



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفظ و احیا"

دوره ششم، شماره دوازدهم، بهار و تابستان ۹۷

<http://pec.gonbad.ac.ir>

تأثیر بیوچار و کمپوست زباله شهری بر گیاه‌پالایی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های کل نفتی (TPH) خاک بهو سیله‌ی کنار-*Ziziphus spina-christi* (L.) Willd

هدی آبو عبادی^۱، مصطفی مرادی^{۲*}، اسفندیار جهانتاب^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء، بهبهان، بهبهان

^۲ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء، بهبهان، بهبهان

^۳ استادیار گروه علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه فسا، فسا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۹

چکیده

آبودن آب و خاک به ترکیبات نفتی بدليل سMI و سرطان‌زا بودن آن‌ها بسیار مهم است. هدف این پژوهش بررسی تأثیر بیوچار (زغال زیستی) و کمپوست زباله شهری بر گیاه‌پالایی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های کل نفتی (TPH) خاک توسط گونه کنار *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd است. برای انجام این تحقیق از نهال‌های یکساله کنار و تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوچار در سطوح صفر، یک و دو درصد استفاده شد. آزمایشات در سه تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. جهت تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات از آزمون تجزیه واریانس و آزمون دانکن در محیط SPSS استفاده شد. نتایج نشان داد اثر تیمارهای بیوچار و کمپوست زباله شهری بر مقدار هیدروکربن‌های نفتی خاک معنی‌دار بود و باعث کاهش میزان آلاینده‌ها شده‌اند. نتایج حاصل از بررسی اثر تیمارها بر مقدار هیدروکربن‌های نفتی خاک نشان داد که بیشترین مقدار هیدروکربن‌های خاک مربوط به تیمار شاهد بدون کنار و کمترین مقدار هیدروکربن‌های خاک مربوط به تیمار کمپوست دو درصد بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد؛ غلطت نیکل خاک در تیمار

*نویسنده مسئول: moradi4@gmail.com

بیوچار یک درصد از سایر تیمارها می‌باشد، بیشترین مقدار نیکل مربوط به تیمار شاهد بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد غلظت وانادیم خاک در تیمار کمپوست یک درصد کمتر از سایر تیمارها می‌باشد، در حالی که بیشترین مقدار وانادیم مربوط به تیمار شاهد بدون کنار بود. نتایج این تحقیق نشان از اهمیت بیوچار و کمپوست در بهبود خواص گیاه‌پالایی کنار در خاک‌های آلوده نفتی است.

واژه‌های کلیدی: هیدروکربن‌های کل نفتی، فلزات سنگین، کنار، کمپوست، بیوچار، گیاه‌پالایی

مقدمه

آلوده شدن منابع آب و خاک به ترکیبات مختلف آلی و معدنی، از نظر جنبه‌های زیست محیطی و سلامت انسان بسیار حائز اهمیت است (Nascimento *et al.*, 2006). مواد نفتی می‌توانند از طریق نشت از مخازن زیرزمینی، پالایشگاه‌ها و غیره وارد محیط خاک و در نهایت آب شده و باعث آلودگی محیط‌زیست می‌گردند. وجود این مواد نفتی در محیط‌زیست و چرخه‌های غذایی و آب منجر به بروز انواع سلطان می‌گردد، چرا که حاوی هزاران هیدروکربن آلی است که سلطان‌زایی بسیاری از آن‌ها به اثبات رسیده است (Gustafson, 1997). هیدروکربن‌های کل نفتی (Total petroleum hydrocarbon, TPH) از جمله آلاینده‌های زیستی می‌باشند که از طریق پالایشگاه‌های نفت و گاز وارد خاک و در نهایت آب‌های زیرزمینی می‌شود. بنابراین همواره تلاش محققین بر این بوده تا به نوعی این آلاینده‌ها را از محیط‌زیست حذف کنند.

فناوری استفاده از گیاهان برای استخراج، کاهش و یا محدود کردن انتقال آلاینده‌ها به خاک و آب راه‌کاری ارزان قیمت و دوستدار محیط‌زیست می‌باشد. گیاه‌پالایی یک فناوری نوین است که با استفاده از گیاهان برای جذب، جمع‌آوری و رفع آلاینده‌ها در بستر رشد از طریق فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به‌طور گسترش عمل می‌کند. گیاهانی که قادر به تحمل آلاینده‌های نفتی هستند سرعت پالایش زیستی را در مناطق آلوده افزایش می‌دهد و از پیامدهای منفی زیست محیطی می‌کاهد. همچنین محققین گیاهانی مانند *Sinapis arvensis*, *Calotropis procera*, *Stipagrostis plomusa* و *Acacia nilotica* را عنوان انباستگر آلاینده‌های نفتی در مناطق آلوده نفت‌خیز معرفی نموده‌اند (جهانتاب و همکاران، ۱۳۹۵). علاوه بر این رضازاده کته‌سری و فتوحی قزوینی (۱۳۹۰) گیاه آکاسیا (Acacia nilotica) را به‌دلیل تحمل نسبی به پساب‌های نفتی جهت مطالعات بعدی گیاه پالایی به‌منظور یافتن راه‌کارهای

