Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2021.313247.668793 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۲، اردیبهشت ۱۴۰۰ (ص ۴۰۷-۳۹۵)

Assessment of Zeoplant and Biochar of Sugarcane Residual on Mean Weight Diameter and Atterberg Limits of Soil Contaminated with Total Petroleum Hydrocarbon

NILUFAR MOHAMMADI[1], ATAALLAH KHADEMALRASOUL[1*]
1. Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
(Received: Nov. 15, 2020- Revised: Dec. 30, 2020- Accepted: Jan. 4, 2021)

ABSTRACT

One of the most important groups of environmental contaminants is petroleum hydrocarbons which usually come from oil and gaseous industrial. In this study, the effects of Zeoplant and Biochar of Bagasse as an organic-mineral and organic amendments were investigated on the soil physical and mechanical properties in Oil fields of Ahvaz. Soil sampling was performed using systematic sampling (randomized in the block), then the soil samples were put in the pots and 2, 4 and 6 % (by weight) of treatments added to the soils. The incubation time was 100 days and during this time the moisture level adjusted on 25 and 50% of field capacity (FC). After incubation, the soil aggregate stability, friability index (FI), Atterberg limits and soil permeability were measured using standard methods. Our results revealed that the mean weight diameter (MWD) was decreased from 1.3 mm for the blank to 0.6 mm for 6% of Zeoplant treatment at 50% of FC. Moreover, for both treatments friability index was increased which was higher for 50% of FC, while for 6% of Zeoplant, FI was declined. Also, the application of 2 and 4% of biochar decreased the MWD as an index of soil aggregate stability. Results depicted that the application of Zeoplant and Bagasse Biochar increased liquid limit (LL) and plastic limit (PL) and consequently decreased the plastic index (PI). In general, the application of organic-mineral treatments to the soil was effective on soil physical and mechanical properties; therefore the quantity and quality of the above treatment must be considered as a component of decision pyramid.

Keywords: Friability Index (FI), Atterberg Limits, Soil Structure Amendment, Aggregate Stability, Plastic Index (PI).

[*]Corresponding author's Email: a.khademalrasoul@scu.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی اثربخشی زئوپلانت و بیوچار ضایعات نیشکر بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و حدود آتربرگی خاک‌های آلوده به مواد نفتی

نیلوفر محمدی[۱]، عطاالله خادم الرسول[۱*]

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵)

چکیده

یکی از مهمترین آلاینده‌های آلی، هیدروکربن‌های نفتی هستند که غالباً از طریق صنایع نفت وارد محیط‌زیست پیرامونی می‌شوند. در این پژوهش تأثیرات زئوپلانت و زغال‌زیستی باگاس به‌عنوان اصلاح‌کننده‌های آلی-معدنی و آلی بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌های آلوده، در محدوده‌ی میدان نفتی اهواز-منطقه بهره‌برداری نفت و گاز کارون ارزیابی شد. پس از بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری به روش سیستماتیک کاملاً تصادفی درون بلوک، نمونه‌های خاک مناطق آلوده به هیدروکربن‌های نفتی، به گلدان منتقل و سپس تیمارهای آزمایشی در سطوح ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی به خاک افزوده شدند. نمونه خاک‌های آلوده، برای مدت زمان ۱۰۰ روز انکوباسیون شدند و در طول دوره‌ی انکوباسیون رطوبت خاک در سطح ۲۵ و ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی (FC) تنظیم گردید. پس از اتمام دوره‌ی انکوباسیون پارامترهای پایداری خاکدانه، شاخص تردی خاکدانه، حدود آتربرگ و کلاس آبگریزی خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در اثر افزودن زئوپلانت با سطح ۶ درصد و رطوبت ۵۰ درصد FC، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) از ۱/۳ میلی‌متر در تیمار شاهد به حدود ۰/۶ میلی‌متر کاهش یافته است. برای هر دو تیمار، با افزایش سطح تیمار، شاخص تردی افزایش یافت که این افزایش در سطح رطوبتی ۵۰ درصد FC بیشتر بوده است؛ ولیکن در سطح ۶ درصد، کاهش در شاخص تردی خاکدانه مشاهده شده است. افزودن زغال‌زیستی در سطوح ۲ و ۴ درصد، MWD را کاهش داده است؛ درحالی‌که افزودن ۶ درصد زغال‌زیستی منجر به افزایش MWD، به‌عنوان شاخص پایداری خاکدانه‌ای شده است. نتایج نشان داد که افزودن تیمارهای زئوپلانت و زغال‌زیستی باگاس سبب افزایش رطوبت حدروانی و حدخمیری خاک و در نتیجه کاهش شاخص خمیرایی شده‌اند. در مجموع، تیمارهای آلی-معدنی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک تأثیرگذار بوده است. بدین ترتیب نیاز است مقدار و چگونگی افزودن تیمارها به خاک لحاظ شده و به‌عنوان راهکاری مدیریتی در هرم تصمیم‌گیری دیده شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص تردی خاکدانه، حدود آتربرگی، اصلاح ساختمان خاک، پایداری خاکدانه‌ای، شاخص خمیرایی.

