نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴
19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025
مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran
۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

بررسی تأثیر بیوچار خام و اصلاح‌شده بر جمعیت میکروبی در خاک آلوده به نفت خام

میلاد بی‌ریا[1*]، حبیب‌اله نادیان قمشه[2]، حسین معتمدی[3]، بیژن خلیلی‌مقدم[4*]، نفسیه رنگزن[5]

۱- دانشجوی دکتر مدیریت حاصلخیزی و زیست فناوری خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۳- استاد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۵- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

چکیده

آلودگی خاک به مواد آلی و سموم یک مشکل شایع زیست‌محیطی است. این پژوهش در دانشگاه شهید چمران اهواز (دانشکده علوم و دانشکده کشاورزی) انجام شد. در این پژوهش آزمایشی در قالب طرح اندازه‌گیرهای مکرر در زمان انجام گردید. در اواسط و انتهای دوره آزمایش (۶۰ و ۱۲۰ روز)، تأثیر سطوح مختلف بیوچار اصلاح‌نشده و اصلاح‌شده باگاس نیشکر و نخل خرما (۱ و ۲ درصد) به همراه ریزجانداران (با بیوچار و بدون بیوچار و در مجموع ۵۷ نمونه آزمایشی در دو زمان) انجام شد. برای تهیّه بیوچارها از باگاس نیشکر و ضایعات نخل خرما استفاده شد. اصلاح بیوچار با پراکسیدهیدروژن ۱۰ درصد انجام شد. طرح آزمایشی مورد استفاده در پژوهش نتایج بدست‌آمده نشان داد که اصلاح تیمارها سبب افزایش جمعیت میکروبی در خاک شد. به صورتیکه تیمار مخلوط چهار (باگاس نیشکر اصلاح‌شده و کنسرسیوم باکتری ۲ درصد) ۶۰ روزه نسبت به تیمار خام (اصلاح‌نشده) آن (۲۵/۷۴۰ سانتی‌مول بر کیلوگرم) سبب افزایش ۱۵/۸۸۲ درصدی ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک گردید. بیشترین میزان آن در خاک متعلق به تیمار مخلوط چهار ۶۰ روزه (۱۸۷۵×۱۰^{۴} Cfu/ml) بود. که نسبت به تیمار شاهد $۹۶/۶۹\times۱۰^{۴}$ درصد افزایش نشان داد. در رابطه با جمعیت باکتری‌های هتروتروف خاک نیز بیشترین میزان آن در خاک متعلق به تیمار مخلوط چهار ۱۲۰ روزه ($۲/۰۶۵\times۱۰^{۱۱}$ Cfu/ml) بود. که نسبت به تیمار شاهد ۱۲۰ روزه ۹۴/۵۲۷ درصد افزایش نشان داد.

واژه‌های کلیدی : باگاس نیشکر، نخل خرما، جمعیت میکروبی، پراکسیدهیدروژن، کنسرسیوم میکروبی.

مقدمه

امروزه گسترش جهانی بهره‌برداری از منابع نفتی در صنایع مختلف، حمل و نقل و مصارف خانگی تقریباً در کلیهٔ جوامع اعم از تولیدکننده و مصرف‌کننده، پیشرفته و در حال توسعه امری اجتناب‌ناپذیر است (مینائی تهرانی[۱] و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به توسعهٔ این آلودگی‌ها به خصوص در کشور ایران و استان خوزستان پاکسازی مناطق آلوده نیز به یک امر ضروری تبدیل شده است. روشهای مختلفی جهت رفع آلودگی به کار گرفته می‌شود که شامل روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است؛ که روش بیولوژیکی نسبت به دو روش دیگر هم از نظر اقتصادی و هم زیست‌محیطی گزینه مناسب‌تری می‌باشد (آلساند[۲] و همکاران، ۱۹۹۵). بسیاری از محققین روش زیست‌پالایی را پیشنهاد کرده‌اند که می‌تواند عملاً به عنوان یک تکنیک اقتصادی و قابل اعتماد از نظر زیست‌محیطی استفاده شود (وی[۳] و همکاران، ۲۰۱۷). تعداد کمی از تحقیقات کارایی تحریک زیستی و مزیت مکمل کمتری را از تقویت زیستی توصیف کردند (راجاپاکشا[۴] و همکاران، ۲۰۱۶). جمعیت میکروبی در خاک نقش مهمی در کارایی فرآیند زیست‌پالایی در خاک دارد. بیوچار با توجّه به خصوصیات ذاتی خود شامل pH، سطح ویژه و موادّ غذایی بر روی فعّالیّت و جمعیّت میکروبی خاک تأثیرگذار است. و البته لازم به ذکر است که این مسئله با توجّه به نوع مادّه‌ی اوّلیّه و دمای مورد استفاده برای تولید بیوچار متفاوت خواهد بود (زیمرمن و همکاران، ۲۰۱۱). بیوچار می‌تواند بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک اثر گذاشته و آن را دچار تغییر کند. ریزجانداران می‌توانند بطور مستقیم با سطوح بیوچار و منافذ آن در ارتباط باشد. و از منافذ موجود در آن به عنوان زیستگاه جهت زندگی و نیز پناهگاهی برای محافظت در برابر شکارچیان استفاده نمایند. پژوهشگران استدلال می‌کنند که حذف هیدروکربن‌ها با اشباع بیشتر در بیوچار مورد استفاده به بهبود زیستی خاک و بهبود زیست‌پالایی کمک نموده است. علاوه بر این، ماکروپورها (منافذ درشت) با استفاده از ذرّات جایگزین جهت بهبود تهویه و حفظ رطوبت به فعّالیّت میکروبی در حذف آلاینده‌ها کمک می‌کند. این موضوع احتمالاً به دلیل حضور اکسیژن است که اجازه می‌دهد برای متابولیسم سریع و رشد نهایی، در تنوّع و جمعیّت در قسمت‌های بیرونی خاک باشد (لیو[۵] و همکاران، ۲۰۱۷). تحقیقات انجام‌شده توسط اسپوکاس[۶] و همکاران در سال ۲۰۱۲ نشان داد که بیوچار به دلیل داشتن ساختمان متخلخل قادر است با حفظ تعادل آب، قابلیت دسترسی عناصر غذایی را در خاک افزایش دهد. این مسئله جهت تأمین آب مورد نیاز ریزجانداران و بهبود فعّالیّت آن‌ها بسیار مهم است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر بیوچار خام و اصلاح‌شده باگاس نیشکر و نخل خرما بر جمعیت باکتری‌های هتروتروف و تجزیه‌کننده نفت در خاک آلوده به نفت خام مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