استقرار بهتر گیاه و افزایش کارایی گیاه پالایی پیشنهاد دادند که نشان‌دهنده اهمیت و نقش گیاهان در کاهش آلودگی محیط می‌باشد. کنار (*Ziziphus spina-christi*) نیز به عنوان گونه‌ای بردار در مناطق آلوده معرفی شده است (فیاض و باقری پور، ۱۳۹۵). کنار بومی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است (مظفریان، ۱۳۸۳) و درختی خاردار، همیشه سبز و دیرزیست می‌باشد. ارتفاع آن به ۱۰ متر می‌رسد و در مناطق مرطوب، همیشه سبز است. این درخت در مکان‌های پست، خشک و مرطوب، تراس رودخانه‌ها و حاشیه مزارع قادر به رشد می‌باشد و در خاک‌های آبرفتی دانه درشت با بافت سبک رشد بهتری دارد (Sadeghi, 2011). دارای ریشه‌های عمیق به منظور دست‌یابی به منابع آب‌های زیرزمینی عمیق در فصول خشک که لایه سطحی خشک است می‌باشد (Depommier, 1988). همچنین این درخت بهدلیل داشتن ژن‌های مفید مانند ژن‌های مقاومت به استرس‌های زنده و غیر زنده از اهمیت بالایی برخوردار است (Abdmishani and Shahnegat-Bushehri, 2001).

اما امروزه برای کاهش اثرات منفی آلاینده‌ها در کنار گیاه‌پالایی، از دیگر فرآیندها نیز استفاده می‌شود. از جمله این فرآیندها برای افزایش کارایی گیاه پالایی، استفاده از کودهای زیستی و آلی می‌باشد. استفاده از کودهای آلی به عنوان تیمار در خاک‌های آلوده سبب کاهش تحرک فلزات سنگین شده اما بهدلیل افزایش زیست‌توده گیاه، موجب تجمع بیشتر فلزات در اندام‌های هوایی گیاه می‌شود (Yang, 2005). از جمله کودهای آلی می‌توان به کمپوست که نوعی کود آلی هوایی حاصل از فعالیت گونه‌هایی از کرم خاکی است و بیوچار که نوعی زغال تهیه شده از زیست‌توده گیاهی و بقایای کشاورزی است، اشاره کرد (Ahmad et al., 2012).

تحقیقات نشان داده که برخی گونه‌ها مثل *Populus nigra* می‌تواند باعث کاهش ۸۰ درصدی میزان هیدروکربن‌های نفتی خاک (Don et al., 2012) شود؛ اما استفاده از تیمارهای اصلاح‌کننده مثل کمپوست و بیوچار می‌تواند باعث افزایش گیاه‌پالایی فلز سنگین نیکل (جهانتاب و همکاران، ۱۳۹۵) و همچنین کاهش هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی خاک شود (Feng et al., 2014)؛ که نشان‌دهنده اهمیت بیوچار و کمپوست به عنوان عوامل کمکی در جهت افزایش قدرت گیاه‌پالایی گیاهان می‌باشد (Barati et al., 2017; Oliveira et al., 2017). بعلاوه حذف هیدروکربن‌های کل نفتی به وسیله گیاه *Vetiveria zizanoides* و جمعیت میکروبی خاک در خاک‌های آلوده به نفت در

اهواز نیز مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج مشخص کرده است که *V. zizanioides* توپایی بسیاری بالایی در حذف هیدروکربن‌های کل نفتی دارد (کردانی و تکدستان، ۱۳۹۴).

بسیاری از مناطق کشورمان به خصوص مناطق جنوبی از قطب‌های مهم نفتی خاورمیانه محسوب می‌شوند. بنابراین چنین مناطقی این پتانسیل را دارند که هر ساله حجم وسیعی از آلاینده‌های بالقوه سمی و خطرناک را به محیط‌زیست وارد کنند که منجر به تحمیل آثار سوئی بر پیکره‌ی زیست بوم می‌شود. از طرفی در چنین مناطقی استفاده از روش‌های کم هزینه و سازگار با محیط‌زیست در رفع آلودگی‌ها کمتر پرداخته شده است. لذا، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر بیوچار و کمپوست زباله شهری بر گیاه‌پالایی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های کل نفتی (TPH) خاک توسط گونه کنار *Z. spina-christi* نجام شد.

مواد و روش

خاک مورد استفاده در کشت گلدانی، خاک آلوده به سلح نفتی می‌باشد که از منطقه چوب سرخ روستایی از دهستان تل بزان مسجد سلیمان، واقع در ۵/۵ کیلومتری و ۰°۵۰'۳۱" شمالی و ۱۲°۴۹'۲۲" شرقی مسجد سلیمان جمع‌آوری شد. این محل یکی از مکان‌های انباشت لجن‌های نفتی واحد شماره ۹ شرکت بهره‌برداری نفت و گاز مسجد سلیمان می‌باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق در جدول شماره ۱ آورده شده است. برای اعمال تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوچار کمپوست زباله شهری، کمپوست و بیوچار در سه سطح صفر، ۱ و ۲ درصد به صورت وزنی به خاک‌ها اضافه شدند. در جدول ۲ مشخصات کمپوست و بیوچار استفاده شده در تحقیق ارائه شده است. همچنین در کنار تیمار شاهد با گونه کنار (تیماری که کمپوست و بیوچار صفر درصد بود)، تیمار شاهد بدون گونه کنار (بدون گیاه) نیز بررسی شد.