مقدمه

ترکیبات نفتی دسته‌ای از مواد آلی هستند که به صورت آلاینده‌هایی مخرب بر ویژگی‌های خاک و محیط‌زیست پیرامونی تأثیرگذار می‌باشند. گسترش جهانی بهره‌برداری از منابع نفتی در صنایع مختلف، حمل و نقل و مصارف خانگی تقریباً در کلیه‌ی جوامع اعم از کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده، پیش رفته و در حال توسعه، امری اجتناب‌ناپذیر است. متأثر از گسترش بهره‌برداری از منابع نفتی، آلودگی‌های ناشی از آن همچون مواد زائد فرآیندهای پالایش، مواد زائد مصرفی و نشت از مخازن افزایش یافته و زمینه‌ی تخریب محیط‌زیست را فراهم نموده است (Mohammadi and Khademalrasoul, 2020). گسترش آلاینده‌های نفتی در محیط پیرامونی ضرورت انجام عملیات پاکسازی و به‌سازی مناطق آلوده را نمایان ساخته است. تجمع ترکیبات نفتی در محیط‌زیست پیرامونی علاوه بر تخریب اراضی منجر به ایجاد بیماری‌های مختلف در انسان و سایر موجودات شده است که این مسئله اهمیت اصلاح ویژگی‌های خاک مناطق آلوده را نشان می‌دهد. جهت بهره‌برداری مناسب و اصولی از خاک‌های آلوده به مواد نفتی لازم است که ویژگی‌ها و رفتارهای فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک به دقت ارزیابی گردد. پیچیده بودن محیط خاک و ویژگی‌های متنوع اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی آن، موجبات بروز رفتارها و عکس‌العمل‌های متفاوت خاک‌های آلوده در مقابل آلاینده‌های نفتی و میزان جذب آن‌ها در خاک می‌شود. مطالعه‌ی این ویژگی‌ها و شناسایی برهم‌کنش آن‌ها با آلاینده‌ها، زمینه را جهت مدیریت مطلوب و بهینه‌ی چنین خاک‌هایی فراهم می‌سازد (Minueei *et al.*, 2013). برهم‌کنش آلاینده‌ها در خاک

* نویسنده مسئول: a.khademalrasoul@scu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

معمولاً در قالب فرایندهای جذب و کمپلکس شدن رخ می‌دهد. عبارت کلی جذب، برای فرآیندی استفاده می‌شود که در آن مواد حل‌شده همچون یون‌ها، بین سطوح مشترک فاز مایع و ذرات خاک تقسیم می‌شوند. جذب سطحی فیزیکی، زمانی اتفاق می‌افتد که به علت وجود بارهای غیرهمنام، آلاینده به سطوح اجزای تشکیل‌دهنده‌ی خاک، جذب می‌شود. در جذب سطحی ویژه، یون‌ها به پوسته‌ی کوئوردیناسیون اتم نفوذ می‌کنند و توسط پیوندهای کووالانسی و گروه‌های عاملی OH و O به کاتیون‌های ساختاری می‌پیوندند (Khatibi *et al.*, 2015).