[1] - Minaei Tehrani
[2] - Alsand
[3] - Wu
[4] - Rajapaksha
[5]- Liu
[6]- Spokas

این مطالعه در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. آزمایشی در قالب طرح اندازه‌گیری‌های مکرر در زمان طراحی و خاک به صورت مصنوعی با نفت خام یک درصد آلوده و در زمان‌های ۶۰ و ۱۲۰ روز تأثیر سطوح مختلف بیوچار اصلاح‌نشده و اصلاح‌شده باگاس نیشکر و نخل خرما (۱ و ۲ درصد) به همراه ریزجانداران (با بیوچار و بدون بیوچار و در مجموع ۵۷ نمونه آزمایشی در دو زمان) انجام شد. تهیه‌ی بیوچار در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز و اصلاح توسط پراکسیدهیدروژن ۱۰ درصد انجام شد. ریخت‌شناسی بیوچار با دستگاه میکروسکوپ الکترون روبشی، گروه‌های عاملی با دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز، عناصر با دستگاه ICP-Analayzer، جمعیت باکتری‌های هتروتروف و تجزیه‌کننده نفت به روش (آلکساندر و همکاران، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه برخی خصوصیات مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش در جدول (۱)، نتایج مربوط به برخی ویژگی‌های بیوچارهای مورد استفاده در جدول (۲)، برخی ویژگی‌های نفت خام مورد استفاده در جدول (۳) و برخی ویژگی‌های جدایه‌های مورد استفاده در جدول (۴) آورده شده است.

جدول۱- ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

ویژگی	مقدار
بافت خاک	لوم‌رسی (Clay Loam)
pH	7.42
EC (dS/m)	16.15
نیتروژن (٪)	0.06
فسفر (ppm)	11.26
پتاسیم(ppm)	143.83
کربنات کلسیم(٪)	42.18
کربن آلی(٪)	0.51
ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmol/kg)	13.40

ویژگی	بیوچار باگاس نیشکر		بیوچار نخل خرما	
	خام	اصلاح‌شده	خام	اصلاح‌شده
pH	7.75	6.57	8.31	7.60
EC (dS/m)	9.55	9.38	7.55	7.15
کربن (٪)	55.46	45.40	50.01	43.47
نیتروژن(٪)	2.30	1.92	1.59	1.07
هیدروژن(٪)	7.94	10.39	6.69	7.63
اکسیژن(٪)	15.25	29.42	12.77	25.31
گوگرد(٪)	5.18	1.53	18.09	13.79
ظرفیت تبادل کاتیونی(Cmol/kg)	59.80	78.03	45.80	61.53
سطح ویژه (m^2/gr)	162.40	134.42	101.90	89.73
O/C	0.27	0.65	0.25	0.58
H/C	0.14	0.23	0.13	0.17

C/N	24.11	23.64	31.45	40.63

جدول ۲- ویژگی‌های بیوچار

مورد مطالعه

بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول ۲ و ۳، خاک مورد استفاده در پژوهش یک خاک آهکی با مقدار کربن آلی پائین می‌باشد. که از لحاظ میزان نیتروژن و فسفر نیز دارای محدودیت است. pH خاک نزدیک به خنثی بوده، دارای شوری بالا و مقدار پتاسیم نسبتاً خوب است. همچنین بیوچارهای مورد مطالعه دارای هدایت الکتریکی نسبتا بالا، کربن آلی بالا و ظرفیت تبادل کاتیونی مناسب بودند. بهترین نتایج مربوط به تیمار باگاس نیشکر اصلاح‌شده بود. همچنین بیوچار از لحاظ فلزات سنگین دارای محدودیت نبود. علاوه بر این، دارای میزان هدایت الکتریکی نسبتاً بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه مناسبی بود. اصلاح بیوچار سبب بهبود خصوصیات بیوچارها، از جمله اکسیژن، هیدروژن، ظرفیت تبادل کاتیونی، نسبت‌های عنصری و کاهش سطح ویژه گردید. بهترین نتایج متعلق به بیوچار باگاس نیشکر اصلاح‌شده بود.

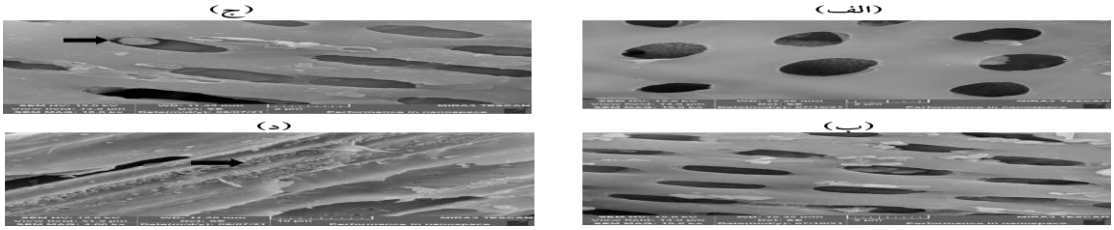
جدول ۳- خصوصیات نفت خام مورد استفاده

ویژگی	مقدار
A.P.I	24.3
چگالی (g/cm^3)	1.18
Cd (٪)	ND
Pb (٪)	ND
Ni (٪)	0.0712

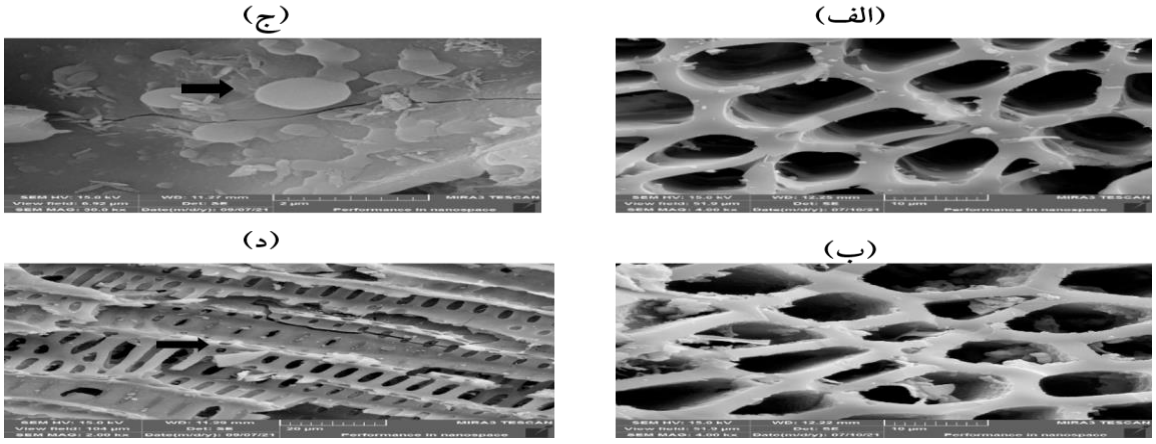
نتایج موجود در جدول ۳ نشان داد که نفت خام از لحاظ کادمیوم و سرب، دارای محدودیت نمی‌باشد. ولی از نظر نیکل، دارای مقدار بالایی است. همچنین نفت خام با توجه به میزان A.P.I از نوع نفت خام سنگین بود (حیدری‌فرد، ۱۳۸۱). همچنین چگالی آن نیز حدود ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. در جدول ۴، خصوصیات باکتری‌های مورد استفاده در این مطالعه جهت کنسرسیوم باکتریایی آورده شده است.