برای انجام این تحقیق از نهال‌های یکساله گونه کنار استفاده شد. نهال‌های کنار در معرض تیمارهای ذکر شده در بالا قرار گرفتند و بعد از پایان دوره رشد گیاه (دوره ۶ ماهه)، از خاک گلدان‌ها نمونه‌برداری و فاکتورهای موردنظر بهمنظور تعیین تأثیر گیاه و تیمارهای اصلاح‌کننده بر روی هیدروکربن‌های کل نفتی و فلزات سنگین نیکل و وانادیم بررسی شد. برای نمونه‌برداری همه خاک گلدان خارج شد و سپس از هر گلدان به صورت جداگانه نمونه‌ها برداشت شدند.

تهیه کمپوست زباله شهری و بیوچار

نمونه‌های کمپوست زباله شهری از ایستگاه حلقه دره سازمان مدیریت پسماند شهرداری کرج تهیه شد که کمپوست مخلوط زباله تر شهری بود و رنگ قهوه‌ای تیره داشت. نمونه‌های کمپوست زباله شهری در هوای آزاد خشک شد. سپس نمونه‌ها آسیاب و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند تا به صورت یکنواخت آمده شوند. جهت تهیه بیوچار نمونه‌ها را ابتدا در داخل ظروف درب‌دار ریخته شدند. سپس به منظور ایجاد شرایط کم یا بدون اکسیژن در داخل کوره و ظروف درب‌دار، تعدادی شمع روشن کرده تا اکسیژن باقی مانده در درون کوره و ظرف تمام شود تا شرایط برای انجام فرآیند پیرولیز فراهم شود. در نهایت نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در داخل کوره قرار داده شدند تا بیوچار تهیه شود.

تعیین مقدار کل فلزات سنگین نیکل و وانادیم 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 سی‌سی اسید نیتریک ۴ نرمال اضافه شد و با دمای ۶۰ درجه به مدت ۲۰ ساعت داخل اجاق بن‌ماری قرار گرفت. سپس نمونه‌ها از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد و در بالن ۵۰ سی‌سی با آب دو بار تقطیر به حجم ۵۰ سی‌سی 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.

اندازه‌گیری هیدروکربن‌های کل نفتی (TPH) در خاک

برای اندازه‌گیری میزان هیدروکربن‌های نفتی در خاک از روش آزانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA-3550) استفاده گردید. ابتدا خاک را درون هاون کوبیده، یک گرم خاک خشک را وزن نموده، درون لوله‌های درب‌دار سانتریفیوژ ریخته، ۱۰ میلی‌لیتر محلول دی کلرومتان+استون (نسبت ۱:۱) اضافه نموده و لوله‌ها را به مدت ۴ دقیقه تکان داده و سپس آن‌ها را به مدت ۵ دقیقه با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ نموده تا رسوبات تهنشین گردند. پس از سانتریفیوژ کردن یک میلی‌لیتر از مایع

رویی را برداشت و برای اندازه‌گیری میزان ترکیبات هیدروکربنی آن مورد استفاده قرار گرفت (Minai- Tehrani *et al.*, 2006; Hutchinson *et al.*, 2001 از نوع یونیزاسیون شعله‌ای مدل 7890A Agilent، مقدار کل هیدروکربن‌ها اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- برخی از مشخصات خاک اولیه گلدان‌ها

متغیرها	میزان اندازه‌گیری
هیدروکربن‌های کل نفتی (mg/kg)(TPH)	۱۹/۷۶
(pH) اسیدیته	۷/۵
قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)EC	۲/۸۷۸
کربن آلی (درصد)	۲/۴۳
نیتروژن (N) (درصد)	۰/۱۷
(mg/kg) (K) پتاسیم	۶۰۲
(mg/kg) (P) فسفر	۹
رس (درصد)	۶
سیلت (درصد)	۲۲
شن (درصد)	۷۲
(mg/kg) نیکل کل	۲۷۰
(mg/kg) وانادیم کل	۹۰

جدول ۲- نتایج تجزیه کمپوست زباله شهری و بیوچار کمپوست زباله شهری

تجزیه و تحلیل داده‌ها

مقدار	بیوچار کمپوست زباله شهری	مقدار	کمپوست زباله شهری
۱۰/۸۱	کربن (%)	۱۶/۷۷	کربن کل (%)
۰/۷۵	نیتروژن (%)	۰/۳۵	فسفر (%)
۰/۱۹	هیدروژن (%)	۰/۶۳	پتاسیم (%)
۰/۹۲	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	۳/۶۶	هدايت الکتریکی (dS/m) (عصاره ۱:۱۰)
۹	pH	۶/۸۹	pH
۸/۲۵	هدايت الکتریکی (dS/m) (عصاره ۱:۱۰)	۹/۵	درصد رطوبت