پایداری خاکدانه‌ای عبارت از مقاومت خاکدانه‌ها در مقابل نیروهای گسیختگی حاصل از عملیات خاک‌ورزی و نیز رخدادهای فرسایشی است و وجود آلاینده‌های نفتی بر پایداری خاکدانه‌ها تأثیرگذار است (Khademalrasoul *et al.*, 2014; Khademalrasoul *et al.*, 2019). آلودگی به مواد نفتی موجب کاهش مقاومت خاک می‌شود، دلیل این امر تأثیر مواد روغنی موجود در نفت خام است که سبب کاهش اصطکاک بین ذرات خاک می‌شود و مقاومت خاک را در مقابل نیروهای وارده کاهش می‌دهد (Zohrabi and Abbasipour, 2017). فرایند خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر درصد ماده‌ی آلی، نوع و درصد رس، مقدار کاتیون‌های قابل‌جذب (کلسیم و سدیم) و میزان اکسید آهن موجود در خاک است (Gang *et al.*, 2013). از میان عوامل مؤثر بر پایداری ساختمان خاک، عامل ماده‌ی آلی خاک از بیشترین سطح اثربخشی برخوردار است که جایگاه آن را در تحقق اهداف مدیریت پایدار خاک نشان می‌دهد. وجود برخی از یون‌های آلی همچون ترکیبات اسید فولیک و اسید سیتریک در خاک؛ رس قابل پراکنش[1] را به شکل معنی‌داری افزایش و در نتیجه پایداری خاکدانه‌ها را کاهش می‌دهد. در واقع برخی آنیون های آلی مانند سیترات، اگزالات، فولوات، لاکتات و استات سبب افزایش رس قابل پراکنش و کاهش پایداری ساختمان خاک می شود. اما وجود اسیدهای با ساختار حلقوی در خاک، سبب هم‌آوری ذرات رس شده و پایداری ساختمان خاک را افزایش می دهد (Tushar et al., 2018). ترکیبات آلی با ایجاد پیوند کاتیونی با رس‌های خاک، خنثی کردن بارهای موجود در سطح رس‌ها توسط یون‌های آلی و نیز پوشش‌های آب‌گریزی که ترکیبات آلی روی سطوح خاکدانه‌ها تشکیل می‌دهند، سبب پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند (Tushar et al., 2018).

