دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
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 به‌وسیله‌ی کنار *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd

هدی آلبو عبادی[۱]، مصطفی مرادی[۲*]، اسفندیار جهانتاب[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان
[۲] استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان
[۳] استادیار گروه علوم مرتع، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه فسا، فسا

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

چکیده

آلوده شدن آب و خاک به ترکیبات نفتی به‌دلیل سمی 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 تجزیه‌وتحلیل 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؛ غلظت نیکل خاک در تیمار

*نویسنده مسئول: moradi4@gmail.com

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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، درحالی‌که بیش‌ترین مقدار وانادیم مربوط به تیمار شاهد بدون کنار بود. نتایج این تحقیق نشان از اهمیت بیوچار و کمپوست در بهبهود 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 زیست‌محیطی و سلامت انسان بسیار حائز اهمیت است (Nascimento *et al*., 2006). مواد نفتی می‌تواند 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 سرطان می‌گردد، چرا که حاوی هزاران هیدروکربن آلی است که سرطان‌زایی 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 فن‌آوری نوین است که با استفاده از گیاهان برای جذب، جمع‌آوری و رفع آلاینده‌ها در بستر رشد از طریق فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به‌طور گسترده عمل می‌کند. گیاهانی که قادر به تحمل آلاینده‌های نفتی هستند سرعت پالایش زیستی را در مناطق آلوده افزایش می‌دهد و از پیامدهای منفی زیست‌محیطی می‌کاهد. همچنین محققین گیاهانی مانند *Stipagrostis plomusa*، *Calotropis procera* و *Sinapis arvensis*، به‌دلیل حضور فراوان و توانایی بقاء در شرایط نامساعد زیستی (آلوده به ترکیبات نفتی)، به‌عنوان انباشت‌گر 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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 به‌عنوان گونه‌ای بردبار 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 می-رسد 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 به‌منظور دست‌یابی به منابع آب‌های زیر زمینی 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 می-شود. از جمله این فرآیندها برای افزایش کارایی گیاه پالایی، استفاده از کودهای زیستی و آلی می‌باشد. استفاده از کودهای آلی به‌عنوان 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 هوازی حاصل از فعالیت گونه-هایی 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 به‌عنوان عوامل کمکی در جهت افزایش قدرت گیاه‌پالایی گیاهان می‌باشد (Barati *et al*., 2017; Oliveira *et al*., 2017). به‌علاوه حذف هیدروکربن‌های کل نفتی به‌وسیله گیاه *Vetiveria zizanioides* و جمعیت میکروبی خاک در خاک‌های آلوده به نفت در

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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

بسیاری از مناطق کشورمان به‌خصوص 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 وروش

خاک مورد استفاده در کشت گلدانی، خاک آلوده به سلج نفتی می‌باشد که از منطقه چوب سرخ روستایی از دهستان تل بزان مسجد سلیمان، واقع در ۵/۵ کیلومتری وً ″۰ ′۵۰ °۳۱ شمالی و ً ″۱۲ ′۲۲ °۴۹ شرقی مسجدسلیمان جمع‌آوری شد. این محل یکی از مکان‌های انباشت لجن‌های نفتی واحد شماره ۹ شرکت بهره‌برداری نفت و گاز مسجدسلیمان 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 به‌صورت 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 به‌صورت جداگانه نمونه‌ها برداشت شدند.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 به‌صورت یکنواخت آماده شوند. جهت تهیه بیوچار نمونه‌ها را ابتدا در داخل ظروف درب‌دار ریخته شدند. سپس به‌منظور 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 الک‌شده وزن شد و سپس ۱۵ سی‌سی اسید نیتریک ۴ نرمال اضافه شد و با دمای ۶۰ درجه به‌مدت 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 آژانس 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 به‌مدت ۴ دقیقه تکان داده و سپس آن‌ها را به‌مدت ۵ دقیقه با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ نموده تا رسوبات ته‌نشین گردند. پس از سانتریفیوژ کردن یک میلی‌لیتر از مایع

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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

جدول ۱- برخی از مشخصات خاک اولیه گلدان‌ها

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

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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

تجزیه و تحلیل داده‌ها

کمپوست زباله شهری	مقدار	بیوچار کمپوست زباله شهری	مقدار
کربن کل (٪)	۱۶/ ۷۷	کربن (٪)	۱۰/۸۱
فسفر (٪)	۰/۳۵	نیتروژن (٪)	۰/۷۵
پتاسیم (٪)	۰/۶۳	هیدروژن (٪)	۰/۱۹
هدایت الکتریکی (dS/m) (عصاره ۱:۱۰)	۳/۶۶	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm3)	۰/۹۲
pH	۶/۸۹	pH	۹
درصد رطوبت	۹/۵	هدایت الکتریکی (dS/m) (عصاره ۱:۱۰)	۸/۲۵

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. به‌منظور بررسی و تجزیه‌وتحلیل آماری اطلاعات اندازه‌گیری‌شده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. در صورتی‌که 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.