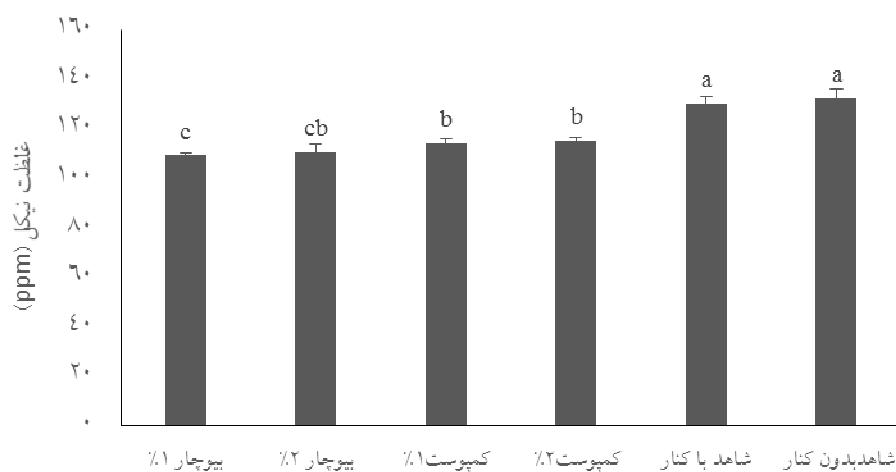
این آزمایش در سه تکرار برای هر تیمار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. کلیه داده‌های موجود با استفاده از آزمون‌های کلموگروف اسمیرنوف و لیون مورد بررسی همگنی قرار گرفتند. به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات اندازه‌گیری شده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. در صورتی که بین واریانس‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت از آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها استفاده شد. کلیه آنالیزها در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. همچنین نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ رسم شدند.

نتایج

بررسی تأثیر کاربرد تیمارهای اصلاح‌کننده بر گیاه‌پالایی فلز نیکل

نتایج نشان داد اثر تیمارهای اصلاح‌کننده (کمپوست زباله شهری و بیوچار) بر غلظت فلز نیکل خاک معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد غلظت نیکل خاک در تیمار بیوچار یک درصد کمتر از سایر تیمارها می‌باشد، بیشترین مقدار نیکل خاک مربوط به تیمارهای شاهد با گونه

کنار و شاهد بدون کنار بود (شکل ۱). با توجه به شکل ۱، بیوچار یک درصد از سایر تیمارها مناسب‌تر می‌باشد و عنصر نیکل را بیشتر جذب کرده است.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی بر روی غلظت نیکل خاک (حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد)

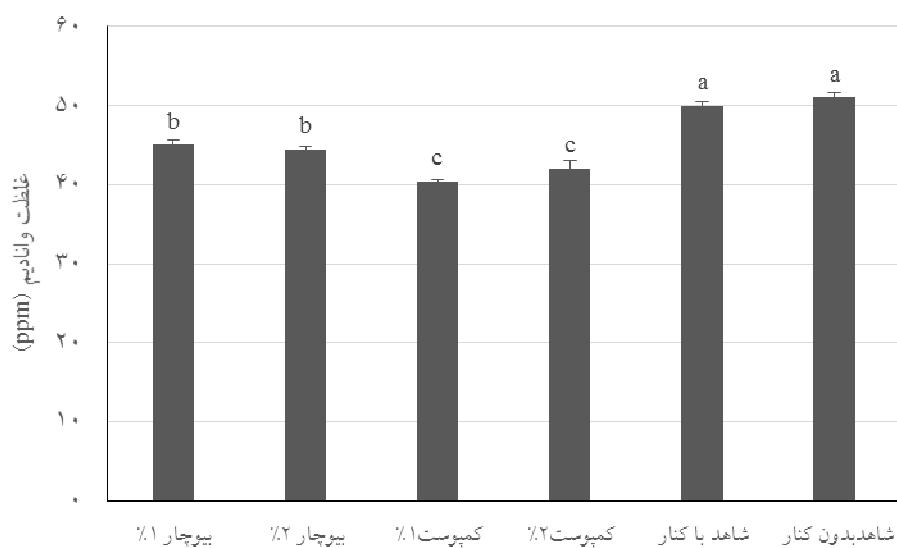
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمار بر نیکل خاک

Sig.	میانگین مربعات	درجه آزادی	متغیر
.۰۰۰۰۱**	۲۹۵/۰۵۶	۵	بین گروه‌ها
۶/۷۳۶		۱۲	داخل گروه‌ها
		۱۷	کل

