بررسی اثر زغال زیستی و زئوپلانت بر ویژگی‌های مکانیکی خاک‌های آلوده به مواد نفتی در میدان نفتی اهواز

نیلوفر محمدی و عطاالله خادم الرسول[1]

کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز؛ **niloofarmohammadi00@yahoo.com**

استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز؛ **a.khademalrasoul@scu.ac.ir**

دریافت: **99/4/22** و پذیرش: **99/7/15**

چکیده

بهره‌برداری از میدان‌های نفتی احتمال نشت آلاینده‌های نفتی به درون خاک پیرامونی را افزایش می‌دهد. این پدیده علاوه بر خسارت‌ها و تبعات زیست‌محیطی، سبب تغییرات مخرب در ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی و بیولوژیکی خاک نیز می‌گردد. در این پژوهش تأثیرات زغال‌زیستی باگاس‌نیشکر به‌عنوان اصلاح‌کننده‌ی آلی و زئوپلانت به‌عنوان اصلاح‌کننده‌ی آلی-معدنی بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی، در محدوده‌ی میدان نفتی اهواز (منطقه‌ی بهره‌برداری نفت و گاز کارون) بررسی شد. برای این منظور، پس از بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری به‌روش سیستماتیک کاملاً تصادفی درون بلوک، نمونه‌های خاک به گلدان‌هایی 7 کیلوگرمی منتقل شده و تیمارهای آزمایشی زغال‌زیستی و زئوپلانت در سطوح 2%، 4% و 6% وزنی به خاک افزوده شد، سپس رطوبت خاک در سطح 25% و 50% ظرفیت زراعی (FC) محاسبه و بر خاک گلدان‌ها اعمال گردید و نمونه‌ها برای مدت 100 روز انکوباسیون شدند. پس از اتمام انکوباسیون، پارامترهای مقاومتی خاک شامل مقاومت فروروی، مقاومت کششی، مقاومت برشی، شاخص تردی خاکدانه و نیز کلاس آبگذری خاک با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. همچنین درصد نرمال آلکان‌ها و هیدروکربن‌های نفتی با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) تعیین شد. نتایج نشان داد که افزودن زغال‌زیستی و زئوپلانت در سطوح 2% و 4% سبب افزایش مقاومت برشی و در سطح 6% و50% رطوبت ظرفیت زراعی باعث کاهش مقاومت برشی خاک شده است. همچنین کمترین مقاومت برشی در سطح 6% زغال‌زیستی و رطوبت 50% FC، مشاهده شد (0/40 کیلوپاسکال). کاربرد زئوپلانت و زغال‌زیستی منجر به افزایش مقاومت کششی شده است و در سطح 6%زغال‌زیستی (رطوبت 25% FC) بیشترین مقاومت کششی حاصل شد (18 کیلوپاسکال). کمترین مقاومت فروروی برای سطح 6% زغال‌زیستی (سطح رطوبت 25% FC) به‌دست آمد. بدین ترتیب تیمارهای آلی و آلی-معدنی منجر به بهبود ویژگی‌های ساختمانی و مکانیکی خاک شد و راهکاری مدیریتی برای احیای خاک‌های آلوده به مواد نفتی محسوب می‌شود.

واژه های کلیدی: تخریب‌خاک، ویژگی‌های مقاومتی خاک،مقاومت برشی خاک، آلودگی نفتی، اصلاح‌کننده‌ی آلی-معدنی

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

مقدمه

مقوله‌ی تخریب خاک به عنوان یک مسئله‌ی جهانی است که دائما خاک را در مناطق مختلف و به صورت‌های متفاوتی دستخوش تغییرات قرار می‌دهد. شایان ذکر است که این تغییرات عمدتاً در ویژگی‌های ساختمانی خاک صورت می‌پذیرد که ماحصل آن تغییر در سازش‌پذیری خاک است (خادم الرسول و همکاران، 2014). همگام با گسترش بهره‌برداری از منابع نفتی، آلودگی‌های ناشی از آن نیز گسترش یافته و موجبات ایجاد نگرانی و تخریب محیط‌زیست را فراهم آورده است. با توجه به گسترش آلاینده‌ها و معضلات زیست-محیطی ناشی از آنها در نتیجه پاکسازی مناطق آلوده به یک امر مهم و حیاتی تبدیل شده است. علاوه بر بروز آلودگی در خاک ناشی از انتشار آلاینده‌های نفتی، ویژگی-های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های آلوده نیز دستخوش تغییرات قرار می‌گیرد که نتیجه‌ی آن تخریب ساختمان و کاهش میزان نفوذپذیری خاک است که تبعاتی همچون بالارفتن پتانسیل تولید رواناب و نیز وقوع انواع فرسایش‌های آبی را به دنبال دارد. برای بهره-برداری از خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی لازم است که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آنها اصلاح شود. پیچیده بودن محیط خاک و ویژگی-های متنوع اجزاء تشکیل دهنده‌ی آن (موجودات زنده، ترکیبات آلی و معدنی، نوع کانی‌های سازنده، تخلخل و نفوذپذیری، قابلیت انتقال آلاینده‌ها در خاک، ساختمان خاک، تراکم‌پذیری) سبب بروز رفتارهای متفاوت خاک در مقابل آلاینده‌ها و جابجایی آنها در خاک می‌شود. چراغی و همکاران (1395)

تأثیر زغال‌زیستی لجن فاضلاب بر پاکسازی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی را بررسی نمودند و نتایج نشان داد که این تیمار سبب حذف هیدروکربن‌های نفتی از خاک و همچنین کاهش خاصیت آبگریزی، افزایش نفوذپذیری، کاهش رس قابل پراکنش و بهبود ساختمان خاک‌های آلوده می‌شود. ظهرابی و همکاران (1396) تأثیرات زغال‌زیستی، قارچ آربوسکولار میکوریزا و ترکیب زغال‌زیستی به‌همراه میکوریز همراه با کشت دو گیاه شبدر و پنیرک را بر بهبود خاک‌های آلوده به نفت بررسی نمودند و نتایج نشان داد که گیاه پنیرک به همراه زغال‌زیستی بیشترین مقدار تجزیه‌ی هیدروکربن‌های نفتی را ایجاد می‌نماید. ابراهیم زاده عمران (1394) تأثیر زغال‌زیستی تهیه شده از دو گیاه راش و ذرت را بر آبگریزی خاک‌های آلوده به نفت مورد بررسی قرار داد و نتایج نشان داد که زغال‌زیستی به طور معناداری سبب کاهش آبگریزی خاک می‌شود. هیو وانگ و همکاران (2016) تأثیر کاه گندم را بر روی هیدروکربن-های نفتی مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که کاه گندم تأثیرات مثبتی بر اصلاح خاک‌های آلوده به نفت دارد. برنان و همکاران (2014) نیز تأثیرات مثبت افزودن زغال‌زیستی را جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آلوده به مواد نفتی تأیید نمودند. نتایج پژوهش‌های آدام و همکاران (2017) تأیید می‌نماید که افزودن پسماندهای کشاورزی به خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی سبب افزایش تخلخل و بهبود نفوذپذیری خاک می‌شود. بدین ترتیب افزودن تیمارهای آلی به خاک می‌تواند در بهبود ویژگی‌های ساختمانی آنها مؤثر باشد.

