

## تأثیرات زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی (TPHs)

نیلوفر محمدی<sup>۱</sup>، عطااله خادم‌الرسول<sup>۲\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰)

(تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۲۵)

### چکیده

استخراج و بهره‌برداری از ترکیبات نفتی و فرآورده‌های آن، منجر به آلودگی خاک و محیط‌زیست پیرامونی می‌گردد. بنابراین، اصلاح خاک‌های آلوده به مواد نفتی از اهمیت شایانی برخوردار است. در این پژوهش، تأثیرات زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت به‌عنوان مواد اصلاح‌کننده، بر برخی از ویژگی‌های خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی در محدوده میدان نفتی اهواز بررسی گردید. برای این منظور، پس از بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری به روش سیستماتیک کاملاً تصادفی درون بلوک، نمونه‌های خاک به گلدان‌های ۷ کیلوگرمی منتقل شد و تیمارهای آزمایشی در سطوح ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی به خاک افزوده شد. سپس رطوبت در سطح ۲۵ و ۵۰ درصد FC به خاک اعمال گردید و نمونه‌ها به مدت ۱۰۰ روز انکوباسیون شدند. پس از اتمام انکوباسیون، جرم ویژه ظاهری، تخلخل، ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک، درصد کل هیدروکربن‌های نفتی و مدت زمان نفوذ قطرات آب اندازه‌گیری شد و در نهایت، کلاس آبگذری خاک تعیین گردید. همچنین، نمودار کروماتوگرافی تغییرات هیدروکربن‌های نفتی توسط دستگاه GC ترسیم شد. بر اساس نمودار کروماتوگرافی، حدوداً ۵۰ درصد نرمال آلکان‌ها را کربن C13-C20 تشکیل می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن زغال-زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت به خاک، منجر به کاهش جرم ویژه ظاهری، افزایش تخلخل کل، افزایش نفوذپذیری و افزایش نگهداشت رطوبت توسط خاک می‌گردد. با افزایش سطح افزایشی تیمارها به خاک، میزان اثربخشی آنها نیز بیشتر شده است و در مجموع تیمار ۶ درصد زغال‌زیستی در سطح رطوبتی ۲۵ درصد FC، از بیشترین اثربخشی برخوردار بود. کمترین جرم ویژه ظاهری و بیشترین تخلخل حاصله، مربوط به سطح ۶ درصد زغال‌زیستی و در سطح ۲۵ درصد FC می‌باشد. همچنین، سطح ۶ درصد زئوپلانت، مقدار PWP را از ۸ درصد نمونه شاهد به حدود ۱۶ درصد افزایش داده است. بدین ترتیب، استفاده از این تیمارها که در راستای اهداف مدیریت پایدار می‌باشد، نقش بسزایی را در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک ایفاء می‌نماید.

**واژه‌های کلیدی:** تخلخل خاک، کروماتوگرافی گازی (GC)، کلاس آبگذری، مدیریت پایدار، نفوذ قطرات آب

محمدی، ن. خادم‌الرسول، ع. ۱۴۰۰. تأثیرات زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۹، شماره ۱، صفحه: ۱۴-۲۷.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز

۲- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

\* پست الکترونیک: [a.khademalrasoul@scu.ac.ir](mailto:a.khademalrasoul@scu.ac.ir)

## مقدمه

استان خوزستان با دارا بودن ذخایر عظیم نفت و گاز، یکی از مهمترین مراکز نفتی ایران به شمار می‌آید. وجود این پتانسیل در استان، فرصت‌ها و تهدیدهایی را به دنبال داشته است که نیازمند مدیریتی اصولی می‌باشند. هیدروکربن‌های نفتی با توجه به حلالیت، فراریت و قابلیت زیست‌تخریبی بالا، به‌عنوان یکی از معمول‌ترین گروه‌های آلی آلوده‌کننده محیط‌زیست محسوب می‌شوند. وجود آلاینده‌های نفتی در خاک، تأثیرات مخربی را بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیکی و هیدرولیکی خاک بر جای می‌گذارد (Besalatpour et al., 2011). آلاینده‌های نفتی منجر به آلودگی می‌گردد که به‌واسطه وجود پوشش‌های آبریز در سطح ذرات و دیواره‌های منافذ خاک ایجاد می‌شود و سبب کاهش نگهداشت آب توسط خاک می‌گردد (Takavira et al., 2014). مقاومت یک خاک در برابر مرطوب شدن برای دوره‌های چند دقیقه‌ای تا چند ساعته را آبریزی می‌نامند که در این حالت زاویه تماس بین آب و خاک بیشتر از ۹۰ درجه است (Adams Doerr et al., 2000; et al., 2008). میزان آبریزی تابع بافت خاک، درصد رطوبت خاک، نوع رس و درصد مواد آلی خاک می‌باشد (Badia et al., 2013). آبریزی خاک و تشکیل لایه‌های دفع آب به ویژه در سطح خاک، خسارات جبران‌ناپذیری بر کیفیت خاک برجای می‌گذارد که اصلاح و بهبود آن نیازمند صرف هزینه و وقت زیادی است (Farzadian et al., 2014). وقوع آبریزی در خاک منجر به کاهش نفوذ آب به خاک، افزایش رواناب سطحی، توزیع غیریکنواخت رطوبت در خاک و ایجاد جریان‌های ترجیحی و تشدید رخدادهای فرسایش خاک می‌شود (Franco et al., 2000). روی و مک‌گیل (Roy & McGill, 1997) گزارش نمودند که نفت خام عامل مهمی در ایجاد آبریزی است و از طریق فازهای بخار و مایع، خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بخش فرار نفت خام، با تبخیر و سپس تصعید در خاک، به صورت پوشش آبریز روی سطح خاکدانه‌ها قرار گرفته و رطوبت‌پذیری خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Farzadian et al., 2014). آلوده شدن خاک‌ها توسط آلاینده‌های نفتی منجر به مسدود شدن خلل و فرج خاکدانه‌ها، کاهش تهویه و نفوذ آب در خاک، افزایش جرم ویژه ظاهری و کاهش نگهداشت آب

در خاک می‌گردد (Abosde, 2013; Herbert et al., 2013). با استفاده از روش‌های مختلفی می‌توان خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی را اصلاح و آبریزی آن را کاهش داد که از آن جمله می‌توان به هوادهی، استفاده از میکروارگانسیم‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن‌های نفتی، شستشو با شوینده‌های زیستی، زیست‌پالایی و افزودن مواد آلی به خاک اشاره نمود. با توجه به فراوانی قابل توجه ضایعات آلی به عنوان زیتوده موجود برای تهیه زغال‌زیستی، هزینه نسبتاً پایین تولید و توانایی زغال‌زیستی در حذف عناصر سنگین و آلاینده‌های آلی، در نتیجه استفاده از آن می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر در کاهش و یا حذف آلودگی زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد (Azimzadeh et al., 2020). همچنین، پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که زئوپلانت به‌عنوان یک تیمار آلی-معدنی، قادر به افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک است. در نتیجه، در بهبود توازن رطوبتی در خاک‌های آلوده به مواد نفتی می‌تواند یک گزینه قابل استفاده تلقی گردد (Lohrasbi et al., 2019). پژوهش‌هایی پیرامون اصلاح خاک‌های آبریز در کشور صورت گرفته است، لیکن در مورد تأثیرات زغال‌زیستی و زئوپلانت بر آبریزی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی، مطالعه‌ای منتشر نشده است. با توجه به ویژگی‌های خاص زغال‌زیستی بالاخص جرم ویژه ظاهری پایین و سطح ویژه بالا، در نتیجه قادر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و ساختمانی خاک‌ها می‌باشد (Hertath et al., 2010; Novak et al., 2013). همچنین، زئوپلانت از ظرفیت نگهداشت آب بالایی برخوردار است و به دلیل برخورداری از بخش آلی در ساختار خود، می‌تواند نقش اصلاح‌کننده را ایفاء نماید. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیرات زغال‌زیستی و زئوپلانت بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی پایه‌ریزی و عملیاتی شد.