تصویر برداری میکروسکوپ الکترون روبشی

نتایج مربوط به تصویربرداری میکروسکوپ الکترون روبشی بیوچارهای مورد استفاده در پژوهش در شکل (۱) آورده شده است. (محل قرارگیری باکتری‌ها بر روی با فلش مشخص شده است).



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی بیوچارهای باگاس نیشکر: الف) خام، ب) اصلاح‌شده، ج) خام و کنسرسیوم باکتری و د)اصلاح‌شده و کنسرسیوم باکتری

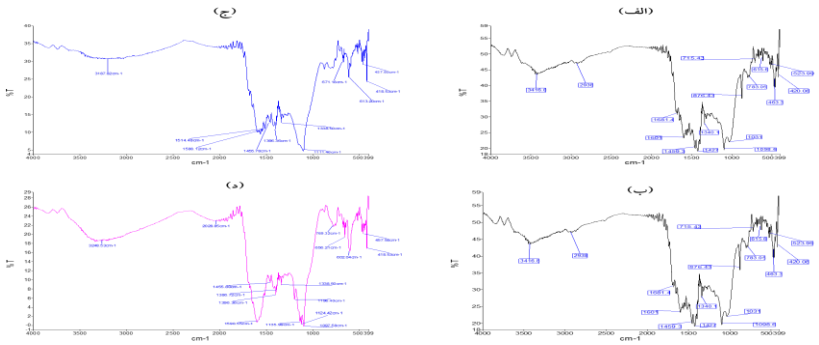


شکل ۲- تصایر میکروسکوپ الکترون روبشی بیوچارهای نخل خرما: الف) خام، ب) اصلاح‌شده، ج) خام و کنسرسیوم باکتری و د)اصلاح‌شده و کنسرسیوم باکتری

نتایج بدست‌آمده در شکل ۱ نشان داد که سطوح بیوچار خام با ساختارهای دانه‌یی نسبتاً ناهموار همراه بود، در حالیکه سطوح بیوچار اصلاح‌شده با پراکسیدهیدروژن دارای ساختار ظریف و آمورف بوده و خلل و فرج آن بیشتر شده است. (شکل ۱). لی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که اصلاح بیوچار سبب افزایش میزان خلل و فرج در آن شده است. بهترین ویژگی‌ها (ساختار آمورف و خلل و فرج بالاتر) را در تیمار بیوچار باگاس نیشکر اصلاح‌شده (شکل۱-الف و ه) بدست آمد. شعبان[7] و همکاران (۲۰۱۳) و سوارز و هرناندز[8] (۲۰۱۷) گزارش دادند که اصلاح بیوچار با پراکسیدهیدروژن سبب افزایش سطح ویژه، گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار و هیدروژن و اکسیژن و خلل و فرج می‌شود. که با نتایج بدست‌آمده در پژوهش (جدول ۲) در یک راستا قرار دارد.

طیف سنجی مادون قرمز تیمارهای مورد مطالعه

در شکل ۲ (الف تا د) طیف‌سنجی مادون قرمز بیوچارهای باگاس نیشکر اصلاح‌شده، نیشکر خام، نخل اصلاح‌شده و خام آورده شده است.



شکل ۳ : طیف‌سنجی مادون قرمز بیوچارهای مورد استفاده : الف) بیوچار باگاس نیشکر خام، ب)باگاس نیشکر اصلاح‌شده، ج)بیوچار نخل خام و د) بیوچار نخل اصلاح‌شده

تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی مادون قرمز برای بیوچارهای مورد مطالعه در محدوده‌ی cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰ انجام شد. نتایج بدست‌آمده در شکل ۲ نشان داد که بیوچارها دارای گروه‌های عاملی متنوعی از جمله فنول (-OH) (در حدود cm^{-1} ۳۴۳۰)، گروه‌های زنجیره آلیفاتیک (CH_2) (در حدود cm^{-1} ۲۹۲۲)، کششی آروماتیک (C=C) (در حدود cm^{-1} ۱۶۲۰)، گروه‌های (C=O) (cm^{-1} ۱۵۸۰)، گروه (-COO) (در حدود cm^{-1} ۱۴۰۰) و گروه‌های (C-O) (در حدود cm^{-1} ۱۰۸۰) بودند (وانگ[9] و همکاران، ۲۰۱۳؛ لو[10] و همکاران، ۲۰۱۸؛). نوار cm^{-1} ۲۳۵۰ باید به نوار CO_2 اشباع اختصاص یابد (دونگ[11] و همکاران، ۲۰۱۷ بی).

[7] - Shabaan
[8] - Suarez and Hernandez
[9] - Wang
[10] - Luo
[11] - Dong

تاثیر تیمارها بر جمعیت باکتری‌های هتروتروف و تجزیه‌کننده نفت خاک آلوده به نفت خام

جمعیت باکتری‌های هتروتروف

نتایج جدول تجزیهٔ واریانس اندازه‌گیری تکراری اثر بیوچار خام (اصلاح‌نشده) و اصلاح‌شده و ریزجانداران بر جمعیت باکتری‌های هتروتروف خاک نشان داد که در اثرات برون‌گروهی، تیمارها دارای تفاوت معناداری با یکدیگر در سطح یک درصد هستند. در اثرات درون‌گروهی نیز هم زمان و هم برهم‌کنش زمان و تیمارها در بین تیمارها دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بود.

جدول ۴-نتایج تجزیهٔ واریانس اندازه‌گیری تکراری اثر بیوچار خام و اصلاح‌شده و ریزجانداران بر جمعیت باکتری هتروتروف خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)
	اثرات برون گروهی	
تیمار بیوچار	۱۸	۱/۵۲۸**
خطا	۳۸	۲/۱۶۵
	اثرات درون گروهی	
زمان	۱	۱/۴۲۵**
زمان × تیمار بیوچار	۱۸	۲/۰۸۶**
خطا (زمان)	۳۸	۲/۹۱۷

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر بیوچار خام (اصلاح‌نشده) و اصلاح‌شده و ریزجانداران بر میزان جمعیت باکتری‌های هتروتروف خاک نشان داد که بیشترین میزان آن در خاک متعلق به تیمار مخلوط چهار ۱۲۰ روزه ($۲/۰۶۵\times۱۰^{۱۱}$ Cfu/ml) بود. که نسبت به تیمار شاهد ۱۲۰ روزه ۹۴/۵۲۷ درصد افزایش نشان داد. در رابطه با زمان، تیمار مخلوط چهار ۱۲۰ روزه نسبت به تیمار ۶۰ روزه آن ($۱/۸۷۱\times۱۰^{۱۱}$ Cfu/ml) ۹/۳۹۴ درصد افزایش داشت. که بیانگر روند افزایشی جمعیت باکتری‌های هتروتروف خاک در طی زمان می‌باشد.