**: در سطح یک درصد معنی‌دار

بررسی تأثیر کاربرد تیمارهای اصلاح‌کننده بر گیاه‌پالایی فلز وانادیم

اثر تیمارهای اصلاح‌کننده کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت وانادیم خاک معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد غلظت وانادیم خاک در تیمار کمپوست یک درصد کمتر از سایر تیمارها می‌باشد، بیشترین مقدار وانادیم خاک مربوط به تیمار شاهد با گونه کنار و تیمار شاهد بدون گونه کنار بود (شکل ۲). همان‌طوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود تیمار کمپوست یک درصد از همه مناسب‌تر می‌باشد و فلز وانادیم را بیشتر از سایر تیمارها جذب کرده است، البته قابل ذکر است بین کمپوست یک درصد و کمپوست دو درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی بر روی غلظت وانادیم خاک (حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد)

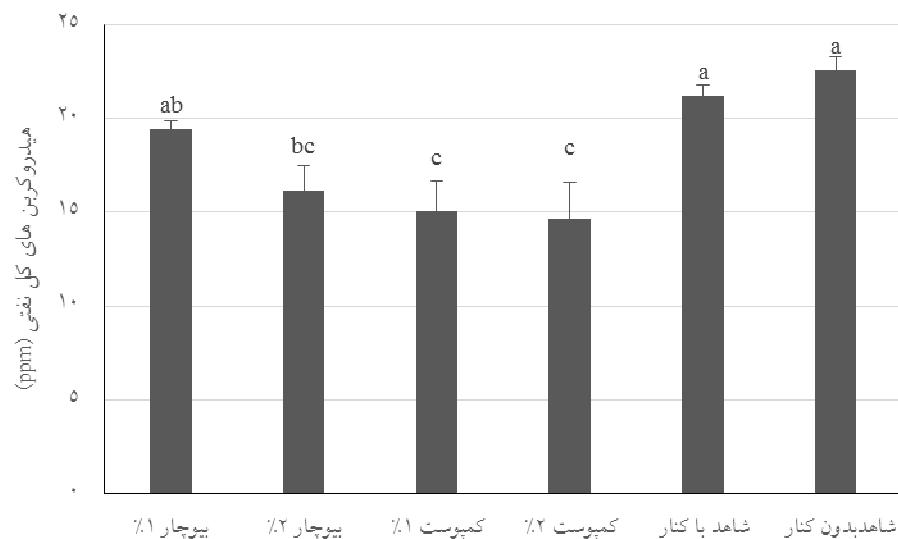
جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمار بر وانادیم خاک

Sig	میانگین مربعات	درجه آزادی	متغیر
.۰/۰۰۰۱**	۵۴/۴۱۴	۵	بین گروه‌ها
۱/۱۳۹		۱۲	داخل گروه‌ها وانادیم خاک
		۱۷	کل

**: در سطح یک درصد معنی دار

اثر تیمارها بر میزان هیدروکربن‌های نفتی خاک (TPH)

اثر تیمارهای اصلاح‌کننده (بیوچار و کمپوست) بر مقدار هیدروکربن‌های کل نفتی خاک در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). نتایج حاصل از بررسی اثر تیمارها بر مقدار هیدروکربن‌های کل نفتی خاک نشان داد که بیشترین مقدار هیدروکربن‌های خاک مربوط به تیمار شاهد بدون گونه کنار و کمترین مقدار هیدروکربن‌های خاک مربوط به تیمار کمپوست دو درصد بود. همان‌طوری که شکل ۳ نشان می‌دهد؛ بین تیمارهای کمپوست یک و دو درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، همچنین بین تیمارهای شاهد با گونه کنار و شاهد بدون گونه کنار تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی بر هیدروکربن‌های کل نفتی خاک

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمار بر هیدروکربن‌های کل نفتی خاک

متغیر	کل	داخل گروهها	بین گروهها	درجه آزادی	میانگین مربعات	Sig
هیدروکربن‌های کل نفتی خاک	۱۷	۱۲	۴/۷۲۶	۳/۹۷۱**	۰/۰۰۳	

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق مشخص شد که اثر فاکتورهای اصلاح‌کننده (بیوچار و کمپوست) بر مقدار هیدروکربن‌های کل نفتی خاک معنی‌دار است و این تیمارها می‌توانند باعث افزایش جذب آلاینده‌ها شوند. زیرا بیشترین مقدار هیدروکربن‌های باقیمانده در خاک مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقدار هیدروکربن‌های باقیمانده در خاک مربوط به تیمار کمپوست یک و دو درصد بود.

کنار به عنوان گونه مورد استفاده در این تحقیق با حضور بیوچار و کمپوست باعث کاهش میزان هیدروکربن‌های کل نفتی خاک شد که همسو با نتایج دیگر محققین می‌باشد (Don *et al.*, 2012). به طور کلی گونه‌های گیاهی با ترشح ترکیبات آلی مانند گلوکز، آنزیم و کربوهیدرات‌های پیچیده در ناحیه ریشه گیاه که منبعی مناسب از کربن و انرژی را برای ریزسازواره‌های ناحیه ریشه فراهم می‌سازد باعث حذف مقدار زیادی از هیدروکربن‌های کل نفتی خاک می‌شوند (علوی‌بختیاروند، ۱۳۹۳). همچنین گیاهان قادرند از طریق رهاسازی عناصر غذایی و ترشحات خود در خاک و انتقال اکسیژن به ناحیه ریشه خود موجب تحریک و افزایش فعالیت جمیت میکروبی تخریب‌کننده آلاینده‌های نفتی شوند.