## مواد و روش‌ها

## موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

محدوده مطالعاتی منطقه بهره‌برداری نفت و گاز کارون در میدان نفتی اهواز و در اطراف چاه‌های ۳۱ و ۳۲ در مختصات جغرافیایی  $48^{\circ} 44' 93''$  تا  $48^{\circ} 44' 95''$  طول

روش استات سدیم (Herbert *et al.*, 2012)، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلاک (Walkley & Black, 1934) و بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986) اندازه گیری شد. به علت آلوده بودن خاک‌ها و فولوکوله شدن ذرات آن، ابتدا خاک دو مرتبه توسط استن شست‌وشو شد و سپس بافت خاک با روش هیدرومتری تعیین گردید. همچنین، پارامترهای واکنش خاک و هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شدند. جهت بررسی میزان آبگریزی خاک از روش مدت زمان نفوذ قطرات آب (WDPT) استفاده شد (Hallet *et al.*, 2006). در این روش ابتدا ۱۰ گرم خاک آلوده به نفت برداشته شده از اطراف چاه نفت به پتری دیش منتقل شد و رطوبت لازم در حد ۲۵ و ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی تامین گردید. سپس، برای مدت ۵ دقیقه تکان داده شد و مدت زمان نفوذ قطرات آب به درون خاک اندازه‌گیری شد. بدین منظور، بر روی هر کدام از نمونه‌ها ۳ قطره آب دیونیزه از ارتفاع تقریباً ۱ سانتی‌متر با قطره چکان اضافه شد و مدت زمان نفوذ قطرات آب به درون خاک با زمان‌سنج دقیق اندازه‌گیری و به عنوان معیاری جهت ارزیابی آبگریزی خاک ثبت گردید. با توجه به مدت زمان نفوذ قطرات آب، درجه آبگریزی هر نمونه تعیین شد (جدول ۱). با اندازه‌گیری وزن خاک قبل از قرار دادن در دستگاه سوکسله و بعد از عصاره‌گیری از خاک و با استفاده از رابطه زیر (۱)، درصد آلودگی به دست آمد:

$$\text{Pollution} = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \times 100 \quad (1)$$

شرقی و ۱۹° ۳۱' تا ۲۰° ۳۱' عرض شمالی واقع شده است. منطقه مطالعاتی دارای متوسط بارش سالانه ۲۱۳ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت ۲۶/۳ درجه سلسیوس، میانگین بیشینه دمایی ۳۹/۲ و میانگین کمینه دمایی ۱۲/۴ درجه سلسیوس است. سرعت متوسط وزش باد ۱۰ متر بر ثانیه است. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه به ترتیب یوستیک و هایپرترمیک می‌باشد. خاک مورد مطالعه به‌طور غالب دارای کلاس بافت لوم رس سیلتی مشتمل بر ۱۸ درصد شن، ۵۴ درصد سیلت و ۲۸ درصد رس است. بر اساس طبقه‌بندی مترنیخت و زینک (Metternicht & Zinck, 2003) خاک مورد مطالعه دارای هدایت الکتریکی ۶/۱۹ دسی‌زیمنس بر متر، یعنی شوری کم است. خاک مورد مطالعه دارای ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۴/۴۱ سانتی‌مول بر کیلوگرم و واکنش ۷/۲۹ می‌باشد. به علاوه، با توجه به این که میانگین نفوذ قطرات آب در نمونه خاک آلوده به نفت ۱۳۳۴۰ ثانیه می‌باشد، این خاک بر اساس طبقه‌بندی (Dekker & Ritsema, 1996a) در رده بسیار آبگریز قرار دارد.

#### نمونه‌برداری خاک و آنالیز آزمایشگاهی

پس از انجام بازدیدهای میدانی و ارزیابی‌های مزرعه‌ای در عرصه، نمونه‌برداری به روش کاملاً تصادفی درون بلوک صورت پذیرفت و نمونه‌ها به گونه‌ای تهیه شد که نماینده خاک منطقه مطالعاتی باشد. نمونه‌های خاک به صورت مرکب و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و هوا خشک شدن، نمونه‌ها جهت اعمال تیمارها و شرایط انکوباسیون به گلدان‌های ۷ کیلوگرمی منتقل گردیدند. همچنین مقداری از نمونه خاک برای انجام آنالیزها استفاده شد. در نمونه خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی به

جدول ۱- کلاس‌بندی خاک‌ها از لحاظ آبگریزی بر اساس زمان نفوذ قطرات آب (Dekker & Ritsema, 1996a)

Table 1. Soil hydrophobic classification based on the time of water drop penetration into the soil (Dekker & Ritsema, 1996a)

Hydrophobic class	Non-Hydrophobic	Relatively hydrophobic	Hydrophobic	High hydrophobic	Extremely hydrophobic
Range	> 5 sec.	5-60 sec.	60-600 sec.	600-3600 sec.	> 3600 sec.

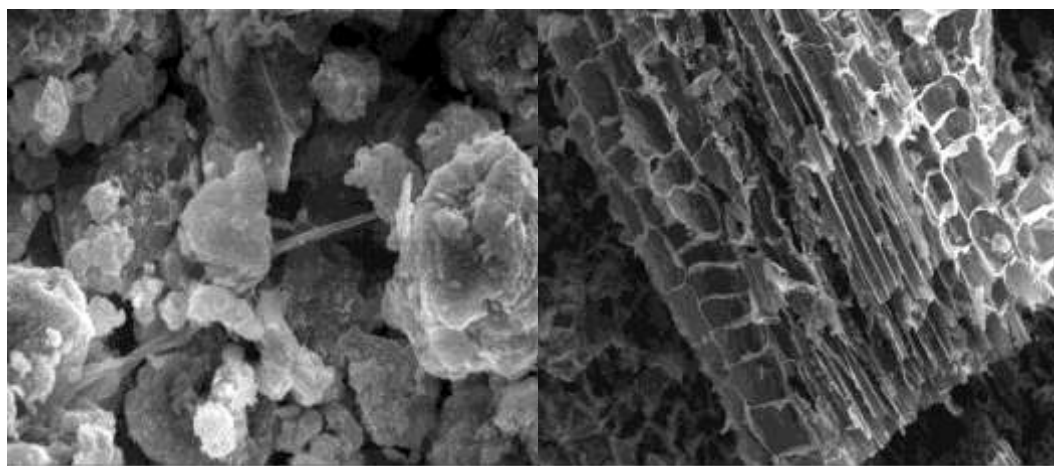
ویژه ظاهری خاک توسط نمونه‌برداری با حجم معین و توزین تفاضلی خاک مرطوب و خشک اندازه‌گیری شد (Klute, 1986). پس از محاسبه جرم

ویژه ظاهری به کمک رابطه (۲)، درصد تخلخل خاک محاسبه گردید:

مورفولوژی سطح تیمارهای ارزیابی شده مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱). زئوپلانت نام تجاری نوعی زئولیت غنی شده است. این ماده در بهبود نگهداری آب در خاک نقش موثری دارد و از ترکیب مواد معدنی و آلی طبیعی تشکیل شده است. زئوپلانت از گروه سوپر جاذب‌ها بوده و ماده صد در صد طبیعی است و از سه بخش اصلی که در تمام خاک‌های با کیفیت خوب وجود دارد، تشکیل شده است. دو بخش آن، از انواع سنگ‌های طبیعی معدنی است و بخش دیگر از الیاف طبیعی استخراج شده است.