جدول ۵-مقایسهٔ میانگین اثر بیوچار خام و اصلاح‌شده و ریزجانداران بر جمعیت باکتری هتروتروف خاک (Cfu/ml)

ردیف	تیمار	زمان اندازه‌گیری (روز)	
		۶۰	۱۲۰

۱	شاهد	x ۱/۰۴۳ × ۱۰^{۱۰}	x ۱/۱۳۰ × ۱۰^{۱۰}
۲	کنسرسیوم باکتری ۱%	n ۱/۰۵۸ × ۱۰^{۱۱}	lm ۱/۱۲۱ × ۱۰^{۱۱}
۳	کنسرسیوم باکتری ۲%	lm ۱/۱۳۳ × ۱۰^{۱۱}	jk ۱/۱۹۶ × ۱۰^{۱۱}
۴	باگاس اصلاح‌نشده ۱%	uv ۵/۱۱۶ × ۱۰^{۱۰}	tu ۵/۵۵۰ × ۱۰^{۱۰}
۵	باگاس اصلاح‌شده ۱%	r ۷/۳۵۰ × ۱۰^{۱۰}	q ۷/۹۵۰ × ۱۰^{۱۰}
۶	باگاس اصلاح‌نشده ۲%	st ۵/۸۵۰ × ۱۰^{۱۰}	s ۶/۲۸۳ × ۱۰^{۱۰}
۷	باگاس اصلاح‌شده ۲%	p ۸/۷۸۳ × ۱۰^{۱۰}	o ۹/۴۳۳ × ۱۰^{۱۰}
۸	مخلوط ۱	jk ۱/۱۹۵ × ۱۰^{۱۱}	i ۱/۲۶۱ × ۱۰^{۱۱}
۹	مخلوط ۲	d۱/۶۸۰ × ۱۰^{۱۱}	c۱/۴۰۸ × ۱۰^{۱۱}
۱۰	مخلوط ۳	h ۱/۳۲۵ × ۱۰^{۱۱}	g ۱/۷۷۱ × ۱۰^{۱۱}
۱۱	مخلوط ۴	b۱/۸۷۱ × ۱۰^{۱۱}	a۲/۰۶۵ × ۱۰^{۱۱}
۱۲	نخل خرما اصلاح‌نشده ۱%	w ۴/۰۳۳ × ۱۰^{۱۰}	v ۴/۷۰۰ × ۱۰^{۱۰}
۱۳	نخل خرما اصلاح‌شده ۱%	s ۶/۳۱۶ × ۱۰^{۱۰}	r ۶/۹۰۰ × ۱۰^{۱۰}
۱۴	نخل خرما اصلاح‌نشده ۲%	uv ۵/۱۸۳ × ۱۰^{۱۰}	tu ۵/۶۶۶ × ۱۰^{۱۰}
۱۵	نخل خرما اصلاح‌شده ۲%	q ۷/۹۶۶ × ۱۰^{۱۰}	p ۸/۵۵۰ × ۱۰^{۱۰}
۱۶	مخلوط ۵	mn ۱/۱۰۵ × ۱۰^{۱۱}	kl ۱/۱۷۳ × ۱۰^{۱۱}
۱۷	مخلوط ۶	f۱/۵۰۱ × ۱۰^{۱۱}	e۱/۵۸۵ × ۱۰^{۱۱}
۱۸	مخلوط ۷	ij ۱/۲۴۳ × ۱۰^{۱۱}	hi ۱/۳۰۰ × ۱۰^{۱۱}
۱۹	مخلوط ۸	cd۱/۷۳۵ × ۱۰^{۱۱}	b۱/۸۵۶ × ۱۰^{۱۱}

میانگین با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد هستند (آزمون دانکن)

مخلوط ۱: مخلوط باگاس اصلاح‌نشده ۱٪ و کنسرسیوم باکتری ۱٪، مخلوط ۲: مخلوط باگاس اصلاح‌شده ۱٪ و کنسرسیوم باکتری ۱٪، مخلوط ۳: مخلوط باگاس اصلاح‌نشده ۲٪ و کنسرسیوم باکتری ۲٪، مخلوط ۴: مخلوط باگاس اصلاح‌شده ۲٪ و کنسرسیوم باکتری ۲٪، مخلوط ۵: مخلوط نخل خرما اصلاح‌نشده ۱٪وکنسرسیوم باکتری ۱٪، مخلوط ۶: مخلوط نخل خرما اصلاح‌شده ۱٪ وکنسرسیوم باکتری ۱٪، مخلوط ۷: مخلوط نخل خرما اصلاح‌نشده ۲٪ و کنسرسیوم باکتری ۲٪ و مخلوط ۸: مخلوط نخل خرما اصلاح‌شده ۲٪ و کنسرسیوم باکتری ۲٪

کمترین مقدار جمعیت باکتری‌های هتروتروف خاک نیز متعلق به تیمار شاهد ۶۰ روزه (۱/۰۴۳×۱۰^{۱۰} Cfu/ml) بود. که نسبت به تیمار شاهد ۱۲۰ روزه ۷/۶۹ درصد کاهش را نشان داد. در رابطه با تیمارهای دارای باکتری نیز این تیمار به نسبت تیمار باگاس نیشکر اصلاح‌شده دو درصد ۱۲۰ روزه (۹/۴۳۳×۱۰^{۱۰} Cfu/ml) سبب افزایش ۵۴/۳۱۹ درصدی جمعیت باکتری‌های هتروتروف در خاک گردید. در رابطه با تیمار کنسرسیوم باکتری دو درصد ۱۲۰ روزه (۱/۱۹۶×۱۰^{۱۱} Cfu/ml) هم تیمار مخلوط چهار ۱۲۰ روزه

نسبت به آن سبب افزایش ۴۲/۰۸ درصدی جمعیت باکتری‌های هتروتروف خاک شد. که بیانگر تأثیر بیوچار بر افزایش روند فعّالیّت باکتری‌های تجزیۀکنندۀ نفت خام و افزایش میزان جمعیت باکتری‌های هتروتروف در خاک می‌باشد. اصلاح بیوچارها سبب افزایش جمعیت باکتری‌های هتروتروف خاک گردید. به گونه‌ایی که تیمار مخلوط چهار۱۲۰ روزه به نسبت تیمار مخلوط سه ۱۲۰ روزه (Cfu/ml ۱/۷۷۱×۱۰^{۱۰}) ۹۱/۴۲۳ درصد میزان جمعیت باکتری‌های هتروتروف خاک را افزایش داد. در رابطه با نوع زیتوده نیز، باگاس نیشکر نسبت به بقایای نخل خرما نتیجه بهتری را حاصل کرد. به گونه‌یی که تیمار مخلوط سه ۱۲۰ روزه نسبت به تیمار مخلوط هشت ۱۲۰ روزه (Cfu/ml ۱/۸۵۶×۱۰^{۱۱}) میزان جمعیت باکتری‌های هتروتروف خاک را ۱۰/۱۲ درصد افزایش داد.

