصد معرفی می‌شود.

به‌طور کلی استفاده از اصلاح‌کننده‌های بستر کاشت شامل کمپوست و بیوچار جهت ارتقاء گیاه‌پالایی هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین بررسی شد. کمپوست و بیوچار با فراهم نمودن شرایط بهینه رشد برای گیاه، به جذب آلاینده‌ها توسط گیاه و در نهایت به ارتقاء فرایند گیاه‌پالایی کمک کردند. با توجه به تنوع گونه‌های گیاهی در ایران و آلودگی مناطق مختلف به ترکیبات نفتی، استفاده از گیاه پالایی می‌تواند به عنوان یک راهکار موثر و کاربردی در زیست‌پالایی خاک‌های آلوده مطرح شود.

پی‌نوشت‌ها

[1] diethylenetriaminepentaacetic acid
[2] Translocation Factor
[3] Bio Concentration Factor root
[4] Bio Concentration Factor shoot
[5] Remediation Factor

منابع

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.

Alahdadi, A., Memari, A., Akbari, GH. and Lotfifar, A., 2011. Impact of application of the different rates of urban waste compost on characteristics and concentration soil nutrient elements and growth and yield of Zea mays. Plant Productions Technology. 11(1). (In Persian with English abstract).

Alsagh, A. and Barmaki, M., 2013. Analysis and measurement of heavy metals contaminations in Persian gulf sediments. Environment Technology and Sciences. (15) 3. (In Persian with English abstract).

APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington.19 Pp.

Balakram, M. and Chauhan, J.S., 2005. Mapping cultivable lands in Bikaner district of arid Rajasthan for sustainable use and development. Central Arid zone Research Institute. Jodhpur.

Du Laing, G., Tack, F.M.G. and Verloo, M.G., 2003. Performance of selected destruction methods for the determination of heavy metals in reed plants Phragmites australis. Analytica Chimica Acta. 49, 191–198.

Ebrahimi, M., Jafari, M., Savaghebi, Gh.R., Azarnivand, H., Tavili, A. and Madrid, F., 2014. Investigation of heavy metals accumulation in plants growingin contaminated soils (Case study: Qazvin province, Iran). Journal of Rangeland Science. 4(2), 30-43. (In Persian with English abstract).

Fellet, G., Marchiol, L., Delle Vedove, G. and Peressotti, A., 2011. Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation. Chemosphere. 83, 1262-1297.

Ghodosi, J., 2005. Cause of desertification. Journal of natural resources, 66-67 Pp.(In Persian).

Jafari Haghighi, M., 2003. Methods of sampling and analysis of soil physical and chemical analysis with emphasis on theory and practical importance. Press Neda Zoha. 236 p.(In Persian).

Karimi, H., 1990. Alfa alfa. Markaz Nashar University Publishing, Tehran, Iran.

Khan, A.G., 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 18(4), 355-364.

Kiarostami, Kh. Ghafari Rahbar, F. and Shirdom, R., 2013. Study of the function and alteration of plants root in the oil contaminated soils. Journal of Plant Research (Bilogy). 26(4), 500-509. (In Persian with English abstract).

Loghman, H., 1997. Landscaping of roads and highways using rainwater systems and the plants resistant to drought levels. Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Ministry of Jihad. 232 p.

Mansouri, F., Danekar, A. and Khorasani, N., 2015. Investigation of the ability to lead and nickel metals accumulation in roots and leaves in cultivated communities mangroves (Avicennia marina) in Bandar Imam. Journal of Environment and Natural Resources. 68(1), 119-128. (In Persian with English abstract).

Meinz, V., 2007. Used oil characterization study. Washington. 98, 504-871.

Moameri, M., Jafari, M., Tavili, A., Motasharezadeh, B. and Zare Chahuki, M., 2015. Assesment of potential A of rangeland plant for phytoremediation contaminated soils with Zn and Pb (Case study: rangeland ground of Zn and Pb Zanjan). Journal of Rangeland Science. 9(1), 29-41. (In Persian with English abstract).