$$n = 1 - \left(\frac{\rho_b}{\rho_s}\right) \times 100 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، جرم ویژه ظاهری ( $\rho_b$ ) بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و جرم ویژه حقیقی ( $\rho_s$ ) معادل ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. همچنین، رطوبت ظرفیت مزرعه (حد FC) توسط دستگاه صفحات فشاری در مکش معادل ۳۳۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (Klute, 1986). همچنین، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل LEO1455VP، تصاویر میکروسکوپی دقیقی از زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت تهیه شد که در نشان دادن اختلاف در وضعیت



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM): (الف) زغال‌زیستی، (ب) زئوپلانت  
Figure 1. The SEM images: (a) Biochar of Bagasse and (b) Zeoplant

دستگاه GCmass مدل Agilent7890B استفاده شد. دستگاه GCmass مورد استفاده دارای آشکارساز MSD مدل B5977، گاز حامل هلیوم، سرعت جریان ۱ میلی-لیتر بر دقیقه و طول ستون ۳۰ متر است. همچنین درصد نرمال آلکان‌ها نمایش داده شده است (شکل ۲).

جهت عصاره‌گیری هیدروکربن‌های نفتی از خاک آلوده به مواد نفتی، از دستگاه سوکسله، مدل FOSS 2050 استفاده شد. بدین منظور، مقدار ۱۰ گرم نمونه در عصاره‌گیر سوکسله با ۲۵۰ میلی‌لیتر از مخلوط هگزان و دی‌کلرومتان با نسبت (۱:۱) استخراج گردید. برای اندازه‌گیری TPH (کل هیدروکربن‌های نفتی)، از

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

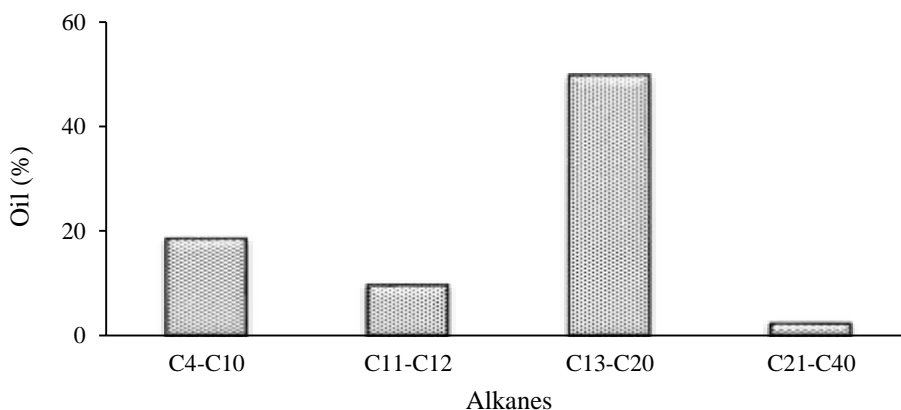
Table 2. Some physical and chemical properties of studied soil

Parameter	EC	pH	OM	CEC	FC	ST	TPHs	Permeability	WDPT
Unit	dS.m <sup>-1</sup>	-	%	Cmol.kg <sup>-1</sup>	Vol.(%)	-	Mg.kg <sup>-1</sup>	-	Sec.
Amount	6.19	7.29	5.56	14.41	19.28	SiCL	11580	Extremely Hydrophobic	13340

## تهیه و اعمال تیمارها

در این پژوهش، به منظور تهیه زغال زیستی به عنوان تیمار آلی، از زیتوده حاصل از بقایای آلی باگاس نیشکر استفاده شد. پس از هوا خشک کردن زیتوده تهیه شده از بقایای مزارع نیشکر، به منظور تهیه زغال زیستی، نمونه زیتوده هوا خشک شده درون جعبه‌ای فلزی از جنس آهن گالوانیزه با آستر ورقه نازک آلومینیومی قابل تعویض و با ابعاد متناسب با محفظه کوره قرار داده شد. نمونه‌ها توسط وزنه ۱۰ کیلوگرمی جهت تخلیه هوا، کاملاً فشرده

شدند و بعد از پوشاندن کامل مواد درون جعبه توسط ورقه آلومینیومی، درب جعبه محکم بسته شده و درون کوره الکتریکی Muffle Furnace مدل SEF-101 ساخت شرکت FINE TECH قرار داده شد. فرآیند گرماکافت نمونه‌ها درون کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس و با نرخ افزایش دمای ۵ درجه سلسیوس در دقیقه و به مدت ۳ ساعت انجام شد که به عنوان فرآیند گرماکافت آهسته نامیده می‌شود.



شکل ۲- درصد نرمال آلکان‌ها در کروماتوگرافی عصاره خاک اندازه‌گیری شده توسط GC Mass

Figure 2. Percentage of Alkane in the soil measured using GC mass

نمونه‌ها برای یک دوره زمانی ۱۰۰ روزه انکوباسیون شدند. جهت ارزیابی تاثیرات تیمارها بر خاک مورد مطالعه، تعداد ۶ گلدان به عنوان شاهد (بدون افزودن تیمارها) در نظر گرفته شدند. پس از تهیه و تولید تیمارها، با بهره‌گیری از روش‌های استاندارد، pH و EC آنها در عصاره ۱:۱۰ اندازه‌گیری شد (Rajkovich *et al.*, 2011). ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات آمونیوم و سطح ویژه به روش BET (Rajkovich *et al.*, 2011) اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

همچنین، زئوپلانت به عنوان یک تیمار آلی-معدنی با ظرفیت بسیار بالا در نگهداری آب در خاک، از یک شرکت تولید و پخش زئوپلانت در شهر جمیره کشور امارات تهیه و به خاک افزوده شد. این ماده به صورت پودری و تقریباً سفید رنگ است. سپس، تیمارها در سطوح ۲، ۴ و ۶ درصد به گلدان‌های محتوی خاک افزوده شدند و با بهره‌گیری از دستگاه تتاپروب، سطوح رطوبتی ۲۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه برای نمونه‌های تیمار شده تامین گردید. پس از افزودن تیمارها به گلدان‌های خاک،

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی زغال زیستی باگاس و زئوپلانت مورد استفاده

Table 3. The chemical properties of biochar and zeoplant applied in this study

Amendment/Parameter	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	SSA (m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	CEC (cmol.kg <sup>-1</sup> )
Zeoplant	2.01	6.82	110	178.5
Biochar	0.96	8.76	75	69.29

## تجزیه و تحلیل آماری

نتایج و بحث  
اثر سطوح مختلف کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر جرم ویژه ظاهری، تخلخل، آبگریزی و نگهداشت رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی، در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل 3<sup>n</sup> در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با استفاده از نرم افزار SPSS 23 انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۱ درصد انجام شد.