در ابتدا، جمعیت باکتری‌های هتروتروف (جمعیت بومی خاک) به‌دلیل ورود تنش (آلودگی) و سخت شدن شرایط، کاهش پیدا می‌کند. ولی با گذشت زمان و رفع محدودیت، افزایش یافته و یک سیر صعودی در جمعیت این باکتری‌ها رخ می‌دهد.

جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندۀ نفت (خام)

نتایج جدول تجزیۀ واریانس اندازه‌گیری تکراری اثر بیوچار خام (اصلاح‌نشده) و اصلاح‌شده و ریزجانداران بر جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندۀ خاک نشان داد که در اثرات برون‌گروهی، تیمارها دارای تفاوت معناداری با یکدیگر در سطح یک درصد هستند. در اثرات درون‌گروهی نیز هم زمان و هم برهم‌کنش زمان و تیمارها در بین تیمارها دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بود.

جدول ۶- نتایج تجزیۀ واریانس اندازه‌گیری تکراری اثر بیوچار خام و اصلاح‌شده و ریزجانداران بر جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندۀ نفت

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)
	اثرات برون گروهی	
تیمار بیوچار	۱۸	۲/۹۴۰ × ۱۰^{۱۴}**
خطا	۳۸	۳۲۶۵۷۸۹۴۷۴۳۲
	اثرات درون گروهی	
زمان	۱	۸/۳۴۸ × ۱۰^{۱۲}**
زمان × تیمار بیوچار	۱۸	۴۵۸۵۲۳۵۴۷۸۶۷**
خطا (زمان)	۳۸	۱۶۷۵۴۳۸۵۹۹۸

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر بیوچار خام (اصلاح‌نشده) و اصلاح‌شده و ریزجانداران بر میزان جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ نفت خام نشان داد که بیشترین میزان آن در خاک متعلق به تیمار مخلوط چهار ۶۰ روزه (۱۸۷۵×۱۰۴ Cfu/ml) بود. که نسبت به تیمار شاهد ۹۶/۶۹×۱۰۴ درصد افزایش نشان داد. در رابطه با زمان، تیمار مخلوط چهار ۶۰ روزه نسبت به تیمار ۱۲۰ روزه آن (۱۲۱۸×۱۰۴ Cfu/ml) ۳۵/۰۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد. که بیانگر روند کاهشی جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ خاک در طی زمان می‌باشد. کمترین مقدار جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ نفت خام نیز متعلق به تیمار شاهد ۱۲۰ روز (۵۵ Cfu/ml) بود. که نسبت به تیمار شاهد ۱۲۰ روز ۱۱/۲۹۰ درصد کاهش را نشان داد.

جدول ۷-مقایسهٔ میانگین اثر بیوچار خام و اصلاح‌شده و ریزجانداران بر جمعیت باکتری‌های تجزیهٔ‌کننده نفت (Cfu/ml)

ردیف	تیمار	زمان اندازه‌گیری (روز)	
		۶۰	۱۲۰
۱	شاهد	۶۲ k	۵۵ k
۲	کنسرسیوم باکتری ۱%	۹۴۶۶۶۶۷ hij	۸۳۶۶۶۶۷ ij
۳	کنسرسیوم باکتری ۲%	۱۱۸۱۶۶۶۷ efgh	۱۰۵۰۰۰۰۰ fghi
۴	باگاس اصلاح‌نشده ۱%	۷۳ k	۵۷ k
۵	باگاس اصلاح‌شده ۱%	۸۸ k	۶۵ k
۶	باگاس اصلاح‌نشده ۲%	۷۷ k	۶۰ k
۷	باگاس اصلاح‌شده ۲%	۹۰ k	۷۷ k
۸	مخلوط ۱	۱۰۹۱۶۶۶۷ efghi	۹۹۵۰۰۰۰ ghij
۹	مخلوط ۲	۱۶۶۱۶۶۶۷ ab	۱۵۶۳۳۳۳۳ bc
۱۰	مخلوط ۳	۱۳۰۳۳۳۳۳ cdef	۱۲۳۵۰۰۰۰ defg
۱۱	مخلوط ۴	۱۸۷۵۰۰۰۰ a	۱۲۱۸۰۰۰۰ defgh
۱۲	نخل خرما اصلاح‌نشده ۱%	۷۲ k	۵۳ k
۱۳	نخل خرما اصلاح‌شده ۱%	۸۵ k	۷۸ k
۱۴	نخل خرما اصلاح‌نشده ۲%	۸۷ k	۶۷ k
۱۵	نخل خرما اصلاح‌شده ۲%	۸۷ k	۷۵ k
۱۶	مخلوط ۵	۸۵۳۳۳۳۳ ij	۷۳۳۳۳۳۳ j
۱۷	مخلوط ۶	۱۴۸۰۰۰۰۰ bcd	۱۳۴۵۰۰۰۰ cde
۱۸	مخلوط ۷	۱۲۰۵۰۰۰۰ defgh	۱۱۱۰۰۰۰۰ efghi
۱۹	مخلوط ۸	۱۷۱۰۰۰۰۰ ab	۱۶۴۳۳۳۳۳ ab

میانگین با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد هستند (آزمون دانکن)

مخلوط ۱: مخلوط باگاس اصلاح‌نشده ۱٪ و کنسرسیوم باکتری ۱٪، مخلوط ۲: مخلوط باگاس اصلاح‌شده ۱٪ و کنسرسیوم باکتری ۱٪، مخلوط ۳: مخلوط باگاس اصلاح‌نشده ۲٪ و کنسرسیوم باکتری ۲٪، مخلوط ۴: مخلوط باگاس اصلاح‌شده ۲٪ و کنسرسیوم باکتری ۲٪، مخلوط ۵: مخلوط نخل خرما اصلاح‌نشده ۱٪وکنسرسیوم باکتری ۱٪، مخلوط ۶: مخلوط نخل خرما اصلاح‌شده ۱٪ وکنسرسیوم باکتری ۱٪، مخلوط ۷: مخلوط نخل خرما اصلاح‌نشده ۲٪ و کنسرسیوم باکتری ۲٪ و مخلوط ۸: مخلوط نخل خرما اصلاح‌شده ۲٪ و کنسرسیوم باکتری ۲٪