Moslehi, T., Fazeian, M. and Sohrabi, A., 2015. Effects of municipal waste compost and EDTA on phytoremediation of cadmium from the soil. In Proceedings 1st International Conference on Environmental Engineering, January 29, Tehran, center strategies to achieve sustainable development. 10 p. (In Persian with English abstract).

Evaluation of the phyto-remediation of rangeland plants in soils contaminated with petroleum, with an emphasis on heavy metal Ni

Esfandiar Jahantab[1*], Mohamad Jafari[1], Babak Motasharezadeh[2], Ali Tavili[1] and Nosratallah Zargham [3]

[1] Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran
[2] Department of Sciences and Soil Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Iran
[3] Department of forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

Received: February 13, 2016 Accepted: November 12, 2016

Citation: Jahantab, A., Jafari, M. Motasharezadeh, B. Tavili, A. and Zargham, N., 2016. Evaluation of the phyto-remediation of rangeland plants in soils contaminated with petroleum, with an emphasis on heavy metal Ni. Environmental Sciences. 14(3),107-122.

Introduction: Increasing pollution in water and soil has caused large environmental problems. The contamination of soil and water resources with various organic and inorganic compounds is important because of the close relationship between living organisms and nutrition, in terms both of environmental and human health, due to their direct involvement in supplying food for living organisms. This study was done with the purpose of introducing and investigating rangeland plants, namely *Stipagrostis plumosa*, *Calotropis procera* and *Medicago sativa*, under two types of treatments - urban waste compost and biochar - at three levels (0, 1 and 2 percentage) under greenhouse conditions for the remediation of contaminated soils with heavy metal Ni.

Materials and methods: The soils used in this study were collected from the traditional petroleum-contaminated Pazanan in Gachsaran. This experiment was conducted in a completely randomized design with 5 replications. After a six-month planting period, the aerial and underground parts of plants have collected and some soil important characteristics and plant morphological properties and metals were measured. ICP-OES was used for Ni measurement. For statistical analysis of the measured data, an analysis of variance was applied using SPSS software with comparison of data from the Duncan test. The translocation factor, remediation factor and biological aggregation factor were all addressed for assessment of the plants' potential.

Results and discussion: Results showed that the amount of TF Ni in *S. plumose* was greater and the translocation factor higher than one and significantly greater than for *C. procera* and *M.sativa*. According to this result, the amount of TF in *S. plumosa* is greater than one, as *S. plumosa* with phyto-extraction can be attracted during the procedure and the extraction of nickel from the soil. *C. procera* had the highest RF for nickel under the biochar 1 and 2 percentage treatment with a rate of 0.08, when the least amount of RF was found for *S. plumosa* and the control sample with rate 0.02. Results showed that Biochar and urban waste compost treatments increase both soil pH and EC compared to the control treatment. The results indicated that biochar 2 % has the highest amounts of nitrogen, potassium and phosphorus among all treatments. Mean comparison showed that the 2% urban waste compost treatment had the highest percentage of organic carbon and the control treatment showed the lowest percentage of soil organic carbon. Mean comparison indicated that CEC in the biochar 2 % treatment was the highest and in the control treatment was the lowest. The results indicated that the effects of treatments on morphological characteristics are significant, the treatments used in this study having increased the stem length, root length, root volume, root dry weight, shoot dry weight and total dry weight compared to the control treatment. Generally speaking, the biochar 2 % treatment led to the highest root length, stem length, root volume, root dry weight, shoot dry weight and total dry weight.

Conclusion: Generally, *S. plumosa* is an appropriate plant for absorbing and extracting Ni through phyto-extraction, while the biochar 2% treatment demonstrated the highest effect on promoting the phyto-remediation of Ni. Therefore, according to these results, *S. plumosa* is an appropriate plant for Ni remediation in soils contaminated by petroleum products.

Keywords: Ni, Biochar, Urban waste compost, *Calotropis procera*, *Stipagrostis plumose*, *Medicago sativa*.

[*] Corresponding Author. *E-mail Address*: E.jahantab@ut.ac.ir