جدول ۴- تجزیه واریانس تاثیرات زغال زیستی و زئوپلانت بر ویژگی‌های فیزیکی و کلاس آبگذری خاک نفتی

Table 4. Variance analysis of biochar and zeoplant on physical properties and permeability of contaminates soils with TPHs

Source of variation	df	Mean Square					
		BD	Porosity	FC	WDPT	PWP	AWC
Treatment type	1	161**	2268.75**	9.135**	4412287**	9.083**	1.009**
Moisture level	1	0.37**	56.333**	24.255**	3439141**	1.428**	7.458**
Treatment level	3	0.825**	113.806**	80.152**	5568700**	79.100**	4.130**
Treatment level×Type	3	0.192**	267.250**	13.371**	132368**	3.726**	16.520**
Treatment	1	0.001**	8.722**	0.156**	4491594**	4.267**	0.881**
Type×Moisture level							
Moisture level×Treatment level	3	0.005ns	0.333ns	0.306**	434617**	1.643**	0.472**
Treatment level×Type×Moisture level	3	0.010**	0.944**	0.440ns	22054**	1.982**	0.560ns
Error		0.240	47.354	1.066	2286	1.726	1.147
CV		0.394	3.3055	0.703	32.296	0.196	0.409

BD: Bulk density, FC: Field capacity, WDPT: Water drop penetration test, PWP: Permanent wilting point, AWC: Available water content

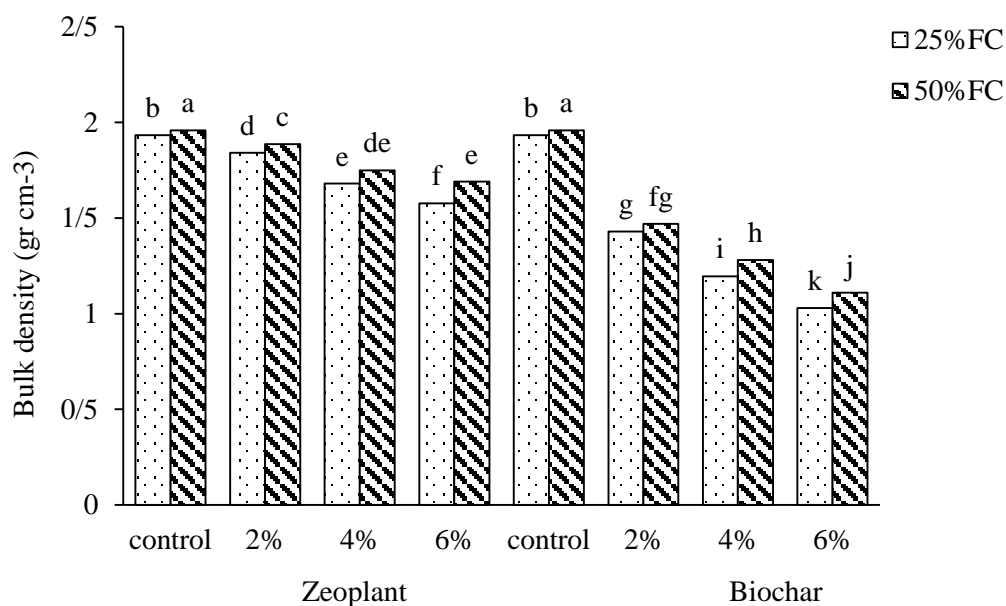
## جرم ویژه ظاهری و تخلخل خاک

متر مکعب در تیمار شاهد (فاقد تیمارهای آلی) به حدود ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سطح ۶ درصد زغال-زیستی رسیده است. علاوه بر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها و سطوح افزوده شده آن‌ها به خاک، سطوح رطوبتی نیز دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد. مهم‌ترین دلیل کاهش جرم ویژه ظاهری خاک در اثر کاربرد زغال زیستی و زئوپلانت، به دلیل تخلخل بالای تیمارهای آلی افزوده شده به خاک و جرم ویژه ظاهری بسیار پایین این مواد آلی است که به شکل معنی‌داری منجر به متخلخل شدن خاک و در نتیجه کاهش معنی‌دار جرم ویژه ظاهری می‌گردند. نتایج سایر پژوهشگران نیز موید کاهش جرم ویژه ظاهری و سایر ویژگی‌های خاک متاثر از افزودن تیمارهای آلی به خاک است (Burrel *et al.*, 2013; 2013; Herbert *et al.*, 2012). خاک‌های آلوده به نفت دارای جرم ویژه ظاهری بالایی هستند. آلودگی نفتی

تغییرات جرم ویژه ظاهری خاک متاثر از سطوح مختلف تیمارهای زغال زیستی و زئوپلانت و همچنین سطوح رطوبتی مشتمل بر ۲۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (FC) در شکل ۳ نشان داده شده است. افزودن تیمارها به خاک، به شکل معنی‌داری منجر به کاهش جرم ویژه ظاهری خاک گردید که این کاهش در جرم ویژه ظاهری، برای هر دو سطح رطوبتی نیز مشهود است. همچنین، با افزایش سطح تیمار افزوده شده به خاک، کاهش در جرم ویژه ظاهری به مقدار بیشتری رخ داده است. تا جایی که بیشترین کاهش در جرم ویژه ظاهری خاک در سطح ۶ درصد هر تیمار مشاهده می‌گردد. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، در مقایسه بین تیمارهای زغال زیستی و زئوپلانت، تاثیر زغال زیستی در کاهش جرم ویژه ظاهری خاک بیشتر است. به گونه‌ای که جرم ویژه ظاهری خاک از حدودا ۱/۹ گرم بر سانتی-

ساختار متخلخل (دارای منافذ ریز و درشت) برخوردارند. سطح ویژه بالا و وجود ساختار متخلخل در زغال‌زیستی و زئوپلانت موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش خاکدانه‌سازی و در نتیجه کاهش جرم ویژه ظاهری خاک گردیده است. بارل و همکاران (Burrel *et al.*, 2016) گزارش کرده‌اند مصرف زغال‌زیستی موجب شکل‌گیری خاکدانه‌ها و افزایش منافذ خاک و کاهش جرم ویژه ظاهری خاک می‌شود. موخرجی و همکاران (Mukherjee *et al.*, 2013) با کاربرد ۰/۵ درصد زغال-زیستی بلوط در آزمایش گلدانی در مدت ۴ ماه در خاک لومی سیلتی، شاهد کاهش ۱۳ درصدی جرم ویژه خاک تیمار شده نسبت به خاک شاهد بودند. اولیت و همکاران (Ulytt *et al.*, 2014) مشاهده کردند با افزودن ۶۰ تن در هکتار زغال‌زیستی درخت چنار به خاک شنی لومی، جرم ویژه ظاهری خاک تیمار شده نسبت به خاک شاهد پس از گذشت ۶۰ روز، کاهش یافته است.

همچون یک لغزنده بین ذرات خاک عمل کرده و باعث افزایش تراکم‌پذیری و در نتیجه کاهش فضای خالی بین ذرات خاک می‌شود و به این ترتیب، میزان جرم ویژه ظاهری در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی افزایش می‌یابد و این افزایش نیازمند بکارگیری شیوه‌های مدیریتی و مواد اصلاح‌کننده می‌باشد (Khomehchiyan *et al.*, 2007; Khanmohamadi *et al.*, 2014). نتایج نشان داد که افزودن هر دو ماده اصلاح‌کننده در هر ۳ سطح کاربرد و ۲ سطح رطوبتی، باعث کاهش جرم ویژه ظاهری خاک شده‌اند. در حقیقت، زغال‌زیستی و زئوپلانت منافذ موجود در خاک را افزایش و میزان تراکم خاک را کاهش داده‌اند و همین امر موجب پایین آوردن میزان جرم ویژه ظاهری خاک شده است. همان‌گونه که نتایج اندازه‌گیری سطح ویژه به روش BET و همچنین تصاویر SEM (شکل ۱) نشان می‌دهد، تیمارهای مورد استفاده از سطح ویژه بالا و نیز



شکل ۳- مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف تیمارها بر جرم ویژه ظاهری خاک (حروف غیر مشابه بر اساس آزمون دانکن نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است)