از جمله تیمارهای آلی که در چند سال اخیر توجه ویژه‌ای به آن شده است و در زمینه‌های مختلف و با اهداف متعددی تولید شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد ماده‌ای به نام زغال‌زیستی است (معزی و همکاران، 1396؛ گندمکار، 1394). زغال‌زیستی ماده‌ای با تخلخل زیاد و محتوی بالای کربن است که از گرمادهی بقایای گیاهی و ضایعات در محیط حاوی اکسیژن محدود یا بدون اکسیژن به دست می‌آید که این فرایند گرماکافت (پیرولیز) نامیده می‌شود (لهمن و همکاران، 2006؛ لهمن، 2007). زغال-زیستی از پایداری بالایی در برابر تجزیه برخوردار است و تولید این ماده ضمن اینکه شیوه‌ای مؤثر جهت مدیریت ضایعات و پسماندهای آلی محسوب می‌شود؛ سبب بهبود ویژگی‌های خاک نیز می‌گردد (لهمن و همکاران، 2009). مجموع ویژگی‌های اصلاحی و بهبود بخش زغال‌زیستی آن را به‌عنوان گزینه‌ی مناسبی برای افزودن به خاک مطرح ساخته است. زغال‌زیستی به‌عنوان یک تیمار آلی پس از اضافه شدن به خاک منجر به افزایش تخلخل، کاهش جرم ویژه‌ی ظاهری، افزایش هدایت هیدرولیکی، افزایش آب قابل استفاده‌ی گیاه، کاهش تراکم و افزایش تهویه‌ی خاک می‌شود (موخرجی و همکاران، 2013). همچنین افزودن زغال‌زیستی به خاک سبب افزایش pH، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش میزان مواد آلی و مواد غذایی خاک می‌شود (لیبارد و همکاران، 2010؛ لهمن و همکاران، 2011). البته شایان ذکر است که ویژگیهای زغال‌زیستی به شرایط حاکم در طول فرایند گرماکافت همچون دما و رطوبت (اشمیت و نواک، 2000) و همچنین ماهیت ماده-ی اولیه وابسته است (لهمن، 2007؛ فرانکلین،1950). ویژگی‌ها و تأثیرات مثبت زغال‌زیستی به‌عنوان یک تیمار آلی توانایی قابل توجهی در جذب آلاینده‌ها و در نتیجه بهبود کیفیت خاک ایجاد می‌نماید. یکی دیگر از تیمارهای آلی-معدنی، زئوپلانت (زئولیت غنی شده با مواد آلی)

است که به‌دلیل دارا بودن سطح ویژه‌ی بالا از قابلیت نگهداری آب بسیار بالایی برخوردار است. مناطقی که با کمبود شدید آب مواجه هستند در صورت تامین منابع آبی، افزودن زئوپلانت به خاک از نفوذ عمقی آب و هدررفت آن جلوگیری می نماید و آب را در محدوده‌ی ریشه‌ی گیاه نگه می‌دارد (جلیلوند، 1390). مجموع ویژگی‌های موجود در زئوپلانت زمینه را جهت استفاده از آن به عنوان یک ماده‌ی اصلاحی در خاک‌ها و بالاخص در مناطقی که از کمبود شدید منابع رطوبتی برخوردار هستند، فراهم می‌نماید. تاکنون در کشور ایران استفاده از این ماده و سایر موادی که پایه‌های غیرنفتی دارند در عرصه‌ها و کانون‌های بحرانی از جمله سایت‌های نفتی و جهت اصلاح ویژگی‌های خاک معمول نبوده است. در همین راستا پژوهش حاضر جهت ارزیابی کارایی موادی همچون زغال‌زیستی و زئوپلانت به عنوان مواد اصلاح کننده‌ی آلی و آلی-معدنی در سایت‌های نفتی که خاک-های آنها دارای مشکلات ساختمانی و نفوذپذیری می‌باشند، پایه‌ریزی شده است. شایان ذکر است که ویژگی‌های ساختمانی یک خاک از ارتباطات تنگاتنگی با ویژگی‌های مکانیکی آن خاک برخوردار است، بدین ترتیب آگاهی از ویژگی‌های مکانیکی همچون مقاومت فروروی و کششی نقش بسزایی را در تعیین رفتارهای خاک در برابر تنش‌های زیست‌محیطی دارد. با توجه موارد فوق‌الذکر مهمترین اهداف این پژوهش امکان‌سنجی استفاده از تیمارهای اصلاح کننده‌ی فوق‌الذکر و نیز اثربخشی آنها بر روی ویژگیهای مکانیکی خاک می‌باشد.

مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مطالعاتی

حوضه‌ی مطالعاتی در این پژوهش منطقه‌ی بهره-برداری نفت و گاز کارون در میدان نفتی اهواز واقع در اطراف چاه‌های 31 و 32 با مختصات جغرافیایی ″93 ′44 °48 تا ″95 ′44 °48 طول شرقی و ′19 °31 تا ′20 °31 عرض شمالی می‌باشد. در این حوضه نشت مواد نفتی منجر به انتشار آلاینده‌ها به درون خاک و مناطق پیرامونی شده است که از تأثیرات مخرب زیست‌محیطی برخوردار است (شکل 1). از لحاظ ویژگی‌های آب‌وهوایی (کلیماتولوژیکی) منطقه‌ی مطالعاتی دارای متوسط درجه حرارت 26/3 درجه سلسیوس، میانگین بیشینه‌ی دمایی 39/2 و میانگین کمینه‌ی دمایی 12/4 درجه سلسیوس است. همچنین متوسط بارش سالانه منطقه 213 میلیمتر و سرعت متوسط وزش باد 10 متر بر ثانیه است. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه به ترتیب یوستیک (Ustic) و هایپرترمیک (Hyperthermic) می‌باشد. خاک مورد مطالعه به‌طور غالب دارای کلاس بافت لوم رس سیلتی مشتمل بر 18 درصد شن، 54 درصد سیلت و 28 درصد رس است. با توجه به این که میانگین نفوذ قطرات آب در نمونه خاک آلوده به نفت 13340 ثانیه می‌باشد این خاک بر اساس طبقه بندی (دکر و ریتسما، 1996) در رده بسیار آبگریز قرار دارد

شکل 1- وضعیت نشت مواد نفتی از طریق لوله‌های انتقال به سطح خاک و مناطق پیرامونی کانون انتشار آلاینده (الف) خاک سطحی متأثر از نشت آلاینده‌های نفتی در سطح خاک و ایجاد تغییر در ویژگی‌های ساختمانی خاک (ب)

جدول 1- ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و آبگریزی خاک منطقه‌ی مطالعاتی