کمپوست با افزایش میزان مواد مغذی خاک و تحریک ریز جانداران باعث حاصل‌خیز شدن خاک می‌شوند (Zhen *et al.*, 2014). ریز جانداران از هیدروکربن‌ها به عنوان منبعی برای افزایش انرژی و کربن موردنیاز خود استفاده می‌کنند و هیدروکربن‌ها را به آب و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌کنند و نتیجه آن، کاهش هیدروکربن‌های نفتی در خاک است (Rivera-Espinoza and Dendooven, 2004). بنابراین اگرچه در این مطالعه به طور مستقیم ریز جانداران مورد بررسی قرار نگرفته‌اند اما می‌توانند به عنوان عاملی برای کاهش هیدروکربن‌ها باشند. این یافته‌ها با مطالعات جهان‌تاب و همکاران، ۱۳۹۵ و فنگ و همکاران (Feng *et al.*, 2014) هم‌خوانی دارد. از طرف دیگر کمپوست قدرت نگهداری، جذب و حرکت آب را در خاک افزایش می‌دهد. همچنین موجب اصلاح وضعیت عناصر غذایی و تهویه در خاک می‌شود که از این راه می‌تواند اثرهای منفی هیدروکربن‌ها را کاهش دهد (Willey, 2006).

در این تحقیق مشخص شد که بیوچار نیز همانند کمپوست موجب کاهش هیدروکربن‌های نفتی می‌شود که همسو با یافته‌های هاله و همکاران (Hale *et al.*, 2011) است. زیرا بیوچار دارای مقدار کربن بالا و درجه تخلخل نسبتاً زیاد می‌باشد که به عنوان جاذب عمل می‌کند و موجب کنترل آلاینده-

های محیط می‌شود (Yu *et al.*, 2010). همچنین بیوچار موجب افزایش و بهبود دسترسی به مواد غذی و در نتیجه افزایش فعالیت میکروبی، بهبود بهرهوری خاک، ذخیره‌سازی کربن، کاهش تغییرات آب و هوای ازدیاد نفوذ آب، حفظ رطوبت خاک و افزایش ظرفیت جذب می‌شود (Lehmann and Joseph, 2009). بنابراین همه این موارد باعث بهبود فرآیند جذب هیدروکربن‌های نفتی از خاک می‌شود؛ که ناشی از خاصیت آروماتیکی، گروه‌های عاملی سطحی و خلل و فرج موجود در بیوچار است. زیرا گروه‌های عاملی همچون کربوکسیل، فنولیک هیدروکسیل که دارای اکسیژن سطحی می‌باشد بیوچار را قادر می‌سازد تا آلاینده‌ها را کاهش دهد (Yu *et al.*, 2009).

علاوه بر ترکیبات نفتی، کمپوست زباله شهری و بیوچار موجب کاهش فلزات سنگین در خاک شدنند. زیرا مواد آلی همچون کمپوست با تشکیل کمپلکس‌های پایدار با فلزات سنگین در خاک و دارا بودن مواد موجب جذب و تثبیت فلزات سنگین در خاک می‌شود (Clemente and Bernal, 2006). این نتایج همسو با نتایج فتوت و حلاج نیا (۱۳۹۲) و کرمی و همکاران (Karami *et al.*, 2011) می‌باشد که بیان کردند که کمپوست موجب کمک به کاهش غلظت فلزات سنگین در خاک می‌شود اما با نتایج رستگاری و همکاران در سال ۱۳۹۲ مطابقت نداشته است. زیرا آن‌ها بیان کردند که کمپوست موجب افزایش فلزات سنگین در خاک می‌شود. مکانیسم احتمالی برای تثبیت و کاهش فلزات توسط بیوچار شامل تشکیل رسوبات فسفات، کربنات یا اکسید فلزات و همچنین اثرات متقابل الکترواستاتیک بین کاتیون‌های فلز و گروه‌های عاملی فعال بهوسیله pH خاک است (Uchimiya *et al.*, 2010). افزایش pH، موجب کاهش تحرک و پویایی فلزات سنگین می‌شود و از این طریق ظرفیت جذب خاک را برای جذب یون‌های فلزات سنگین افزایش می‌دهد. بالا رفتن pH بار منفی خاک را افزایش می‌دهد و جایگاه‌های جذب فلز فعال می‌شود که در این صورت مقدار فلز را در خاک کاهش می‌دهد همچنین بیوچار دارای لیگاندهای آلی می‌باشد که این ترکیبات می‌توانند با فلزات سنگین ایجاد کمپلکس کنند و از این راه تحرک فلزات را در خاک کاهش دهد. در نتیجه غلظت این فلزات در خاک کاهش می‌باشد (حجازی‌زاده و همکاران؛ ۱۳۹۵). از طرف دیگر بیوچار بهدلیل دارا بودن سطح ویژه بالا، ظرفیت تبدال کاتیونی زیاد موجب کاهش آلاینده‌های خاک می‌شود (Beesley *et al.*, 2010). نتایج این مطالعه همسو با نتایج هاله و همکاران (Hale *et al.*, 2013) می‌باشد که بیان کردند بیوچار موجب کاهش فلزات سنگین در خاک می‌شود. همچنین کرمی و همکاران در سال ۱۳۸۶ بیان کردند، به کارگیری تیمارهای بیوچار و کمپوست در خاک آلوده به فلزات سنگین موجب کاهش این آلاینده‌ها می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