در رابطه با تیمارهای دارای باکتری نیز این تیمار به نسبت تیمار باگاس نیشکر اصلاح‌شده دو درصد ۱۲۰ روزه (۹۰ Cfu/ml) سبب افزایش $۱۰^{۴}\times۹۵/۰۲$ درصدی جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ نفت خام در خاک گردید. در رابطه با تیمار کنسرسیوم باکتری ۲ درصد ۶۰ روزه (۱۱۸۱۶۶۶۷ Cfu/ml) هم تیمار مخلوط چهار ۶۰ روزه نسبت به آن سبب افزایش ۳۶/۹۷۷ درصدی جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ نفت خام شد. که این موضوع نشان‌دهندهٔ تأثیر بیوچار بر افزایش روند فعّالیّت باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ نفت خام و افزایش میزان جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ نفت خام در خاک می‌باشد. اصلاح بیوچارها سبب افزایش جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ نفت خام گردید. به گونه‌ایی که تیمار مخلوط چهار ۶۰ روزه به نسبت تیمار مخلوط سه ۶۰ روزه (۱۳۰۳۳۳۳۳ Cfu/ml) ۳۰/۴۸۸ درصد میزان جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ نفت خام را افزایش داد. در رابطه با نوع زیتوده نیز، باگاس نیشکر نسبت به بقایای نخل خرما نتیجه بهتری را حاصل کرد. به گونه‌یی که تیمار مخلوط چهار ۶۰ روزه نسبت به تیمار مخلوط هشت ۶۰ روزه (۱۷۱۰۰۰۰۰ Cfu/ml) میزان جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کننده نفت خام را ۸/۸ درصد افزایش داد. جمعیت باکتری‌های تجزیه کنندهٔ نفت به دلیل متحمل بودن و سخت‌شدن شرایط سایر ریزجاندران موجود در خاک در ابتدا افزایش پیدا می‌کند. ولی بعد از رفع محدودیت، در رقابت با جمعیت بقیه گروه‌های میکروبی کاهش پیدا می‌کند.

افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی مانند بیوچار، به خاک احتمالاً می‌تواند راهکار مناسبی برای بهبود جمعیت میکروبی خاک به خصوص در شرایط آلودگی باشد (سعید و همکاران، ۲۰۲۲؛ سانگ و همکاران،۲۰۱۸). بیوچار به‌دلیل داشتن ساختار متخلخل (شکل ۱) و سطح ویژه زیاد (جدول ۲)، می‌تواند زیستگاه‌های مناسبی را برای ریزجانداران فراهم نموده و فعالیت میکروبی خاک را افزایش دهد (فرنچ و همکاران، ۲۰۲۱). اصلاح بیوچار به روش‌های مختلف با توجه به اهداف کاربرد آن در خاک، در سالهای اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (جیانگ و همکاران، ۲۰۱۹). معمولاً اصلاح بیوچار توسط پراکسیدهیدروژن می‌تواند سبب افزایش انحلال عناصر غذایی و ترکیبات موجود در ساختار بیوچار شده و بدین ترتیب اثرات آن بر ویژگی‌های خاک‌های آهکی را تحت تأثیر قرار دهد (شاهین و همکاران، ۲۰۱۷). گروه‌های عاملی هم در اصلاح زیستگاه میکروبی و تأمین مواد غذایی ریزجاندران نقش به‌سزایی دارند (ژو و همکاران،۲۰۱۷). اصلاح بیوچار توسط پراکسید هیدروژن این گروه‌ها را افرایش داد (جدول ۲). نتایج نشان داده شده است که کاربرد بیوچار در خاک باعث بهبود خاک می‌شود. خواص فیزیکوشیمیایی (ژول و همکاران، ۲۰۱۵) در خاک یک عامل کلیدی مسئول توانایی بیوچار در تحریک فعالیت میکروبی خاک و افزایش راندمان تجزیهٔ زیستی (زیست‌پالایی) در خاکهای اصلاح شده با بیوچار می‌باشد. همچنین گزارش شده است که بیوچارهای تازه تولیدشده به عنوان منبع انرژی برای ریزجاندران (ریز موجودات) خاک در یک بازهٔ زمانی کوتاه به‌دلیل وجود کربن ناپایدار عمل می‌کند (اسمیت و همکاران، ۲۰۱۰). باکتری‌های

تجزیه‌کننده در خاک آلوده به نفت خام که دارای تیمارها بود جمعیت بالاتری را نسبت به خاک شاهد داشت. که این مسئله می‌تواند به‌دلیل افزایش کربن و البته بهبود تهویه خاک و افزایش عناصر غذایی قابل‌دسترس باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست‌آمده در پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد بیوچار خام و اصلاح‌شده و ریزموجودات در خاک‌های آلوده به نفت خام امکان بهبود جمعیت باکتری‌های هتروتروف و تجزیه‌کننده نفت را در خاک دارا است و می‌تواند در مدیریت پایدار خاک مورد استفاده قرار بگیرد. بیوچار می‌تواند به‌عنوان یک زیستگاه برای ریزموجودات عمل کرده و با توجه به پتانسیل‌ها و ویژگی‌های خود مانند میزان کربن بالا، عناصر فراوان و به خصوص تخلخل بالا در خود و همچنین گروه‌های عاملی سبب بهبود فعالیت و جمعیت این ریزجانداران در خاک می‌شود. بیوچار که به‌عنوان طلای سیاه شناخته می‌شود، توجّه روزافزونی را در زمینه‌های تحقیقاتی پیش‌رو و به‌خصوص آلودگی به خود جلب کرده است، بهگونه‌ای که گزارش‌های پژوهش‌های علمی مربوط به آن هر سال افزایش می‌یابد. این موضوع عمدتاً به‌دلیل پتانسیل بالای بیوچار در بهبود کیفیت خاک، توانایی احیای اکولوژیکی، بهبود و رفع آلودگی خاک و استفاده منطقی از زباله و مدیریت ضایعات حاصل از آن است.

منابع

شهسوارزاده جنگی، پ.، شجاع الساداتی، س. ع. و هاشمی نجف‌آبادی، س. ۱۳۸۷ارزیابی اثر بافت خاک بر زیست پالایی خاک های آلوده به نفت خام. دوازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران. دانشگاه صنعتی سهند، تبریز.