پارامتر	واحد	مقدار
هدایت الکتریکی	$dS.m^{-1}$	6/19
pH	-	7/29
ماده آلی	%	5/56
ظرفیت تبادل کاتیونی	$cmolc.kg^{-1}$	14/41
رطوبت ظرفیت زراعی	%	19/28
هیدروکربن‌های نفتی	$mg.kg^{-1}$	11580
مدت نفوذ قطرات آب	s	13340
کلاس آبگریزی	-	بسیار آبگریز
بافت خاک	-	SiCl

نمونه‌برداری خاک و آنالیز آزمایشگاهی و افزودن تیمارها

نمونه‌برداری از خاک به روش کاملاً تصادفی درون بلوک و از عمق 30-0 سانتیمتری خاک صورت پذیرفت و نمونه‌ها به گونه‌ای

تهیه شد که نماینده‌ی خاک منطقه‌ی مطالعاتی باشد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و هوا خشک شدن جهت اعمال تیمارها و شرایط انکوباسیون نمونه‌ها به گلدان‌های 7 کیلوگرمی منتقل شدند. همچنین مقداری از نمونه‌ی خاک برای انجام آنالیزها استفاده شد. در نمونه‌ی خاک ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (هربرت و همکاران، 2012)، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلاک (والکی و بلاک، 1934) و بافت خاک به روش هیدرومتری (جی و بودر، 1986) اندازه-گیری شد. به دلیل آلوده بودن خاک‌ها و فولوکوله شدن ذرات آن، ابتدا خاک دو مرتبه توسط استن شست‌وشو شد و سپس با روش هیدرومتری، بافت خاک تعیین گردید. همچنین پارامترهای واکنش خاک و هدایت الکتریکی در عصاره‌ی اشباع خاک اندازه‌گیری شدند. جهت بررسی میزان آبگریزی خاک از روش مدت زمان نفوذ قطرات آب (WDPT[1]) استفاده شد (هاللت و همکاران، 2006). در این روش ابتدا 10 گرم خاک آلوده به نفت برداشته شده از اطراف چاه نفت به پتری دیش منتقل شد و رطوبت لازم در حد 25 و 50 درصد ظرفیت زراعی تأمین گردید، سپس برای مدت زمان 5 دقیقه تکان داده شد و مدت زمان نفوذ قطرات آب به درون خاک اندازه‌گیری شد. بدین منظور بر روی هر کدام از نمونه ها 3 قطره آب دیونیزه از ارتفاع تقریباً 1سانتی متر 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، درجه‌ی آبگریزی هر نمونه تعیین شد (جدول 1).

زغال‌زیستی مورد استفاده در این پژوهش از بقایای آلی (زیتوده‌ی) باگاس نیشکر و طی فرایند گرماکافت آهسته (Slow Pyrolysis) در دمای 450 درجه سانتیگراد و با نرخ حرارتی (Heating rate) 5 درجه سانتیگراد در دقیقه در کوره مجهز به سنسور حرارتی و دارای شرایط بی‌هوازی تهیه و تولید شد. با توجه به اینکه زغال‌زیستی مورد استفاده محصول فرایند گرماکافت آهسته است در نتیجه دارای آروماتیسیه پایین است که این ویژگی برروی رفتارهای آن در خاک تأثیرگذار است. همچنین زئوپلانت به عنوان تیمار آلی-معدنی مورد استفاده در این پژوهش که به صورت یک پودر تقریباً سفید رنگ می‌باشد که اندازه ذرات آن از حالت کاملاً پودری تا قطر متوسط 12 میلیمتر می باشد از شرکت تولید کننده آن تهیه شد. برای اعمال تیمار، خاک با زغال زیستی و زئوپلانت مخلوط شد و 18 گلدان توسط زغال زیستی و در سطوح 2، 4 و 6 درصد وزنی و 18 گلدان دیگر توسط زئوپلانت و در سطوح 2، 4 و6 درصد وزنی تیمار گردید و 6 گلدان بدون افزودن تیمار به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. سپس خاک‌های تیمار شده به مدت 100 روز انکوباسیون شدند تا تیمارهای اعمال شده بر روی ویژگی‌های خاک تأثیر بگذارند. در طول دوره‌ی انکوباسیون گلدان‌ها در شرایط نور و دمای محیط قرار داشتند و 21 گلدان با رطوبت 25 درصد رطوبت ظرفیت زراعی و 21 گلدان با رطوبت 50 درصد رطوبت ظرفیت زراعی آبیاری شدند. پس از گذشت 100 روز، خاک‌ها جهت انجام آنالیزها به آزمایشگاه منتقل شدند. برخی از ویژگی‌های شیمیایی زغال‌زیستی و زئوپلانت ارائه شده است (جدول 2).

1. Water drop penetration test

جدول 2- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زغال زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت مورد استفاده

ماده اصلاح کننده	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	سطح ویژه (m^2g^{-1})	ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmolc.kg^{-1}$)
زئوپلانت	2/01	6/82	110	178/5
زغال‌زیستی	0/96	10/3	75	69/29

اندازه‌گیری نرمال آلکان‌ها توسط دستگاه GC

همچنین با توجه به وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی از دستگاه سوکسله، مدل FOSS 2050 جهت عصاره‌گیری هیدروکربن‌های نفتی از خاک استفاده شد. بدین منظور مقدار 10 گرم نمونه در عصاره‌گیر سوکسله با 250 میلی‌لیتر از مخلوط هگزان و دی کلرومتان با نسبت (1:1) استخراج شد (EPA, 1084). برای اندازه‌گیری TPHs از دستگاه GC-Mass مدل Agilent7890B استفاده شد. دستگاه مورد استفاده دارای آشکارساز MSD مدل B5977، گاز حامل هلیوم، سرعت جریان 1 میلی‌لیتر بر دقیقه و طول ستون 30 متر است. درصد نرمال آلکان‌ها در عصاره‌ی خاک در جدول 3 ارائه شده است.

جدول 3- درصد نرمال آلکان‌ها در عصاره‌ی خاک اندازه‌گیری شده توسط GC-Mass مدل Agilent7890B

ردیف	آلکان‌ها (Alkanes)	درصد نفت (Oil%)
1	C4-C10	19
2	C11-C12	10
3	C13-C20	50
4	C21-C40	2

اندازه‌گیری پارامترهای مکانیکی خاک (مقاومت فروروی، مقاومت کششی و مقاومت برشی)