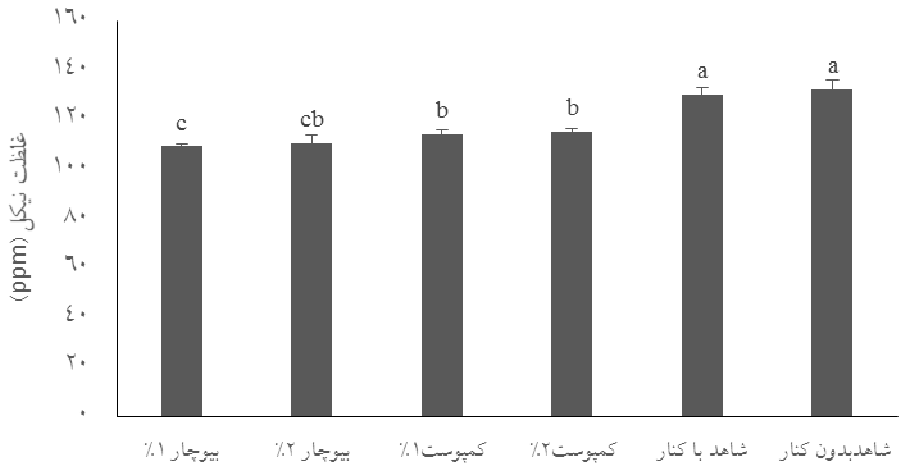
نتایج

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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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

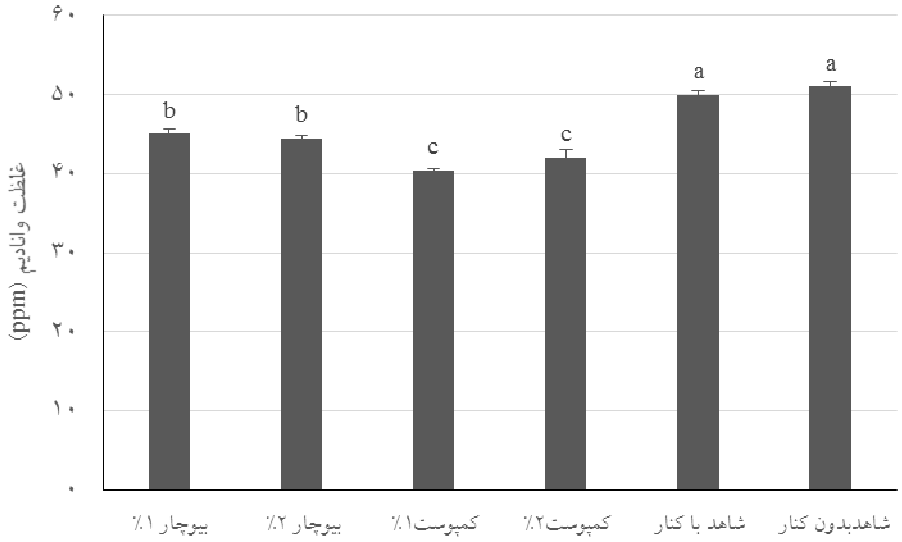
متغیر		درجه آزادی	میانگین مربعات	Sig.
نیکل خاک	بین گروه‌ها	۵	۲۹۵/۰۵۶	۰/۰۰۰۱**
	داخل گروه‌ها	۱۲	۶/۷۳۶	
	کل	۱۷		

**: در سطح یک درصد معنی‌دار

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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). همان‌طوری‌که 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)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمار بر وانادیم خاک

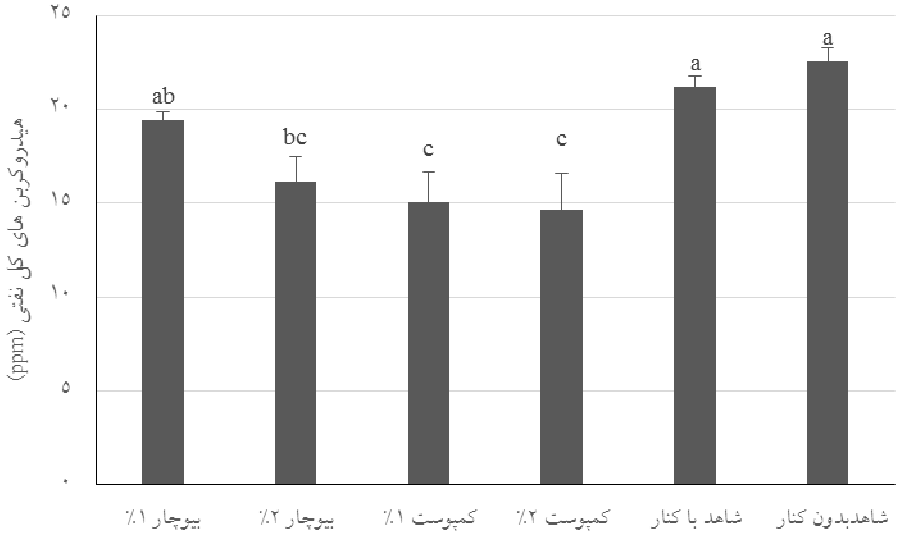
متغیر		درجه آزادی	میانگین مربعات	Sig
	بین گروه‌ها	۵	۵۴/۴۱۴	۰/۰۰۰۱**
وانادیم خاک	داخل گروه‌ها	۱۲	۱/۱۳۹	
	کل	۱۷		