شریفی حسینی، س.، شهبازی، ع.، یزدی‌پور، ع. ا. و کامرانفر، ا. ۱۳۸۸. پالایش زیستی خاک‌های آلوده به نفت خام با کودهای شیمیایی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳ (۳) : ۱۵۵-۱۴۵.

کاووسی بافتی، م.، اسرار، ز.، حسن‌شاهیان، م. و کرامتیان، ب. ۱۳۹۳. بررسی اثر آلودگی نفتی و باکتری‌های تجزیه‌کننده نفت‌خام بر برخی شاخص‌های بیوشیمیایی و رشد گیاه ذرت. نشریه زیست‌شناسی گیاهی ایران، ۲۱ (۶) : ۸۴-۷۱.

حیدری‌فرد، م. ح. ۱۳۸۱. بررسی نیکل و وانادیم مخازن آسماری و بنگستان میدان بی‌بی حکیمه. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی.

سلیمی، م.، ابراهیمی، س. و قربانی نصرآبادی، ر. ۱۳۹۹. بهینه سازی زنده مانی باکتری غیر بومی تجزیه گر موثر نفت خام در حامل های مختلف. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. jest.2020.34708.4186.

غازان شاهی. ۱۳۸۵. آنالیز خاک و آب و گیاه. انتشارات آییژ.

Ali S, Rizwan M, Noureen S, Anwar S, Ali B, Naveed M, Abd_Allah EF, Alqarawi AA, Ahmad P 2019. Combined use of biochar and zinc oxide nanoparticles foliar spray improved the plant growth and decreased the cadmium accumulation in rice (Oryza sativa L.) plant. Environmental Science and Pollution Research. 26(11):11288-11299. Doi : 10.1007/s11356-019-04554-y.

Alsanad H.A., Eid w.k., and Ismael N.F. 1995. “Geotechnical properties of oil contaminated Kuwaiti sand,”Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 121 (5) : 407–412.

Alef, K ,.and Nannipieri, P .1995 .Methods in applied soil microbiology and biochemistry .ACADEMIC PRESS.

Beiyuan, J., Qin, Y., Huang, Q., Wang, H., Tsang, D.C. and Rinklebe, J. 2021. Effects of modified biochar on As-contaminated water and soil: A recent update. Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection, 7 : 107-136. https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2021.08.005.

Chen, B., Zhou, D. and Zhu, L. 2008. Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures. Environmental science and Technology. 42(14) : 5137-5143. https://doi.org/10.1021/es8002684.

Dong, H., Zhang, C., Hou, K., Cheng, Y., Deng, J., Jiang, Z., Tang, L. and Zeng, G., 2017. Removal of trichloroethylene by biochar supported nanoscale zero-valent iron in aqueous solution. Separation and Purification Technology, 188 : 188-196. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.07.033.
Frene, J. P., Frazier, M., Liu, S., Clark, B., Parker, M. and Gardner, T. 2021. Early Effect of Pine Biochar on Peach-Tree Planting on Microbial Community Composition and Enzymatic Activity. Applied Sciences, 11(4), 1473. https://doi.org/10.3390/app11041473.

Huff, M.D., Kumar, S., Lee, J.W., 2014. Comparative analysis of pinewood, peanut shell, and bamboo biomass derived biochars produced via hydrothermal conversion and pyrolysis. Journal of environmental management 146, 303-308.
Lee, J.W., Kidder, M., Evans, B.R., Paik, S., Buchanan Iii, A.C., Garten, C.T. and Brown, R.C., 2010. Characterization of biochars produced from cornstovers for soil amendment. Environmental science and technology, 44(20) : 7970-7974.
Li, Y., Shao, J., Wang, X., Deng, Y., Yang, H. and Chen, H. 2014. Characterization of modified biochars derived from bamboo pyrolysis and their utilization for target component (furfural) adsorption. Energy Fuels. 28 (8) : 5119–5127. https://doi.org/10.1021/ef500725c.

Lu, H., Li, Z., Fu, S., Méndez, A., Gascó, G., Paz-Ferreiro, J., 2014. Combining phytoextraction and biochar addition improves soil biochemical properties in a soil contaminated with Cd Chemosphere, 119, 209–216. doi:10.1016/j. chemosphere.2014.06.024, 2015.

Luo, J., Li, X., Ge, C., Müller, K., Yu, H., Huang, P., Li, J., Tsang, D.C., Bolan, N.S., Rinklebe, J. and Wang, H. 2018. Sorption of norfloxacin, sulfamerazine and oxytetracycline by KOH-modified biochar under single and ternary systems. Bioresource Technology, 263 : 385-392. doi: 10.1016/j.biortech.2018.05.022.
Mansoor, S., Kour, N., Manhas, S., Zahid, S., Wani, O.A., Sharma, V., Wijaya, L., Alyemeni, M.N., Alsahli, A.A., El-Serehy, H.A., Paray, B.A., Ahmad, P., 2021. Biochar as a tool for effective management of drought and heavy metal toxicity. Chemosphere, 271, 129458.

McLean, E.O. 1983. Soil pH and lime requirement. Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties, 9 : 199-224. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c12.

Mierzwa-Hersztek, M., Wolny-Koładka, K., Gondek, K., Gałązka, A. and Gawryjołek, K., 2020. Effect of coapplication of biochar and nutrients on microbiocenotic composition, dehydrogenase activity index and chemical properties of sandy soil. Waste and Biomass Valorization, 11 : 3911-3923. 10.1007/s12649-019-00757-z.

Minai-Tehrani D., Herfatmanesh A., Azari-Dehkordi F., and Minooi S. 2006. Effect of salinity on biodegradation of aliphatic fractions of crude oil in soil. Pakistan Journal of Biological Sciences: 1531-1535.

Mishra, S., Sarma, P.M. and Lal, B., 2004. Crude oil degradation efficiency of a recombinant Acinetobacter baumannii strain and its survival in crude oil-contaminated soil microcosm. FEMS microbiology Letters, 235(2) : 323-331. doi: 10.1016/j.femsle.2004.05.002.
Olsen, S., Cole, C., Watanabe, F., Dean, L. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular Nr 939, US Gov.Print. Office, Washington, D.C. oclc/17316676.

Olsen, S., Cole, C., Watanabe, F., Dean, L. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular Nr 939, US Gov.Print. Office, Washington, D.C. oclc/17316676.

Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney D. R. 1982. Methods of soil analysis Agronomy No G. Partz USA. Inc. doi: 10.2134/agronmonogr9.2.2ed.frontmatter.

Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney D. R. 1982. Methods of soil analysis Agronomy No G. Partz USA. Inc. doi: 10.2134/agronmonogr9.2.2ed.frontmatter.