برای تعیین مقاومت فروروی خاک و تغییرات آن از پنتومتر نوک مخروطی با زاویه‌ی 30 درجه استفاده شد. این آزمایش بر روی نمونه‌های دست نخورده‌ی خشک شده در شرایط طبیعی انجام شد. ابتدا عدد پنتومتر را بر روی صفر قرار داده و نوک مخروط بر روی سطح خاک قرار داده شد و تا زمان به وجود آمدن ترک در سطح خاک با یک سرعت متوسط به سمت پایین نیرو وارد کرده. بعد از رویت ترک در سطح خاک، نیروی وارده را قطع کرده و عددی که توسط قسمت مدرج نفوذ سنج نشان داده شده را در ضریبی ثابت (0/435) که با توجه به نوع مخروط و نوع دستگاه متغیر است ضرب شده و مقدار مقاومت فروروی بر حسب kPa به دست آورده شد. در این پژوهش از روش غیر مستقیم بریزلی برای اندازه‌گیری مقدار مقاومت کششی خاکدانه‌ها در رطوبت هوا خشک استفاده شد (دکستر و کورسبرگن، 1985). برای اندازه‌گیری این پارامتر از دستگاه مقاومت سنج مدل SANTAM OBBP-20 استفاده شد. در این روش ابتدا خاکدانه‌هایی با اندازه 8-6/3 میلی متر به روش الک خشک جدا شدند و برای هر آزمایش توزین شدند. سپس خاکدانه‌ها، بین دو صفحه‌ی بارگذاری با سرعت 1/2 میلی متر بر دقیقه با استفاده از دستگاه تک محوری برقی شکسته شد و نیروی بیشینه آن شکست توسط دستگاه اندازه‌گیری شد سپس مقاومت کششی توسط رابطه‌ی (1) محاسبه گردید:

$$Y = \frac{0/576F}{deff} \quad (1)$$

اندازه‌گیری مقاومت برشی خاک از دستگاه پره‌ی برشی (Eijkelkamp14.10 POCKET VANE TESTER) استفاده شد. ابتدا صفحه‌ی مدرج دستگاه بر روی صفر قرار داده شد و دستگاه را تا جایی که پره‌ها کاملاً در خاک قرار بگیرند وارد خاک کرده و سپس در جهت عقربه‌های ساعت به صورت دورانی چرخانده شد. این چرخش تا زمان متوقف شدن حرکت عقربه ادامه پیدا کرد. پس از متوقف شدن حرکت دستگاه، قسمت بالای آن را رها کرده و صفحه‌ی مدرج بالای پره میزان تنش وارد شده را نشان داد. با توجه به نوع دستگاه و نوع پره‌ی استفاده شده در آزمایش عدد کالیبراسون 0/2734 تعیین شده است. عدد به دست آمده از دستگاه پره برشی را در ضریب کالیبراسیون مشخص شده ضرب کرده و مقدار

مقاومت برشی بر حسب کیلوپاسکال به دست آورده شد. همچنین شاخص تردی خاکدانه‌ها (Friability Index) که به تغییرات مقاومت کششی با اندازه‌ی خاکدانه‌ها مربوط می‌شود. انحراف نسبی مقاومت کششی یک دامنه اندازه مشخص از خاکدانه ها است که با استفاده از رابطه‌ی (2) محاسبه گردید (دکستر و واتس، 2001).

$$FI = \frac{\sigma y}{\bar{y}} \pm \frac{\sigma y}{\bar{y}\sqrt{2n}} \quad (2)$$

که در این رابطه Fبرابر با تردی خاک،σy ، انحراف معیار مقاومت کششی،ȳ میانگین مقادیر مقاومت کششی اندازه گیری شده خاکدانه ها و n تعداد خاکدانه-های مورد آزمایش می باشد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوربل 3^n 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 معنی-داری 1درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار سیگماپلات استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصله نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی و آلی-معدنی بر ویژگی‌های مقاومتی خاک در سطح 1 درصد معنی‌دار شده است (جدول 4). این ویژگی‌های مقاومتی در ارتباط با ویژگی-های فیزیکی و ساختمانی خاک هستند و نتایج محمدی و خادم الرسول (1399) موید اثربخشی این تیمارهای آلی (زغال زیستی باگاس نیشکر) و آلی-معدنی (زئوپلانت) بر روی ویژگی‌های فیزیکی و رطوبتی خاک‌های آلوده به مواد نفتی است. به بیان بهتر افزودن این اصلاح‌کننده سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و افزایش میزان نگهداشت رطوبت در خاک می‌شود.

تأثیر تیمارها بر مقاومت برشی خاک

نتایج نشان می‌دهد که آلودگی به نفت و مشتقات نفتی منجر به کاهش مقاومت برشی در خاک می‌شود. در واقع این ماده‌ی سیال لغزنده موجب کاهش اتصال بین ذرات خاک، افزایش خاصیت روغن کاری بین ذرات خاک، سهولت لغزش دانه‌های خاک برروی یکدیگر و همچنین کاهش زاویه‌ی اصطکاک داخلی شده و در نهایت مقاومت برشی خاک را کاهش می‌دهد. خامه چیان و همکاران (2007) مشاهده کردند با افزودن 2 ،4، 8، 12 و 16 درصد نفت خام به خاک میزان نیروی برشی به شکل معنی داری کاهش پیدا کرده است و این میزان کاهش در مقاومت برشی خاک با افزایش سطح افزودن مواد نفتی به خاک، روندی افزایشی را نشان داده است.

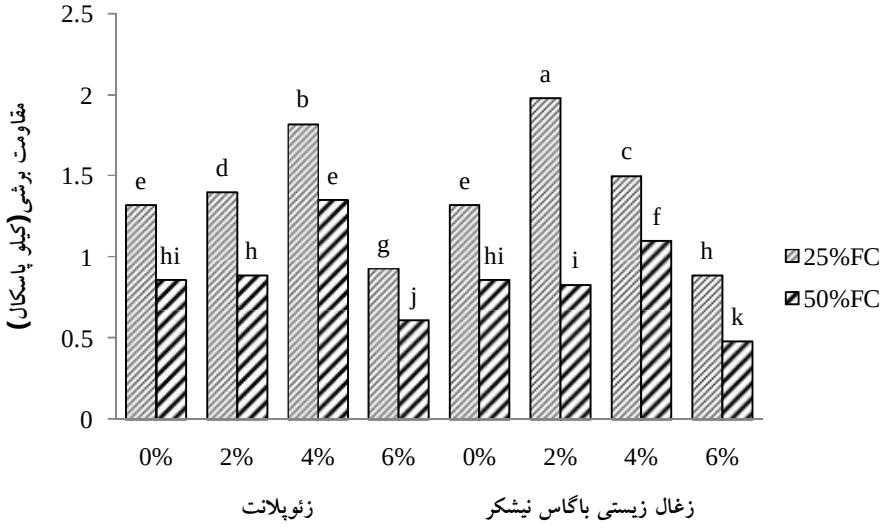
جدول 4- تجزیه‌ی واریانس تأثیرات اصلاح‌کننده‌های آلی (زغال‌زیستی) و آلی-معدنی (زئوپلانت) بر ویژگی‌های مقاومتی خاک‌های آلوده به مواد نفتی

منبع تغییرات	میانگین مربعات				
	درجه آزادی	مقاومت برشی	مقاومت کششی	مقاومت به نفوذ	تردی خاکدانه
نوع تیمار	1	0/090**	291/611**	231157**	0/110**
درصد رطوبت	1	3/435**	14/311**	219105**	0/830**
سطح تیمار	3	1/140ns	298/155**	21321**	0/850**
سطح تیمار×نوع تیمار	3	0/153**	103/031**	29513**	0/090**
نوع تیمار×درصد رطوبت	1	0/820**	3/781**	6849/700**	0/010**
درصد رطوبت×سطح تیمار	3	0/127**	6/831**	2625/500**	0/230**
سطح تیمار×نوع تیمار×درصد رطوبت	3	0/780**	7/095**	3691/500**	0/005**
خطای آزمایش	32	0/210	0/867	1114/200	0/002
ضریب تغییرات		20/980	53/504	47/450	0/319