**: در سطح یک درصد معنی‌دار

اثر تیمارها بر میزان هیدروکربن‌های نفتی خاک (TPH)

اثر تیمارهای اصلاح‌کننده (بیوچار و کمپوست) بر مقدار هیدروکربن‌های کل نفتی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار 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. همان‌طوری‌که 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).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]



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		درجه آزادی	میانگین مربعات	Sig
هیدروکربن‌های کل نفتی خاک	بین گروه‌ها	۵	۳۳/۹۷۱**	۰/۰۰۳
	داخل گروه‌ها	۱۲	۴/۷۲۶	
	کل	۱۷		

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 به‌عنوان 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). به‌طورکلی 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 ریزجانداران باعث حاصلخیز شدن خاک می‌شوند (Zhen *et al*., 2014). ریز جانداران از هیدروکربن‌ها به‌عنوان منبعی برای افزایش انرژی و کربن موردنیاز خود استفاده می‌کنند و هیدروکربن‌ها را به آب و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌کنند و نتیجه آن، کاهش هیدروکربن‌های نفتی در خاک است (Rivera-Espinoza and Dendooven, 2004). بنابراین اگرچه در این مطالعه به‌طور مستقیم ریزجاندارن مورد بررسی قرار نگرفته‌اند اما می‌توانند به‌عنوان 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 به‌عنوان جاذب عمل می‌کند و موجب کنترل آلاینده-

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

های محیط می‌شود (Yu *et al*., 2010). همچنین بیوچار موجب افزایش و بهبود دسترسی به مواد مغذی و در نتیجه افزایش فعالیت میکروبی، بهبود بهره‌وری خاک، ذخیره‌سازی کربن، کاهش تغییرات آب و هوا، 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، گروهای عاملی سطحی و خلل و فرج موجود در بیوچار است. زیرا گروه‌های عاملی هم‌چون کربوکسیل، فنولیک هیدروکسیل که دارای اکسیژن سطحی می‌باشند 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 شدند. 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 می‌یابد (حجازی‌زاده و همکاران؛ ۱۳۹۵). از طرف دیگر بیوچار به‌دلیل دارا بودن سطح ویژه بالا، ظرفیت تبادل 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، به‌کارگیری تیمارهای بیوچار و کمپوست در خاک آلوده به فلزات سنگین موجب کاهش این آلاینده‌ها می‌شود.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 آلودگی مناطق مختلف به ترکیبات نفتی، استفاده از گیاه پالایی در کنار اصلاح کننده‌هایی مانند بیوچار و کمپوست می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر و کاربردی در زیست‌پالایی خاک‌های آلوده مطرح شود.

منابع

جهانتاب، ا.، جعفری، م.، متشرع‌زاده، ب.، طویلی، 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.، متشرع‌زاده، ب.، طویلی، ع.، ضرغام، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی گونه‌های گیاهی مقاوم به فلزات سنگین در مناطق نفت‌خیز (مطالعه موردی: پازنان گچساران). نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۰(۴): ۴۲۵-۴۰۹.

حجازی‌زاده، ا.، غلامعلی‌زاده آهنگر، ا.، قربانی، م. ۱۳۹۵. تأثیر بیوچار بر جذب سرب و کادمیم لجن فاضلاب کارخانه‌های کاغذ توسط آفتابگردان (*Heliantus Annus* L.). نشریه دانش آب و خاک، ۲۶(۱/۲): ۲۷۱-۲۵۹.

رستگاری، ا.، جعفری، ا.، ح. فرزادکیا، م.، کلانتری، ر.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): ۲۸۶-۲۷۷.

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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

علوی‌بختیاروند، 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 آلروپوس 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 افزوده شده به دو خاک آهکی، نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۲(۳):۱۳۱-۱۱۵.

فیاض، پ.، باقری‌پور، ا. ۱۳۹۵. اثر بازدارندگی نفت خام بر عملکرد رویشی و فیزیولوژیکی بذر و نهال گونه‌های کنار، کهور، آکاسیا و اقاقیا. 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، ی.، 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 منابع‌طبیعی، (۱)۱۱: 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 shellderived 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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

Depommier, D. 1988. *Ziziphus mauritiana* Lam. Culture et utilisation en pays Kapsiki (Nord Cameroun): Ziziphus mauritianaLam. 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. Enviromntal Protction Agncy, Office of Underground Storage Tanks**.**

Hale, S.E., Hanley, K., Lehmann, J., Zimmerman, A.R, Cornlissen, 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., Amarasiriwardena, 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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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. Agricalchr and Natural Resosources Reseaearch 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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]