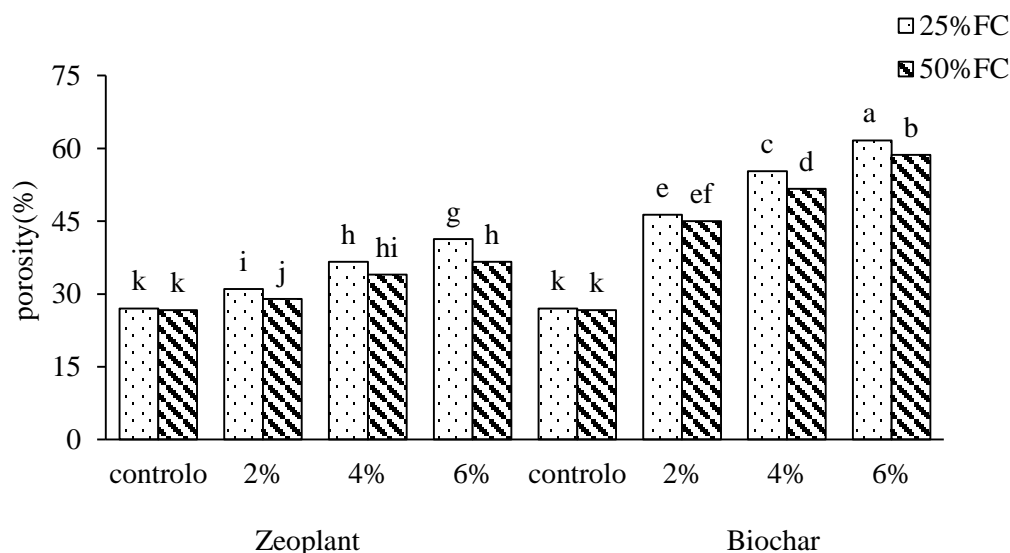
Figure 3. Mean comparison of different levels of treatments on soil bulk density (The dissimilar letters represent a significant difference at the 1% level based on Duncan test)

و باعث افزایش لغزندگی بین ذرات خاک شده و در نتیجه اتصال بین دانه‌های کمتر شده و خاک فشرده و میزان تخلخل در این خاک‌ها کاهش می‌یابد. به همین دلیل، نمونه‌های خاک شاهد که فاقد تیمارهای آلی هستند، دارای کمترین درصد تخلخل می‌باشند

نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات تیمارهای زغال-زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر درصد تخلخل خاک در شکل ۴ نمایش داده شده است. مواد نفتی دارای ۲ بخش ترکیبات سنگین و سیال یا سبک است. قسمت سیال و سبک نفت خام به درون منافذ خاک نفوذ کرده

زئوپلانت و کمتر بودن میزان جرم ویژه زغال‌زیستی نسبت به زئوپلانت باشد. هاردی و همکاران (Hardie *et al.*, 2014) نیز بیان داشتند که تشکیل منافذ درشت در خاک‌های اصلاح شده با زغال‌زیستی، سبب افزایش تخلخل کل مخلوط خاک-زغال‌زیستی می‌شود. تامورگ و همکاران (Tommeorg *et al.*, 2014) با کاربرد ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار زغال‌زیستی در یک خاک با بافت شنی لوم، تایید نمودند که میزان تخلخل کل از ۵۷/۵ درصد به ۶۰/۵ درصد افزایش یافت. گلب و همکاران (Glab *et al.*, 2016) گزارش کردند زغال‌زیستی منجر به تغییرات اساسی در کیفیت خاک از جمله افزایش تخلخل و در نتیجه کاهش جرم ویژه خاک و بهبود ساختمان و دانه‌بندی خاک می‌شود.

(Abosedo, 2003). نتایج نشان داد که تیمارهای زغال-زیستی و زئوپلانت، به ویژه زغال‌زیستی ۶ درصد، به طور معنی‌داری سبب افزایش درصد تخلخل در خاک شده‌اند. بالاترین میزان تخلخل در نمونه تیمار شده با زغال-زیستی ۶ درصد در سطح رطوبت ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شده است. دلیل افزایش تخلخل در خاک تیمار شده را می‌توان سطح ویژه بالا، منافذ موجود در سطح تیمارهای نامبرده و وجود مواد آلی در اصلاح کننده‌های زغال‌زیستی و زئوپلانت، افزایش فضای خالی بین ذرات خاک، بهبود ساختمان خاک و خاکدانه‌سازی و کاهش جرم ویژه خاک دانست (Minai-Tehran *et al.*, 2006). درصد تخلخل در نمونه‌های تیمار شده با زغال-زیستی نسبت به زئوپلانت بیشتر می‌باشد که دلیل آن می‌تواند درشت‌تر بودن منافذ زغال‌زیستی نسبت به



شکل ۴- مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف تیمارها بر تخلخل خاک (حروف غیر مشابه بر اساس آزمون دانکن نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است)

Figure 4. Mean comparison of different levels of treatments on soil porosity (The dissimilar letters represent a significant difference at the 1% level based on Duncan test)

ذرات خاک توسط ترکیبات آبریز نسبت داد. از سوی دیگر، کاهش مدت زمان لازم برای نفوذ قطرات آب به درون خاک در تیمارهای زغال‌زیستی و زئوپلانت را می‌توان به توانایی هر دو اصلاح کننده در پوشش دادن سطوح آبریز در خاک و کاهش آبریزی در این خاک‌ها نسبت داد (Delapa *et al.*, 2004). با افزایش سطح کاربرد تیمار زغال‌زیستی از ۲ درصد به ۴ درصد، مدت زمان نفوذ قطرات آب روند کاهشی داشته است. تیمار زئوپلانت، در سطح ۲ و ۴ درصد سبب کاهش آبریزی

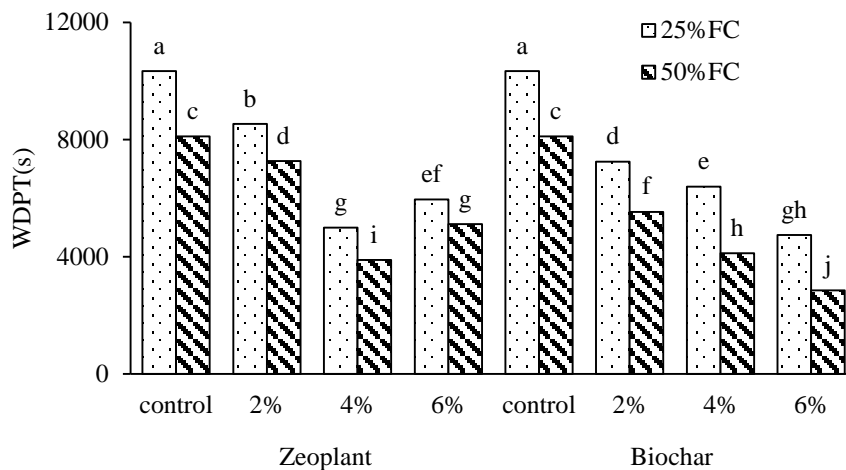
#### مدت زمان نفوذ قطرات آب به خاک

شکل ۵ تغییرات میزان آبریزی خاک مورد مطالعه تحت تاثیر مقادیر مختلف تیمارهای زغال‌زیستی و زئوپلانت را نشان می‌دهد. در حضور تیمارهای اصلاح کننده زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت، مدت زمان لازم برای نفوذ قطرات آب به درون خاک به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است. افزایش میزان آبریزی و افزایش مدت زمان لازم برای نفوذ قطرات آب در تیمار شاهد را می‌توان به پوشش



نتیجه فلوکوله شدن کانی‌های رسی نسبت داده‌اند. درصد رطوبت هم بر شاخص نفوذپذیری در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی موثر بوده و با افزایش درصد رطوبت، مقدار نفوذپذیری خاک افزایش یافته است. مدت زمان نفوذ پذیری در خاک اولیه از مقدار ۱۳۳۴۰ ثانیه در نمونه اولیه (نمونه بدن تیمار و بدون اعمال رطوبت) به ۸۱۱۴ ثانیه در نمونه شاهد دارای ۲۵ درصد رطوبت FC کاهش یافته است. البته لازم به ذکر است که این کاهش آبریزی، کلاس آبریزی خاک را تغییر نداده است. در واقع، مرطوب نگه داشتن لایه سطحی خاک، یکی از روش‌های موثر جهت از بین بردن و یا کاهش دادن اثرات نامطلوب آبریزی و البته افزایش راندمان تأثیرات سایر روش‌های اصلاحی محسوب می‌شود.