نتایج آزمون مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف زغال‌زیستی و زئوپلانت در شکل (2) ارائه شده است. هر دو تیمار زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت مقدار مقاومت برشی خاک را ابتدا افزایش و سپس مقدار آن در سطوح کاربرد بالاتر به خاک، کاهش داده‌اند. همچنین میزان مقاومت برشی خاک در سطح رطوبت 25 درصد ظرفیت زراعی نسبت به 50 درصد ظرفیت زراعی بیشتر می‌باشد. بیشترین مقدار مقاومت برشی خاک مربوط به نمونه‌های تیمار شده با زغال‌زیستی 2 درصد در سطح رطوبتی 25 درصد رطوبت ظرفیت زراعی می‌باشد و کمترین میزان مقاومت برشی مربوط به نمونه‌های تیمار شده با زغال زیستی 6 درصد در سطح رطوبتی50 درصد

ظرفیت زراعی می‌باشد. در مجموع افزودن هر دو ماده‌ی اصلاح کننده در سطوح کاربرد بالا به خاک، موجب کاهش میزان مقاومت برشی خاک شده‌اند. خاک آلوده به نفت به دلیل خاصیت روغن‌کاری بین ذرات خاک و لغزش ذرات خاک در کنار هم موجب کاهش مقاومت برشی خاک می‌شود. زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت در سطوح 2 درصد ابتدا با از بین بردن این خاصیت مقدار مقاومت برشی خاک را افزایش داده‌اند و سپس در سطوح بالاتر به دلیل کاهش جرم ویژه‌ی ظاهری خاک و افزایش فضای خالی بین خاکدانه‌ها و افزایش درصد تخلخل خاک، میزان مقاومت برشی خاک را کاهش داده‌اند. به بیان دیگر در سطح 4 و 6 درصد زغال‌زیستی باگاس نیشکر و در سطح 6 درصد زئوپلانت نیروی برشی کمتری برای خاکدانه‌ها لازم است همین امر موجب کاهش انرژی لازم برای سست کردن خاک در حین عملیات کشاورزی و سهولت مدیریت خاک می‌گردد. افزایش میزان مقاومت را می‌توان به دلیل از بین بردن آلودگی و کاهش خاصیت لغزندگی بین ذرات خاک و افزایش مقاومت خاک در برابر تنش‌های وارده دانست و کاهش مجدد آن را به دلیل افزایش تخلخل و کاهش چسبندگی بین ذرات خاک و کاهش تماس سطوح کانی‌ها به یکدیگر دانست (گائولو،2014). بخش زیادی از سطوح خاک توسط ذرات زغال‌زیستی پوشانده می‌شوند و موجب جلوگیری از تماس سطوح کانی به یکدیگر شده که در نهایت سبب کاهش چسبندگی و مقاومت برشی خاک می‌شود. از طرفی با افزودن زغال‌زیستی به خاک مقدار زیادی از ذرات کربن تشکیل کمپلکس کربن-رس می‌دهند و برخی به صورت ذرات کربن جداگانه باقی می‌مانند. بنابراین بخشی از سطوح کانی با کربن با انرژی کم پوشیده می‌شود، این پوشش کربن می‌تواند موجب کاهش چسبندگی بین فاز جامد و مایع خاک شده و در این حالت مقاومت برشی کاهش می‌یابد (زانگ و چن، 2014). همچنین نتایج اهر و همکاران (1994) با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

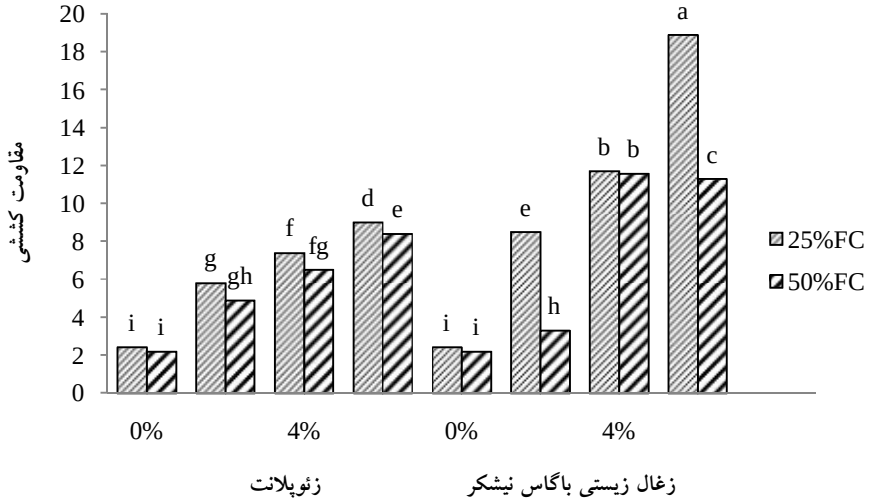
شایان ذکر است که ارتباط مستقیمی بین میزان مواد آلی و مقاومت برشی خاک وجود دارد، اما تأثیر آن با توجه به نوع ماده‌ی استفاده شده (بقایای گیاهی، روش-های کاربرد) و حالت‌های تجزیه‌ی ماده‌ی آلی متفاوت است (ویدال و همکاران،2009). ردی و همکاران در پژوهشی با افزودن زغال‌زیستی به خاک با بافت لوم‌رسی-شنی افزایش معنی‌دار مقاومت برشی خاک تیمار شده در مقایسه با خاک شاهد را مشاهده نمودند. گوپتا و همکاران (1987) نیز گزارش کردند افزودن زغال‌زیستی به خاک موجب کاهش مقاومت برشی خاک می‌شود. گائولو و همکاران (2014) مشاهده کردند پس از افزودن زغال-زیستی به خاک بخش زیادی از سطوح ذرات خاک پوشیده شده و از اتصال سطوح ذرات خاک به هم جلوگیری می‌شود و میزان مقاومت برشی کاهش می‌یابد. اوهو و همکاران (2009) گزارش کردند کاربرد ماده آلی در خاک می‌تواند با کاهش جرم ویژه‌ی ظاهری مقاومت برشی خاک را کاهش دهد.