Park, J.H., Cho, J.S., Ok, Y.S., Kim, S.H., Kang, S.W., Choi, I.W., Heo, J.S., DeLaune, R.D. and Seo, D.C. 2015. Competitive adsorption and selectivity sequence of heavy metals by chicken bone-derived biochar: batch and column experiment. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 50(11) : 1194-1204. doi: 10.1080/10934529.2015.1047680.

Rajapaksha, A.U., Chen, S.S., Tsang, D.C.W., Zhang, M., Vithanage, M., Mandal, S., Gao, B., Bolan, N.S., Ok, Y.S., 2016. Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: Potential and implication of biochar modification. Chemosphere, 148, 276–291. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.043.

Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R., and Lehmann, J. 2011. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. Biology and Fertility of Soils, 48(3): 271-284. http://dx.doi.org/10.1007/s00374-011-0624-7. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.043.

Rhoads. J. D., Ingvabon, R. D. and Hatcher, D. D. 1970. Labortory determination Leacheable soil boron. Soil Science Society of America Journal, 34: 871-875. https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400060018x.

Saeed, M., Ilyas, N., Jayachandran, K., Gaffar, S., Arshad, M., Ahmad, M.S., Bibi, F., Jeddi, K. and Hessini, K., 2021. Biostimulation potential of biochar for remediating the crude oil contaminated soil and plant growth. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(5) :2667-2676. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.03.044.

Sahin, O., Taskin, M.B., Kaya, E.C., Atakol, O., Emir, E., Inal, A. and Gunes, A. 2017. Effect of acid modification of biochar on nutrient availability and maize growth in a calcareous soil. Soil Use and Management, 33(3), 447-456. https://doi.org/10.1111/sum.12360.

Shaaban, A., Se, S.M., Mitan, N.M.M. and Dimin, M.F., 2013. Characterization of biochar derived from rubber wood sawdust through slow pyrolysis on surface porosities and functional groups. Procedia Engineering, 68: 365-371. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.12.193.

Sun, C., Chen, T., Huang, Q., Wang, J., Lu, S. and Yan, J. 2019. Enhanced adsorption for Pb (II) and Cd (II) of magnetic rice husk biochar by KMnO 4 modification. Environmental Science and Pollution Research, 26 : 8902-8913. doi: 10.1007/s11356-019-04321-z.

Takaya, C.A., Fletcher, L.A., Singh, S., Okwuosa, U.C. and Ross, A.B. 2016. Recovery of phosphate with chemically modified biochars. Journal of environmental chemical engineering. 4(1) : 1156-1165. https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.01.011.

Tan, Z., Zou, J., Zhang, L. and Huang, Q. 2018. Morphology, pore size distribution, and nutrient characteristics in biochars under different pyrolysis temperatures and atmospheres. Journal of Material Cycles and Waste Management. 20(2) : 1036-1049. DOI : 10.1007/s10163-017-0666-5.

Tang, L., Zeng, G., Nourbakhsh, F. and Shen, G.L. 2009. Artificial neural network approach for predicting cation exchange capacity in soil based on physico-chemical properties. Environmental Engineering Science, 26(1) : 137-146.

Tavalla;I, H. and Massomi, T. 1998. Simulation Kinetic spectrophotometric determination of vanadium and iron, pp: 479-485. doi: 10.1016/s0039-9140(98)00156-8.

Usman, A.R., Ahmad, M., El-Mahrouky, M., Al-Omran, A., Ok, Y.S., Sallam, A.S., El- Naggar, A.H. and AlWabel, M.I. 2015. Chemically modified biochar produced from conocarpus waste increases NO 3 removal from aqueous solutions. Environmental Geochemistry and Health, 38 (2) : 511–521. DOI : 10.1007/s10653-015-9736-6.

Wang, Z., Zheng, H., Luo, Y., Deng, X., Herbert, S. and Xing, B., 2013. Characterization and influence of biochars on nitrous oxide emission from agricultural soil. Environmental pollution, 174 : 289-296. doi: 10.1016/j.envpol.2012.12.003.
Wei, T., Gao. H., An, F., Ma, X., Hua, L. and Guo, J. 2023. Performance of heavy metal-immobilizing bacteria combined with biochar on remediation of cadmium and lead co-contaminated. soil Environmental Geochemistry and Health, 2023 May 19. doi: 10.1007/s10653-023-01605-9. Epub ahead of print. PMID: 37204552.

Zhang, B., Zhang, L., Zhang, Xiu, 2019. Bioremediation of petroleum hydrocarboncontaminated soil by petroleum-degrading bacteria immobilized on biochar. RSC advances. 9, 35304–35311. https://doi.org/10.1039/C9RA06726D.

Investigating the effect of raw and modified biochar on microbial populations in crude oil contaminated soil

Effect of unamended and amended biochar and microorganisms on cation exchange capacity of crude oil contaminated soil

Milad Biria[1*], Habibalhah Nadian Qomsheh[2], Hossein Motamedi[3], Bijan Khalili Moghadam[4], Nafsieh Rangzan[5]

1- PhD student of soil fertility management and biotechnology, Faculty of Agriculture, Khuzestan University of Agriculture and Natural Resources, Molasani, Iran

2- Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Khuzestan University of Agriculture and Natural Resources, Molasani, Iran

3- Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

4- Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Khuzestan University of Agriculture and Natural Resources, Molasani, Iran

5- Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Khuzestan University of Agriculture and Natural Resources, Molasani, Iran

Abestract :

Soil contamination with organic matter and toxins is a common environmental problem. This research was conducted at Shahid Chamran University of Ahvaz (Faculty of Sciences and Faculty of Agriculture). In this research, an experiment was conducted in the form of a repeated measures design over time. In the middle and end of the experimental period (60 and 120 days), the effect of different levels of unmodified and modified biochar of sugarcane and date palm bagasse (1 and 2%) along with microorganisms (with biochar and without biochar and a total of 57 experimental samples in two times) was carried out. Sugarcane bagasse and date palm waste were used to prepare biochars. Biochar modification was performed with 10% hydrogen peroxide. Experimental design used in the research The results obtained showed that modification of treatments increased the microbial population in the soil. In a way,

the 60-day treatment of the four-mixture (modified sugarcane bagasse and 2% bacterial consortium) caused an increase of 15.882% in the cation exchange capacity in the soil compared to its raw (unmodified) treatment (25.740 cmol/kg). The highest amount in the soil belonged to the 60-day treatment of the four-mixture (1875×104 Cfu/ml). Which showed an increase of 96.69% compared to the control treatment. Regarding the population of heterotrophic bacteria in the soil, the highest amount in the soil belonged to the 120-day treatment of the four-mixture (1011×2.065 Cfu/ml). Which showed an increase of 94.527% compared to the 120-day control treatment. **Keywords: Sugarcane bagasse, date palm, microbial population, hydrogen peroxide, microbial consortium.**