خاک شده، ولیکن در سطح ۶ درصد، میزان آبریزی را افزایش داده است. با افزایش مصرف زئوپلانت، چسبندگی خاکدانه‌ها بیشتر شده و اجزای معدنی زئوپلانت باعث پر شدن خلل و فرج موجود در خاک شده و ساختار خاک را یکنواخت‌تر کرده و موجب کاهش نفوذ آب به خاک شده است و دلیل دیگر می‌تواند افزایش کانی‌های رسی و تجمع و فلوکوله شدن آنها و کاهش اثربخشی آن در آبریزی باشد (Harper & Gilkes, 1994). دلاپا و همکاران (Delapa *et al.*, 2004) نیز افزایش مدت زمان لازم برای نفوذ قطرات آب را با افزایش میزان کاربرد کانی‌های کائولینیت و مونتوریلونیت گزارش نمودند. دلاپا و همکاران (Delapa *et al.*, 2004) افزایش میزان آبریزی با افزایش کاربرد کانی‌های فوق را به کاهش اثر آن‌ها در



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر مدت زمان نفوذ قطرات آب (WDPT) (حروف غیر مشابه بر اساس آزمون دانکن نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است)

Figure 5. Mean comparison of different levels of treatments on water drop penetration time (The dissimilar letters represent a significant difference at the 1% level based on Duncan test)

تغییر کرده است و بیشترین میزان آبریزی مربوط به نمونه‌های شاهد می‌باشد.

### رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه‌ای، پژمردگی دائم و آب در دسترس

نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات تیمارها بر رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی در شکل ۶ نشان داده شده است. هر ۲ تیمار زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت در هر ۳ سطح کاربرد و ۲ سطح رطوبتی، موجب افزایش میزان رطوبت حد ظرفیت زراعی شده‌اند. نمونه‌های

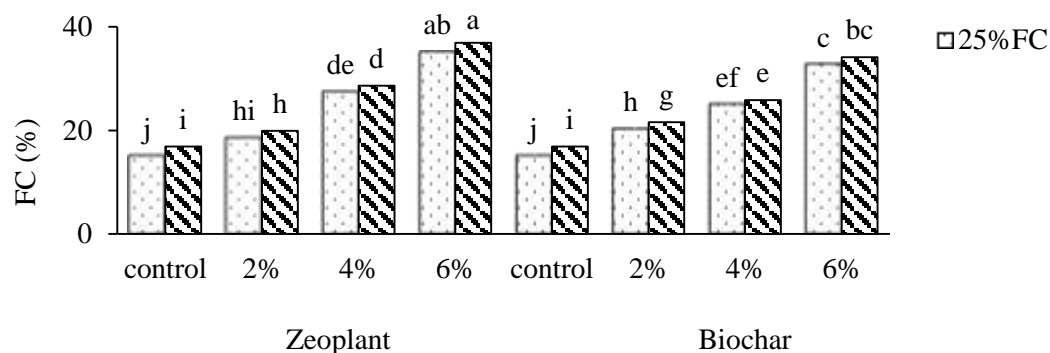
میزان مدت زمان نفوذ قطرات آب از ۱۰۳۴۰ ثانیه در نمونه شاهد ۵۰ درصد FC به ۵۱۱۴ ثانیه در نمونه‌های تیمار شده با زغال‌زیستی در سطح کاربرد ۶ درصد و ۲۸۵۸ ثانیه در نمونه‌های تیمار شده با زئوپلانت ۴ درصد در رطوبت ۵۰ درصد FC کاهش یافته است. کمترین میزان آبریزی را نمونه تیمار شده با اصلاح کننده زغال‌زیستی ۶ درصد در سطح رطوبتی ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی دارا می‌باشد که در این نمونه، کلاس آبریزی خاک از بسیار آبریز به شدیداً آبریز

این ویژگی به آن‌ها امکان برقراری پیوند با مقدار زیادی مولکول آب با لایه‌های بشقابی شکل خود می‌دهد. بخش آلی طبیعی این ماده نیز باعث شده همه اجزای خاک در یک ساختمان نگه داشته شده و از تخریب خاک جلوگیری کند. زئوپلانت نسبت به زغال‌زیستی باگاس دارای سطح ویژه بالاتری می‌باشد که این امر موجب شده تا زئوپلانت نسبت به زغال‌زیستی رطوبت بیشتری را در حد ظرفیت زراعی در خود حفظ کند (Gholami, 2010).

با توجه به مجموع ویژگی‌های مرتبط با سطح ویژه بالا و ساختار فیلولسیلیکاتی موجود در زئوپلانت، در نتیجه تاثیرات معنی‌دار این تیمار آلی-معدنی بر روی حد رطوبت پژمردگی دائمی نیز مشهود است و بالاترین مقدار رطوبت حد پژمردگی دائمی مربوط به سطح ۶ درصد تیمار زئوپلانت است که حد PWP را از حدود ۸ درصد در شاهد به حدودا ۱۶ درصد در این سطح از زئوپلانت رسانده است که افزایشی در حدود ۲ برابر می‌باشد و این افزایش کاملا معنی‌دار است (شکل ۷). در این ارتباط، زغال‌زیستی نیز منجر به افزایش شده است که البته کمتر از زئوپلانت است. به هر حال، وجود ساختارهای فیلولسیلیکاتی و ریولوتیک دارای تاثیرات معنی‌دار بر روی افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک است. بدین ترتیب، تفاضل حد FC و حد رطوبتی PWP که بیانگر درصد رطوبت در دسترس (AWC) می‌باشد، در خاک دارای تیمار زئوپلانت در سطح ۶ درصد دارای بالاترین میزان در بین تمامی تیمارها است.