شکل 2- مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر مقاومت برشی خاک
(حروف غیر مشابه بر اساس آزمون دانکن نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد است)

تأثیر تیمارها بر مقاومت کششی خاک

اثر متقابل هر 3 فاکتور نوع اصلاح کننده، سطح کاربرد و رطوبت در سطح احتمال یک درصد بر مقاومت کششی خاک معنی‌دار می‌باشد (جدول 4). آلودگی به مواد نفتی موجب کاهش زاویه‌ی اصطکاک داخلی، افزایش روغن کاری بین ذرات خاک، افزایش لغزندگی ذرات خاک روی هم شده و سبب کاهش مقاومت کششی خاک می‌شود. در این حالت خاک با نیروی کمتری از هم می‌پاشد. همانگونه که شکل (3) نشان می‌دهد هر دو تیمار زغال‌زیستی باگاس‌نیشکر و زئوپلانت در 3 سطح کاربرد و 2 سطح رطوبتی موجب افزایش میزان مقاومت کششی خاکدانه‌ها شده‌اند. بیشترین میزان مقاومت کششی مربوط به نمونه‌های تیمار شده با زغال‌زیستی 6 درصد در سطح رطوبتی 25 درصد رطوبت ظرفیت زراعی می‌باشد. میزان مقاومت کششی در سطح رطوبت 25 درصد ظرفیت زراعی نسبت به 50 درصد رطوبت ظرفیت زراعی دارای مقدار بیشتری می‌باشد. خاک آلوده به نفت به دلیل خاصیت لغزندگی بین ذرات خاک دارای مقاومت کششی بسیار کمی می‌باشد. با افزایش درصد زغال‌زیستی و زئوپلانت خاصیت لغزندگی بین ذرات خاک کاهش یافته و میزان مقاومت کششی افزایش می‌یابد. تیمار زغال‌زیستی در افزایش میزان مقاومت کششی بهتر عمل کرده و بیشترین میزان مقاومت کششی مربوط به این تیمار در سطح 6 درصد می‌باشد. زغال زیستی نسبت به زئوپلانت دارای محتوای کربن و ماده آلی بیشتری می‌باشد همین امر موجب شده تا تأثیر بیشتری برروی مقدار مقاومت کششی داشته باشد.



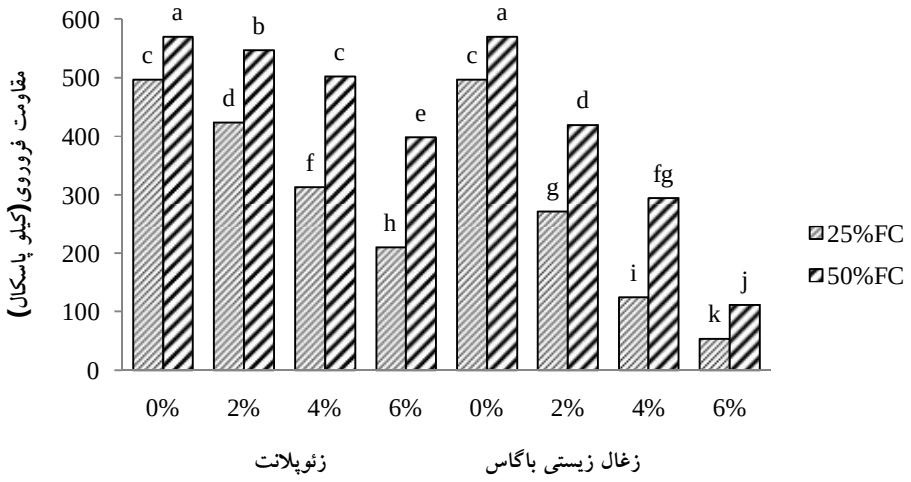
شکل 3- مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر مقاومت کششی خاک
(حروف غیر مشابه بر اساس آزمون دانکن نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد است)

برزگر و همکاران (1995) مقاومت کششی را به مقدار رس، نوع رس، رس قابل پراکنش، ظرفیت تبادل کاتیونی، پایداری خاکدانه‌ها، مقدار کاتیون‌ها، غلظت و ترکیب محلول خاک و چرخه مرطوب و خشک شدن مرتبط دانست. خادم الرسول و همکاران (2014) در مطالعه‌ای با افزودن زغال‌زیستی و کود حیوانی به خاک شنی اظهار داشتند که این مواد اصلاح‌کننده موجب بهبود ساختمان خاک از طریق اتصال ذرات خاک منجربه ایجاد خاکدانه‌های پایدار شده و در نتیجه سبب افزایش مقاومت کششی خاکدانه‌ها می‌شوند. ناولز و همکاران (2011) مشاهده نمودند افزودن زغال‌زیستی به خاک منجر به کاهش مقاومت کششی خاکدانه‌ها می‌گردد.

تأثیر تیمارها بر مقاومت فروروی خاک

نتایج نشان داد که فاکتورهای نوع اصلاح کننده، میزان کاربرد و سطح رطوبت تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان مقاومت فروروی خاک داشته است (جدول 4). افزودن هر دو ماده‌ی اصلاح کننده در هر 3 سطح کاربرد و 2 سطح رطوبتی سبب کاهش میزان مقاومت فروروی در خاک شده‌اند (شکل 4). میزان مقاومت به نفوذ در سطح رطوبتی 50 درصد رطوبت

ظرفیت زراعی نسبت به 25 درصد رطوبت ظرفیت زراعی دارای مقدار بیشتری می‌باشد. با افزایش سطح کاربرد زغال‌زیستی و زئوپلانت، مقاومت فروروی در خاک تیمار شده نسبت به نمونه‌ی شاهد روند کاهشی نشان می‌دهد. کمترین میزان مقاومت فروروی مربوط به نمونه‌ی تیمار شده با زغال‌زیستی 6 درصد در سطح رطوبت 25 درصد ظرفیت زراعی می‌باشد و بیشترین میزان مقاومت فروروی مربوط به نمونه‌ی شاهد است. همانگونه که در شکل (4) مشخص است اصلاح کننده‌ی زغال‌زیستی نسبت به زئوپلانت در کاهش مقاومت فروروی خاک تأثیر بیشتری داشته است و با افزایش سطح تیمار از 2 درصد به 6 درصد مقدار مقاومت فروروی درخاک روند کاهشی قابل توجهی داشته است. دامبروس و همکاران (2011) بیان کردند که فاکتورهای مؤثر بر فروروی شامل جرم ویژه‌ی ظاهری، مقدار رطوبت خاک، میزان تراکم پذیری، بافت خاک، ساختمان خاک و میزان ماده آلی موجود در خاک می‌باشد. با توجه به تأثیر بیشتر زغال‌زیستی بر جرم ویژه‌ی ظاهری و افزایش میزان تخلخل و تأثیر بیشتر زغال‌زیستی بر تراکم‌پذیری خاک، می‌توان تأثیر بیشتر زغال‌زیستی نسبت به زئوپلانت در کاهش مقاومت فروروی را منبعث از همین موارد یاد شده دانست. خاک‌های آلوده به مواد نفتی به دلیل روغن کاری بین ذرات خاک و قرارگیری ذرات ریز بین منافذ و افزایش میزان تراکم خاک و کاهش تخلخل و افزایش میزان جرم مخصوص ظاهری موجب افزایش میزان مقاومت فروروی در خاک می‌شود.. باسچر و همکاران (2011) کاهش مقاومت فروروی خاک تیمار شده با زغال زیستی 2 درصد را نسبت به نمونه شاهد گزارش کردند.