کمپوست دو درصد بیشترین تأثیر را در کاهش هیدروکربن‌های نفتی خاک دارد. همچنین اثر تیمارهای اصلاح‌کننده (کمپوست زباله شهری و بیوچار) باعث اثرات مثبت و معنی‌داری بر کاهش غلظت فلزات نیکل و وانادیم خاک دارند. کمپوست و بیوچار با فراهم نمودن شرایط بهینه رشد برای گیاه، به جذب آلاینده‌ها توسط گیاه و در نهایت به ارتقاء فرآیند گیاه‌پالایی کمک کردند. با توجه به تنوع گونه‌های گیاهی در ایران و آنودگی مناطق مختلف به ترکیبات نفتی، استفاده از گیاه‌پالایی در کنار اصلاح کننده‌هایی مانند بیوچار و کمپوست می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر و کاربردی در زیست‌پالایی خاک‌های آلوده مطرح شود.

منابع

- جهانتاب، ا.، جعفری، م.، متشعرزاده، ب.، طولی، ع.، ضرغام، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های گیاهی مرتعی در خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی با تأکید بر فلز سنگین نیکل. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۴(۳): ۱۰۷-۱۲۲.
- جهانتاب، ا.، جعفری، م.، متشعرزاده، ب.، طولی، ع.، ضرغام، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی گونه‌های گیاهی مقاوم به فلزات سنگین در مناطق نفت‌خیز (مطالعه موردی: پازنان گچساران). *نشریه علمی پژوهشی مرتع*، ۱۰(۴): ۴۰۹-۴۲۵.
- حجازی‌زاده، ا.، غلامعلی‌زاده آهنگر، ا.، قربانی، م. ۱۳۹۵. تأثیر بیوچار بر جذب سرب و کادمیم لجن فاضلاب کارخانه‌های کاغذ توسط آفتابگردان (*Helianthus annus L.*). *نشریه دانش آب و خاک*، ۲۶(۱/۲): ۲۵۹-۲۷۱.
- rstgarci, ا.، جعفری، ا.، ح. فرزادکیا، م.، کلانتری، ر.، آله‌آبادی، ا.، قلی‌زاده، ع. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر کمپوست مواد زائد شهری بر میزان نشت و جذب فلزات سنگین از خاک شنی رسی لومی، مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، ۱۹(۳): ۲۷۷-۲۸۶.
- رضازاده کته‌سری، ا.، فتوحی قزوینی ر. ۱۳۹۰. بررسی برخی صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه آکاسیا (*Acacia nilotica L.*) در خاک آلوده به پساب نفتی. اولین همایش ملی گیاه‌پالایی، ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۰، کرمان، ایران.

- علوی بختیاروند، س.ن.، احمدی مقدم، م.، پارسه، ا.، جعفرزاده، ن.، چهرازی، م.، چرم، م. ۱۳۹۳. بررسی کارایی گیاهپالایی در حذف هیدروکربن‌های نفتی از خاک رسی-سیلتی با استفاده از آلوپوس لیترالیس. مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی بهداشت ایران، ۷(۱): ۷۳-۸۴.
- فتوت، ا.، حلاج‌نیا، ا. ۱۳۹۲. تأثیر کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر توزیع فرم‌های مختلف عناصر کادمیوم، سرب و نیکل افروده شده به دو خاک آهکی، نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۳۱:۲(۳) ۱۱۵-۱۳۱.
- فیاض، پ.، باقری‌پور، ا. ۱۳۹۵. اثر بازدارندگی نفت خام بر عملکرد رویشی و فیزیولوژیکی بذر و نهال گونه‌های کنار، کهور، آکاسیا و افاقیا. مجله بوم‌شناسی کاربردی، ۱۶(۵): ۴۱-۳۱.
- کردانی، م.، تکدستان، ا. ۱۳۹۴. حذف کل هیدروکربن‌های نفتی با استفاده از گیاه ویتور و تغییرات جمعیت میکروبی در خاک‌های آلوده به نفت در منطقه اهواز. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۵(۱۳۱): ۹۷-۸۷.
- کرمی، م.، رضایی‌نژاد، ا.، افیونی، م.، شریعتمداری، ح. ۱۳۸۶. اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت عناصر سرب و کادمیوم در خاک و گندم. مجله آب و خاک (مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۱(۱): ۹۵-۷۹.
- Ahmad, M., Lee, S.S., Dou, X., Mohan, D., Sung, J.K., Yang, J.E, Ok, Y.S. 2012. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover-and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. *Bioresource Technology*, 118: 536-544.
- APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington. 19 P.
- Barati, M., Bakhtiari, F., Mowla, D., Safarzadeh, S. 2017. Total petroleum hydrocarbon degradation in contaminated soil as affected by plants growth and biochar. *Environmental Earth Sciences*, 76: 688.
- Beesley, L., Moreno-Jimenez, E., Gomez-Eyles, J.O. 2010. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environmental Pollution*, 158(6): 2282-2287.
- Clemente, R., Bernal, M.P. 2006. Fractionation of heavy metals and distribution of organic carbon in two contaminated soils amended with humic acids. *Chemosphere*, 64(8): 1264-1273