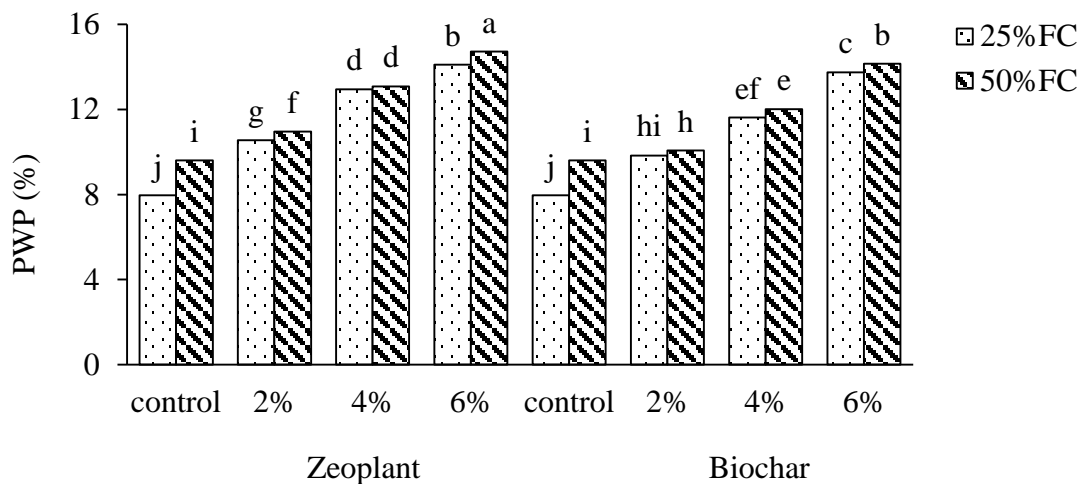
تیمار شده با زئوپلانت در سطح کاربرد ۶ درصد و سطح رطوبتی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، بالاترین میزان نگهداشت آب در خاک را دارا می‌باشند و کمترین میزان نگهداشت آب در رطوبت ظرفیت زراعی، مربوط به نمونه‌های شاهد می‌باشد. زغال‌زیستی و زئوپلانت با دارا بودن منافذ درشت و ریز در سطح خود و نیز سطح متخلخل، ذخیره آب را افزایش داده و با بهبود خاکدانه-سازی، افزایش میزان تخلخل خاک و کاهش جرم ویژه ظاهری خاک، افزایش فضای کافی جهت ذخیره آب را فراهم آورده است. در همین راستا، نتایج پژوهش‌های لایرد و همکاران (Laired *et al.*, 2008) و پیکولو و همکاران (Picolo & Mbagwa, 1999) نشان داده است که افزودن زغال‌زیستی به خاک، به دلیل افزایش درصد تخلخل خاک، منجر به افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک شده و در نتیجه منجر به افزایش سطوح رطوبتی خاک از جمله ظرفیت زراعی می‌گردد.

تیمار زئوپلانت در مقایسه با زغال‌زیستی درصد رطوبت بیشتری را در حد ظرفیت زراعی در خود حفظ کرده است که دلیل آن می‌تواند بیشتر بودن درصد منافذ ریز در تیمار زئوپلانت نسبت به زغال‌زیستی باشد. زئوپلانت دارای سنگ آتشفشانی ریولوتیک است که این سنگ دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بسیار بالایی می‌باشد و سطح آن پر از منفذهای مویینه (۵ تا ۱۰ نانومتر) است. به همین دلیل، می‌تواند با تعداد بیشتری مولکول آب پیوند برقرار کرده و آب را به راحتی در خود حفظ کند (Eibisch *et al.*, 2015). همچنین، زئوپلانت دارای فیلولسیلیکات‌هایی است که ساختمان ویژه‌ای دارند که



شکل ۶- مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف تیمارها بر درصد رطوبت حجمی ظرفیت زراعی (FC) (حروف غیر مشابه بر اساس آزمون دانکن نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است)

Figure 6. Mean comparison of different levels of treatments on field capacity (FC) (The dissimilar letters represent a significant difference at the 1% level based on Duncan test)



شکل ۷- مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف تیمارها بر درصد رطوبت حجمی پژمردگی دائمی (PWP) (حروف غیر مشابه بر اساس آزمون دانکن نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد است)

Figure 7. Mean comparison of different levels of treatments on permanent wilting point (PWP) (The dissimilar letters represent a significant difference at the 1% level based on Duncan test)

### نتیجه گیری کلی

آرایش آنها، سبب افزایش نفوذپذیری و ژئوپلانت موجب افزایش نگهداشت آب شده است. ژئوپلانت و زغال زیستی با تجزیه هیدروکربن های نفتی و کاهش آلودگی خاک، سبب کاهش سطح آلودگی و از سوی دیگر با توجه به منافذ زیاد و سطح ویژه بالا، موجب کاهش فرسایش-پذیری خاک می شوند و از سوی دیگر با افزودن تیمارهای نامبرده به خاک، رطوبت حد ظرفیت زراعی افزایش یافته و نگهداشت آب بالا رفته است. این امر موجب می شود آب جذب شده در ناحیه ای که تیمار وجود دارد، محصور شده و از نفوذ آن به لایه های پایین تر تا حدودی جلوگیری شود. زیرا ورود آلاینده های نفتی به لایه های زیرین خاک خطر آلوده سازی آب های زیرزمینی را در پی دارد. در مجموع، استفاده از تیمارهای با پایه آلی می تواند راهکاری مناسب در راستای بهبود ویژگی های فیزیکی و رطوبتی خاکها باشد و گامی موثر در جهت تحقق اهداف مدیریت پایدار منابع خاک محسوب می شود.

در پژوهش حاضر، تاثیر زغال زیستی و ژئوپلانت بر ویژگی های فیزیکی و رطوبتی خاک های آلوده به مواد و هیدروکربن های نفتی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. زغال زیستی تهیه شده از باگاس نیشکر و ژئوپلانت، به عنوان مواد اصلاح کننده مناسب عمل نموده و سبب تغییر ویژگی های خاک آلوده به هیدروکربن های نفتی و بهبود ویژگی های فیزیکی آن همچون افزایش تخلخل و نیز افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک شده است. ژئوپلانت و زغال زیستی باعث کاهش جرم ویژه ظاهری و افزایش میزان تخلخل خاک شده اند. همین امر موجب افزایش نفوذپذیری و کاهش مدت زمان نفوذ قطرات آب در خاک شده است. منافذ درشت شامل حفره های بین خاکدانه ای می باشند و مسئولیت نفوذ، زهکشی و هوارسانی خاک را بر عهده دارند. منافذ ریز شامل منافذ کاپیلاری بین خاکدانه ای می باشد که مسئولیت حفظ و نگهداری آب را عهده دار هستند. بدین ترتیب، زغال-زیستی با تاثیرگذاری بر روی وضعیت این منافذ و