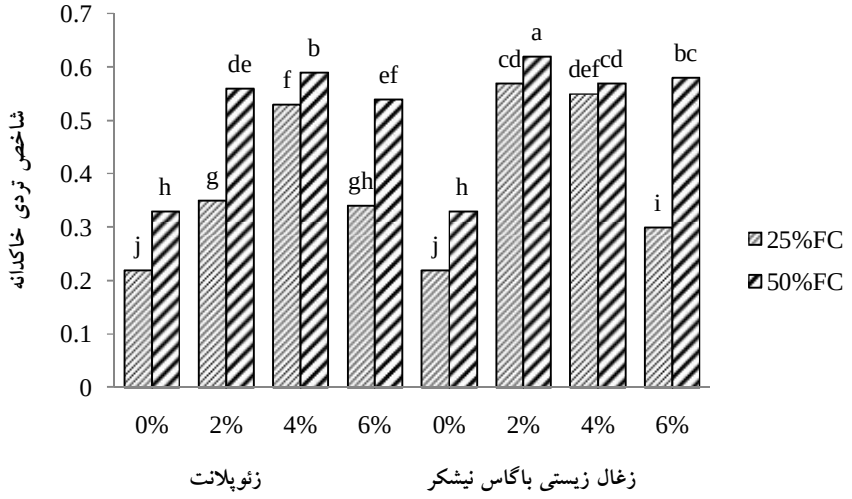
شکل 4- مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر مقاومت به نفوذ خاک
(حروف غیر مشابه بر اساس آزمون دانکن نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد است)

همچنین گوپتا و همکاران (1987) مشاهده کردند کاربرد ماده آلی در خاک منجر به کاهش مقاومت فروری در خاک می‌شود. روگوسکا و همکاران (2011) با به کار گیری 96 میلی گرم بر هکتار زغال زیستی شاهد افزایش مقاومت فروروی از 1/33 مگا پاسکال به 1/44 مگاپاسکال نسبت به نمونه‌ی شاهد شدند.

تأثیر تیمارها بر شاخص تردی خاکدانه‌ها

نتایج نشان می‌دهد که اثر متقابل هر سه فاکتور نوع اصلاح کننده، میزان کاربرد و رطوبت در سطح احتمال یک درصد معنی دار شده است (جدول 4). اتومو و دکستر (1981) تمایل یک توده‌ی محصور نشده‌ی خاک به خرد شدن تحت تنش‌های وارده و شکسته شدن آن را به قطعات کوچکتر به‌عنوان شاخص تردی خاک بیان می‌نمایند که می‌تواند در ارتباط با مسائل خاکورزی نیز مورد استفاده قرار بگیرد. نتایج آزمون مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر شاخص تردی خاکدانه‌ها در شکل 5 ارائه شده است که نشان می‌دهد هر دو تیمار زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت باعث افزایش تردی خاکدانه‌ها شده است. زغال‌زیستی در سطح 2 و 4 درصد باعث افزایش تردی و در سطح 6 درصد سبب ایجاد روند کاهشی در شاخص تردی خاکدانه‌ها شده است. در نمونه‌های تیمار شده با زئوپلانت در سطح 2 درصد موجب افزایش پارامتر تردی خاکدانه ها و در سطح 4 و 6 درصد موجب کاهش این پارامتر شده است.

روند حاصله حاکی از آن است که هر دو تیمار باعث افزایش میزان تردی خاکدانه شده اند. مقدار شاخص تردی خاکدانه‌ها در سطح رطوبتی 50 درصد FC نسبت به 25 درصد FC دارای مقدار بیشتری است. بیشترین مقدار شاخص تردی خاکدانه‌ها مربوط به تیمار زغال-زیستی 2 درصد و زئوپلانت 4 درصد در سطح رطوبت 50 درصد ظرفیت زراعی می‌باشد.



شکل 5- مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر شاخص تردی خاکدانه (FI)
(حروف غیر مشابه بر اساس آزمون دانکن نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد است)

کاهش تردی خاکدانه ها در سطح 6 درصد زئوپلانت و سطح 4 و 6 درصد زغال زیستی را می‌توان به بالا رفتن مقاومت کششی خاکدانه‌ها در اثر افزایش ماده‌ی آلی خاک نسبت داد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد ماده‌ی آلی خاک، میزان مقاومت کششی خاک افزایش یافته ولیکن شاخص تردی خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد. دلیل دیگر افزایش شاخص تردی خاکدانه‌ها را می‌توان به بالا رفتن سدیم خاک و فرایند تر و خشک شدن نسبت داد. البته لازم به ذکر است که شاخص تردی خاکدانه‌ها مستقل از مقاومت خاک بوده و مقدار تردی نشان دهنده‌ی میزان مقاومت کششی خاکدانه ها نبوده و یک خاک با هر میزان مقاومت می‌تواند مقادیر متفاوتی از تردی را دارا باشد (اتومو و دکستر1981). مقدار شاخص تردی بیانگر تغییرات مقاومت کششی با اندازه خاکدانه هاست، در دامنه‌ای از اندازه‌ی خاکدانه ها ممکن است خاک با وجود داشتن شاخص تردی بالا، مقاومت بالایی نیز داشته باشد، به همین دلیل شاخص تردی لزوما نشان دهنده‌ی سهولت خاکورزی نیست.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، خاک‌های آلوده به مواد نفتی متأثر از زغال‌زیستی باگاس-نیشکر (اصلاح کننده‌ی آلی) و زئوپلانت (اصلاح کننده‌ی آلی-معدنی) و همچنین دو سطح رطوبتی 25 و 50 درصد ظرفیت زراعی (FC) مورد ارزیابی قرار گرفت. زغال-زیستی تهیه شده از باگاس نیشکر و زئوپلانت مورد استفاده نقش مواد آلی و آلی-معدنی اصلاح کننده را در خاک ایفاء نموده و سبب بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی خاک‌های آلوده به مواد نفتی موجود در میدان نفتی اهواز گردیدند. اصلاح کننده‌ی زئوپلانت در سطح 2 و 4 درصد موجب افزایش مقاومت برشی خاک و در سطح 6 درصد موجب کاهش این پارامتر شده است. در نمونه‌های تیمار شده با زغال‌زیستی 2 درصد میزان مقاومت برشی افزایش و در سطوح 4 و 6 درصد روند کاهشی داشته است. بیشترین مقدار مقاومت برشی مربوط به زغال‌زیستی در سطح 2 درصد می‌باشد. میزان مقاومت برشی در سطح رطوبت 25 درصد نسبت به 50 درصد ظرفیت زراعی دارای مقدار بیشتری می‌باشد. هر دو تیمار در هر 3 سطح کاربرد موجب افزایش میزان مقاومت کششی خاکدانه‌ها شده‌اند. بیشترین مقدار مقاومت کششی مربوط به نمونه‌های تیمار شده با زغال‌زیستی 6 درصد در سطح رطوبت 25 درصد ظرفیت زراعی می‌باشد. زغال-زیستی و زئوپلانت در هر 3 سطح کاربرد و 2 سطح رطوبتی موجب کاهش میزان مقاومت فروروی در خاک-های تیمار شده گردیدند. میزان مقاومت فروروی در سطح

رطوبت 50 درصد نسبت به 25 درصد ظرفیت زراعی دارای مقدار بیشتری می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار شاخص تردی خاکدانه‌ها از تیمار زغال‌زیستی 2 درصد و زئوپلانت 4 درصد در سطح رطوبت 50 درصد ظرفیت زراعی حاصل شد. شایان ذکر است که با توجه به ارتباطات خصوصیات ساختمانی و مکانیکی یک خاک در نتیجه اندازه‌گیری و ارزیابی پارامترها و ویژگی‌های مکانیکی یک خاک که غالبا رفتارهای عکس‌العمل گونه‌ای هستند می‌تواند راهکاری مناسب برای مدیریت خاک باشد. در مجموع استفاده از تیمارهای آلی به‌واسطه‌ی ویژگیهای موجود در مواد آلی می‌تواند راهکاری مدیریتی (با محوریت مدیریت پایدار منابع) جهت حفظ و بهره‌برداری بهینه‌ی منابع باشد که در هرم تصمیم‌سازی توسط مدیران می‌بایست مورد توجه واقع شود.