- Depommier, D. 1988. *Ziziphus mauritiana* Lam. Culture et utilisation en pays Kapsiki (Nord Cameroun): *Ziziphus mauritiana* Lam. Bois et Forêts des Tropiques, 218: 57–62.
- Don, S., Macci, C., Peruzzi, E., Arenella, M., Ceccanti, B., Masciandaro, G. 2012. In situ phytoremediation of a soil historically contaminated by metals, hydrocarbons and polychlorobiphenyls. *Journal of Environmental Monitoring*, 14 (5): 1383-90.
- Feng, L., Zhang, L., Fen, L. 2014. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil amended with sewage sludge compost. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 95: 200-207.
- Gustafson, J. 1997. Using TPH in nisk-based corrective action. Shll Dvlomnt Corporation. Publishd on Intrnet by U.S. Enviromtal Protction Agncy, Office of Underground Storage Tanks.
- Hale, S.E., Hanley, K., Lehmann, J., Zimmerman, A.R, Cornelissen, G. 2011. Effects of Chemical, Biological, and Physical Aging As Well As Soil Addition on the Sorption of Pyrene to Activated Carbon and Biochar. *Environmental Science and Technology*, 20(1432): 1-9.
- Hale, S.E., Jense, J., Jako, L., Oleszczuk, P., Hartnik, T., Henriksen, T., Okkenhaug, G., Martinsen, V., Cornelissen, G. 2013. Short-Term Effect of the Soil Amendments Activated Carbon, Biochar, and Ferric Oxyhydroxide on Bacteria and Invertebrates. *American Chemical Society*, 47: 8674–8683.
- Hutchinson, SL., Schwab, AP. 2001. Banks MK. Phytoremediation of aged petroleum sludge: effect of irrigation techniques and scheduling. *Jrnl of Env. Qua.* 30: 1516-1522.
- Karami, N., Clemente, R., Moreno-Jimenez, E., Lepp, N., Beesley, L. 2011. Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass. *Journal of Hazardous Materials*. 191: 41–48.
- Lehmann, J., Joseph, S. 2009. *Biochar for Environmental Management*, 1st ed.; Lehmann, J., Ed.; Earthscan: London, UK. pp. 1–9.
- Minai-Tehrani, D., Herfatmanesh, A., Azari-Dehkordi, F., Minooi, S. 2006. Effect of salinity on biodegradation of aliphatic fractions of crude oil in soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9: 1531-1535.
- Nascimento, C.W.A., Amarasinghe, D., Xing, B. 2006. Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil. *Environmental Pollution*, 140: 114-123.

- Oliveira, F.R., Patel, A.K., Jaisi, D.P., Adhikari, S., Lu, H., Kumar Khanal, S. 2017. Environmental application of biochar: Current status and perspectives. *Bioresource Technology*, In press.
- Rivera-Espinoza, Y., Dendooven, L. 2004. Dynamics of carbon, nitrogen and hydrocarbons in diesel contaminated soil amended with biosolids and maze. *Chemosphere*, 54(3): 379-386.
- Sadeghi, S.M. 2011. Ecological survey on Iranian Prosopis habitats in Bushehr province. Agricultural and Natural Resources Research Center of Bushehr Province, 1-45.
- Uchimiya, M., Lima, I.M., Klasson, T., Chang, S., Wartelle, L.H., Rodgers, J.E. 2010. Immobilization of heavy metal ions (Cu II, Cd II, Ni II, and Pb II) by broiler litter-derived biochars in water and soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 5538–5544.
- Willey, N. 2006. Phytoremediation. Methods and Reviews, P 478.
- Yu, X., Pan, L., Yin, G., Kookana, R.S. 2010. Enhanced and irreversible sorption of pesticide pyrimethanil by soil amended with biochars. *Journal of Environmental Sciences*, 22: 615-620.
- Yu, X.Y., Ying, G.G., Kookana, R.S. 2009. Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil. *Chemosphere*, 76: 665-671.
- Zhen, Z., Liu, H., Wang, N., Guo, L., Meng, J., Ding, N., Wu, G., Jiang, G. 2014. Effects of Manure Compost Application on Soil Microbial Community Diversity and Soil Microenvironments in a Temperate Cropland in China. *PLoS One*, 9(10): 1-12.