## References

- Abel S., Peters A., Trinks S., Schonsky H.F., Acklam M., and Wessolek G. 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202-203:183-191.
- Abosde E.E. 2013. Effect of crude oil pollution on some soil physical properties. *Journal of Agriculture and veterinary science*, 6:14-17.
- Adams R.H., Osorio F.G., and Cruz J. Z. 2008. Water repellency in oil contaminated sandy and clayey soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 5: 445-454.
- Azimzadeh Y., Najafi N., Abdolmaleki E., Amirloo B. 2020. Changes in some chemical properties of various organic materials after converting into biochar and hydrochar. *Applied Soil Research*, 7(4):1-17. (In Persian)
- Badia D., Aguire J.A., Marti C., and Marquz M.A. 2013. Sieving effect on the intensity and persistence of water repellency at different soil depth and soil types from NES pein. *CATENA*, 108:44-49.
- Besalatpour A., Haj Abbasi M., Dorostkar V., Torabi Gh. 2011. Amendment of pollutant soil with TPH using integrated geo and plant remediation. *Water and Soil Journal*, 53, 129-142.
- Burrell L.D., Zehether F., Rampazzo N., Wimmer B., Soja G. 2016. Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma*, 282:96-102.
- Dekker L.W. and Ritsema C.J. 1996a. Uneven moisture patterns in water repellent soils. *Geoderma*, 70: 87-99.
- Delapa P., Doerr L., Lichner M. Sir and Tesar M. 2004. Effect of kaolinite and Ca-montmorillonite on the alleviation of soil water repellency. *Plant. Soil Environ*, 50:358-363.
- Doerr S.H., Shakesby R.A., and Walsh R.P.D. 2000. Soil water repellency: its causes characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth Sci*, 51:33-65.
- Eibisch N., Durner W., Bechtold M., Fu B, R., Mikutta R., Woche S.K., and Mandhelfrich M. 2015. Does water repellency of pyrochars counter their positive effects on soil hydraulic properties? *Geoderma*, 245:31-39.
- Farzadian M. and Mosaddeghi M.R. 2014. Evaluation of soil and water pollution with oil on stability and soil permeability and pollutant management in Isfahan. *Soil management journal*, 3:1 43-51.
- Franco C.M.M., Clarke P.J., Tate M.E., and Oades J.M. 2000. Hydrophobic properties and chemical characterisation of natural water repellent materials in Australian sands. *Journal of hydrology*, 231:47-58.
- Gee G.W. and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. P.383-411, *In: Klute, A. (Ed), Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Method, American Society of Agronomy*, pp. 383-411.
- Gholami M. 2010. Superabsorbent a way to extend green areas and coolation of water declining. Rahshar Company. No. 110.
- Głąb T., Palmowska J., and Zaleski T. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*, 281: 11-20.
- Hallet P.D., White N., and Krits .2006. Impact of basidiomycete fungi on the wettability of soil contaminated with a hydrophobic polycyclic aromatic hydrocarbon. *Biologia*, 61:334-338.
- Hardie M., Clothier B., Bound S., Oliver G., and Close D. 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? *Plant and Soil*, 376: 347-361.
- Harper R. J. and Gilkes R.J. 1994. Soil attributes related to water repellency and the utility of soil survey for predicting its occurrence. *Aust. J. Soil Res*, 32: 1109-1124.
- Herath H., Camps-Arbestain M., Hedly M. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisols and an andisols. *Geoderma*, 2016:188-197.
- Herbert L., Hosek I., and Kripalani R. 2012. The characterization and comparison of biochar produced from a decentralize reactor using forced air and natural draft pyrolysis. California polytechnic State University, San Luis Obispo materials Engineering Department. 24-26.
- Hubbert K.R., Busse M., Overby S., Shestak C., and Gerrard R. 2013. Pile burning effects on soil water repellency, infiltration, and downslope water chemistry in the Lake Tahoe basin, USA. *Fire Ecology*, 11:100-118.

- Khamehchiyan M., Charkhabi A. H., and Tajik M. 2007. Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils Method. *Engineering Geology*, 89: 220–229.
- Khanmohamadi Z., Afuni M., and Mosadeghi M.R. 2014. Effect of Pyrolysis Temperature on Chemical Properties of Sugarcane Bagasse and Pistachio residues Biochar. *Applied Soil Research*, 3(1): 1-13. (In Persian)
- Klute A.(ed). 1986. Methods of soil analysis. Part2. Microbiological and biochemical properties / editorial committee, R.W. Wearver, chair ... (et al), p.cm- (Soil Science Society of America Book series; No.5).
- Laired D.A., Brown R.C., Amonette J.E., and Lehmann J. 2008. Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. *Biofuels bio products and biorefining-biofpr*, 3:547-562.
- Lohrasbi H., Khademalrasoul A., Farrokhian Firuzi A. 2019. Effects of biochar and zeoplant on physical and mechanical properties of erodible soils (case study: Bostan). *Journal of Water and Soil*, 33(5), p. 723-737. (In Persian)
- Minai-Tehrani D., Herfatmanesh A., Azari-dehkordi F., and Minoi S. 2006. Effect of salinity on biodegradation of aliphatic fraction of crude oil in soil. *Pak. J. Biol. Sci*, 9:1531-1535.
- Mukherjee A., Hamdan R., Cooper W.T., and Zimmermn A.R.A. 2013. Chemical comparison of freshly-produced and field-aged biochars and biochar-amendend soils. *Chemosphere*, 6:731-76.
- Novak J.M., Busscher W.J., Wats D.W., Lair D.A., Ahmednam A., and Niandou M.A.S. 2010. Short-term CO<sub>2</sub> mineralization after addition of biochar and switcgrass to a typic kandiudult. *Geoderma*, 1543-4:281-288.
- Picolo A. and Bagwa S.C.M. 1999. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 68:1801-1810.
- Rajkovich R.A., Kioenders R., Hanley K., Hyland C., Zimmerman A.R., and Lehmann J. 2011. Corn growth and nitrogen nutrition after additions. *Biology and fertility of soils*, 483:271-284.
- Roy J.L. and McGill, W.B. 1997. Characterization of disaggregated nonwetttable surface soils found a told crude oil spill sites. *Can. J. Soil Sci.*, 331-344.
- Sousaraee N., Baranimotlagh M., Khormali F., Dordipour E. 2019. The Effect of Biochars Prepared from Agricultural Residues at Different Temperatures on Some Chemical Properties of a Calcareous Soil and Na and K Concentration of Corn (*Zea mays* L.). *Applied Soil Research*, 7(3): 164-179.
- Takavira A., Gwenzi W., and Nyamugfata P. 2014. Does hydrocarbon contamination induse water repellency and changes in hydraulic properties in inherently wetttable tropical sandy soils? *Geoderma*, 235:279-289.
- Tommeorg P., Simojoki A., Makela P., Stoddard F.L., Alakukku L., and Helenius J. 2014. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertilizer on boreal loamy sand. *Agriculture Ecosystem Environmental*, 191:108-116.
- Ulytte J., Sakrabani R., Kibblewhite M., and Hann M. 2014. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. *European Journal of Soil Science*, 65 (1): 2014.
- Walkley A., and Black, I.A. 1934. An Examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a poroposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 34:29-38.

## Effects of Biochar and Zeoplant on Physical Properties of Soils Contaminated with Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs)

Nilufar Mohammadi<sup>1</sup>, Ataallah Khademalrasoul<sup>2\*</sup>

(Received: February 2020 Accepted: June 2020)

### Abstract

Extraction and exploitation of total petroleum hydrocarbons (TPHs) led to the contamination of soil and environment. Therefore, remediation of TPHs contaminated soils is necessary. The effects of biochar produced from bagasse and zeoplant as organic amendments on some physical properties of contaminated soils with TPHs were evaluated in Ahvaz, Khuzestan Province. Systematic soil sampling was performed based on the block with completely randomize design with three replications. The soil samples were transferred to the pots (7 kg) and treatments added to the soils in the 2, 4 and 6 % levels. Afterwards, the soil moisture was adjusted on 25 and 50% of field capacity (FC). All treatments were incubated for 100 days. After incubation, bulk density, porosity, FC, PWP, TPHs, water drop penetration time and the soil penetration class were measured. Meanwhile, the variation of hydrocarbons was analyzed using Gas Chromatography (GC). Based on the GC graph, approximately 50% of normal alkanes are C13-C20. Results showed that the application of biochar and zeoplant to the soil caused to decrease of bulk density and increase the total porosity, the permeability of soil, and water retention. Moreover, the efficiency of treatments was increased by increasing of treatment application. The highest efficiency was found with 6% of biochar with 25% of moisture content, also the 6% of zeoplant enhanced the PWP from 8% in the blank to 16%. So, the application of organic treatments improved soil properties; therefore, and have an important role on sustainable management.

**Keywords:** Gas chromatography (GC), Permeability class, Soil porosity, Sustainable management, Water drop penetration (WDP)

Mohammadi, N. Khademalrasoul, A. 2021. Effects of biochar and zeoplant on physical properties of soils contaminated with total petroleum hydrocarbons (TPHs). *Applied Soil Research*. 9(1):14-27.

1. Msc student of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz.

2. Assistant Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz.

\*Corresponding Author Email: [a.khademalrasoul@scu.ac.ir](mailto:a.khademalrasoul@scu.ac.ir)