فهرست منابع:

1. ابراهیم زاده عمران، س.، شرفا، م. 1394. اصلاح آبگریزی خاک‌های آلوده به نفت با استفاده از بیوچار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی.
2. برزگر، ع.ا. 1380. فیزیک خاک پیشرفته. چاپ اول، دانشگاه شهید چمران اهواز.
3. 3- غلامی، م (1389). سوپر جاذب‌ها راهی برای گسترش فضای سبز و مقابله با کمبود آب، نشریات شرکت ره شهر، شماره110.
4. محمدی، ن. خادم الرسول، ع. 1399. تأثیرات زغال زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آلوده به هیدروکربن های نفتی (TPHs). تحقیقات کاربردی خاک. در دست چاپ.
5. معزی، ع.، خادم الرسول،ع.، بی ریا، م. (1396). تأثیر زغال زیستی و کاربرد آن در خاک. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
6. Adams. F. V., niyomugabo. A., silvester. O. P. 2017. Bioremediation of crude oil contaminated soils using agricuitural waste. Procedia manufacturing. 7: 459-464
7. Barzegar. A., R., Oades, J. M., Rengasamy, P. Murray, R. S., 1995. Tensile strength of dry, remolded soils as affected by properties of the clay function. Geoderma, 65: 93-108
8. Brennan, A., Moreno, E., Jose, J. N., Alburquerque, A., Knapp, C.W. and Switzer, C. (2014). Effect of biochar and activated carbon amendment on maiz growth and the uptake and measured availability of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and potentially toxic elements (PTEs). Environmental Pollution, 193, 79-87.
9. Buscher, W. J, Novak, J. M. Evans, D. E. Watts., D. W., Niandou, M. A. S. Ahmedna, M. 2010. Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand. Soil Science, 175: 10-14.
10. Dexter, A. R., Kroesbergen, B. 1985. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. Journal of Agricultural Engineering Research, 31(2): 139-147.
11. Francy, D. S., Thomas. J. M. 1991. Emulsification of Hydrocarbons by Subsurface Bacteria. Journal of Industrial Microbiology. 8: 237-246.
12. Gao Lu, S., Fang. S. F. and tong. Z. Y. 2014. Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expensive clayey soil (Vertisol) Catena, 114: 37-44.
13. Gupta, S. C., Schneider, E. C., Larson, W. E., and Hadas, A. 1987. Influence of corn residue on compression and compaction behavior of soils. Soil Science Society of America Journal, 51: 207-212.
14. Khademalrasoul, A., Naveed, M., Heckrath, G., Kumari, K. G. I. D., Jonge, L. W., Elsgaard, L., 2014. Biochar effects on soil aggregate properties under no-till maize. Soil Science. 179: 273-283.
15. 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 Vol., 89: 220–229.

16. Laird 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.
17. Lehmann, J., Gaunt, J., and Rondon, M. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems a review. Mitigat. Adap. Strat. Glob. Chang. 11: 403-427
18. Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment, 5: 381-387.
19. Lehmann, J., Skjemstad, J., Sohi, S., Carter, J., Barson, M., Falloon, P., Coleman, K., Woodbury, P. and Krull, E. 2008. Australian climate-carbon cycle feedback reduced by soil black carbon. Nature Geoscience 1: 832. DOI: 10.1038/ngeo358.
20. Lehmann, J., Czimczik, C., Laird, D. and Sohi, S. 2009. Stability of biochar in the soil. In: Biochar for Environmental Management: Science and Technology (Eds. Lehmann, J. & Joseph, S), Earth scan, London.
21. Mukherjee, A., R. Hamdan, W. T. Cooper, A. R. A. Zimmerman. 2013. Chemical comparison of freshly-produced and field-aged biochars and biochar-amendment soils. Chemosphere. 6: 731-76.
22. Smith. P. 2016. Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. Global Change Biology. 22 (3): 1315_24
23. Weng, Z.H., L. Van Zwieten, B.P. Singh, S. Kimber, S. Morris, A. Cowie. 2015. Plant biochar interactions drive the negative priming of soil organic carbon in an annual ryegrass field system. Soil Biology and Biochemistry, 90: 111-121.
24. Zong., Y., Chen, D., Lu, S. (2014).Impact of biochar on swell-shrinkage behavior, mechanical strength, and surface cracking of clayey soil. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 177(6):920-926.

Investigation of Biochar and Zeoplant Application on Mechanical Properties of Soils Contaminated with Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs) in Oil Fields of Ahvaz

N. Mohammadi and A. Khademalrasoul[1]

MSc. of Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran; E-mail: Niloofarmohammadi00@yahoo.com

Assistant Professor of Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran; E-mail: a.khademalrasoul@scu.ac.ir; ataalahsoil@gamil.com

Received: July, 2020 and Accepted: October, 2020

Abstract

Exploitation of oil reservoirs enhances the seepage of petroleum hydrocarbon contaminants to the soil. This phenomenon causes environmental damages and detrimental changes in soil chemical, physical, mechanical, and biological properties. In this study, effects of Bagasse biochar and zeoplant as organic-mineral amendments were investigated on some oil-contaminated soils around Ahvaz city (exploitation area of Karoon oil and gas). Soil sampling was carried out using completely randomized in the block, then, the soil samples were put in pots (7 kg) and the treatments were applied at rates of 2%, 4%, and 6% by weight. Afterwards, the soil moisture was adjusted in the pots (25% and 50% of FC) and all samples were incubated for 100 days. After incubation, penetration resistance, tensile strength, and shear strength were measured using the standard methods. Also, Alkanes and total petroleum hydrocarbons (TPHs) were determined using Gas Chromatography (GC). Results revealed that application of biochar and zeoplant at 2% and 4% levels enhanced the shear strength, whereas application of 6% level at 50% FC decreased the shear strength (0.4 Kpa). Application of biochar and zeoplant increased tensile strength, and at 6% level of biochar (at 25% FC) the highest tensile strength was observed (18 Kpa). The lowest penetration resistance was recorded for 6% of biochar application and at 25% FC. Addition of organic and organic-mineral amendments improved the soil structural and mechanical properties, therefore, their application is a convenient management strategy to amend the oil-contaminated soils.

Keywords: Soil degradation, Soil resistance, Soil shear strength, Oil contamination, Organic-mineral amendment

[1]. Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.