اندازه‌ی خاکدانه‌ها بر میزان مقاومت آنها تأثیرگذار است و در این ارتباط مفهومی تحت عنوان شاخص تردی خاکدانه‌ها وجود دارد. تردی خاک عبارت از تمایل کلوخه‌های بزرگ یک توده‌ی محصور نشده‌ی خاک، به خرد شدن به صورت قطعات کوچکتر و در یک دامنه‌ی اندازه‌ای مشخص است Utomo and Dexter (1981, 1982) و Dexter (2008). همواره پاک‌سازی و به‌سازی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی مورد توجه پژوهشگران بوده است و بدین منظور روش‌های مختلفی ارزیابی شده است. در این پژوهش جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی، از زغال‌زیستی و زئوپلانت استفاده شده است. زغال‌زیستی یک ماده‌ی غنی از کربن است که طی فرآیند گرماکافت زیتوده در شرایط عدم حضور و یا حضور جزیی اکسیژن تولید می‌شود. زغال‌زیستی از تجزیه‌ی حرارتی زیتوده‌های آلی و تحت فرآیند گرماکافت تولید می‌شود و بر روی سطح خود دارای گروه‌های عاملی آلی فراوانی است که پتانسیل آن را برای تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی افزایش می‌دهد (Lehmann *et al.*, 2006). سطح ویژه‌ی بالا و وجود حفرات ریز در ساختار زغال‌زیستی برروی ویژگی‌های جذبی آن مؤثرند و توزیع اندازه‌ی ذرات، جرم ویژه‌ی ظاهری، ظرفیت نگهداری آب در خاک و مقاومت به نفوذ را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Khademalrasoul *et al.*, 2014). طیف وسیعی از انواع گروه‌های عاملی همچون هیدروکسیل (OH)، کربوکسیل(C=O)، فنول، استرها و آمیدها در سطوح تبادلی زغال‌زیستی وجود دارند (برنان و همکاران ۲۰۰۱) که سبب افزایش ظرفیت زغال‌زیستی برای واکنش‌پذیری با ترکیبات آلی و معدنی موجود در محلول خاک می‌شوند (Atkinson *et al.*, 2010). افزودن زغال‌زیستی به خاک سبب بهبود کیفیت خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، کاهش جذب مواد سمی و بهبود ساختمان خاک می‌شود. ماده‌ی اصلاح‌کننده‌ی دیگری که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت زئوپلانت است، زئوپلانت نام تجاری نوعی زئولیت غنی‌شده با مواد آلی است. این ماده در افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک نقش مؤثری دارد و متشکل از ترکیب مواد معدنی و آلی طبیعی است. زئوپلانت با ترکیباتی کاملاً طبیعی جزء سوپرجاذب‌های رطوبتی محسوب می‌شود که از انواع سنگ‌های طبیعی معدنی و الیاف طبیعی تشکیل شده است (Gholami, 2010). اجزای خاکستر آتشفشانی، ریولیتیک و فیلوسیلیکات زئوپلانت، به‌شکل قابل‌توجهی ظرفیت نگهداری آب را در خاک افزایش می‌دهند. طی پژوهشی توسط Zohrabi and Abbasipour (2017) تأثیر تیمارهای زغال‌زیستی، قارچ آربوسکولار میکوریزا و ترکیب زغال‌زیستی-میکوریز همراه با کشت دو گیاه شبدر و پنیرک بر بهبود

۱ Dispersible clay

www.SID.ir

Archive of SID

ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آلوده به مواد نفتی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که گیاه پنیرک به همراه زغال‌زیستی بیشترین میزان تجزیه‌ی هیدروکربن‌های نفتی را سبب می‌شود. در همین راستا Adams et al., (2008) تأثیرات بهبودبخش افزودن زغال‌زیستی را بر اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی تأیید نمودند. همچنین ارزیابی اثربخشی زغال‌زیستی کاه گندم بر وضعیت هیدروکربن‌های نفتی موجود در خاک حاکی از تأثیرات مثبت این تیمار آلی بر اصلاح خاک‌های آلوده به مواد نفتی است (Zong *et al.*, 2004). افزودن زغال‌زیستی به‌عنوان یک تیمار آلی موجب بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی می‌شود (Brennan *et al.*, 2014). همچنین پژوهش‌های Gang *et al.* (2013) نشان داد که افزودن زغال‌زیستی کاه برنج به‌عنوان یک اصلاح‌کننده‌ی آلی منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آلوده به هیدروکربن‌های نفتی به‌واسطه‌ی تجزیه‌ی مواد نفتی می‌شود. در پژوهش دیگری Adams *et al.*, (2017) تأثیرات پسماندهای کشاورزی را بر روی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی بررسی نموده و گزارش کردند که پسماندهای کشاورزی سبب افزایش تخلخل و نفوذپذیری خاک و درنتیجه موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک شده است.

بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده مفروض است که افزودن تیمارهای آلی و یا آلی-معدنی می‌تواند بر روی ویژگی‌های خاک تأثیرگذار باشد. با توجه به اهمیت موضوع و فرض مذکور، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات دو تیمار زغال‌زیستی تهیه‌شده از ضایعات نیشکر و زئوپلانت بر روی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) به عنوان شاخصی از پایداری خاکدانه‌ای و حدود آتربرگی انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مطالعاتی

در پژوهش حاضر منطقه‌ی مطالعاتی تحت عنوان میدان نفتی اهواز (منطقه‌ی بهره‌برداری نفت و گاز کارون) است که در محدوده‌ی شهرستان اهواز، با مختصات جغرافیایی ″۹۳ ′۴۴ °۴۸ تا ″۹۵ ′۴۴ °۴۸ طول شرقی و ′۱۹ °۳۱ تا ′۲۰ °۳۱ عرض شمالی واقع شده است. منطقه‌ی مطالعاتی متأثر از اقلیم شهرستان اهواز دارای آب و هوایی خشک با متوسط بارندگی حدود ۲۱۳ مسلمی‌تر است و بیشینه‌ی درجه حرارت آن به ۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد نیز می‌رسد. خاک‌های منطقه فاقد ویژگی‌های ساختمانی مناسب هستند و عمدتاً در رده‌ی خاک‌های جوان و بدون تکامل پروفیلی قرار دارند (رده‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول و اریدی‌سول). همچنین خاک منطقه دارای هدایت الکتریکی ۶/۱۹ دسی‌زیمنس‌برمتر، pH برابر ۷/۲۹ و ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۴/۴۱ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم خاک است.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک منطقه‌ی مطالعاتی

پس از انجام بازدیدها و مشاهدات میدانی و تقسیم‌بندی منطقه به یکسری بلوک مطالعاتی، عملیات نمونه‌برداری خاک به روش کاملاً تصادفی درون بلوک و از سطح خاک تا عمق ۳۰ سانتیمتری انجام شد. نمونه‌برداری خاک به‌گونه‌ای انجام شد که نمونه‌های خاک تهیه‌شده به‌عنوان نماینده‌ای از خاک منطقه (Representative soil sample) باشند. برای هر بلوک مطالعاتی با انجام عملیات مخلوط‌سازی نمونه‌ها، نمونه‌های مرکب (Composite) تهیه شد. پس از تهیه و آماده‌سازی اولیه‌ی نمونه‌ها، به‌منظور بررسی میزان آب‌گریزی نمونه‌های خاک، از روش مدت زمان نفوذ قطرات آب (WDPT[1]) استفاده شد (Hallet *et al.*, 2006). در این روش ابتدا ۱۰ گرم از نمونه‌ی خاک آلوده به مواد نفتی برداشت‌شده از اطراف چاه نفت، به پتری دیش منتقل شد و رطوبت لازم در حد ۲۵ و ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی (FC) تأمین گردید؛ سپس برای مدت زمان ۵ دقیقه تکان داده شده 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 ۱سانتی‌متر با قطره‌چکان اضافه شد و مدت زمان نفوذ قطرات آب به درون خاک با زمان‌سنج دقیق اندازه‌گیری و به‌عنوان معیاری جهت ارزیابی آب‌گریزی خاک، ثبت گردید. با توجه به مدت زمان نفوذ قطرات آب، درجه‌ی آب‌گریزی هر نمونه تعیین شد. برخی از ویژگی‌های آب‌گریزی خاک منطقه‌ی مطالعاتی در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌گونه که اطلاعات مندرج در جدول (۱) نشان می‌دهد خاک منطقه در کلاس بسیار آب‌گریز قرار دارد که بر روی رفتارهای آن تأثیرگذار است.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های آب‌گریزی خاک منطقه‌ی مطالعاتی

پارامتر	واحد	مقدار
رطوبت ظرفیت زراعی	%	۱۹/۲۸
هیدروکربن‌های نفتی	$mg.kg^{-1}$	۱۱۵۸۰
مدت نفوذ قطرات آب	s	۱۳۳۴۰
کلاس آب‌گریزی	-	بسیار آب‌گریز
بافت خاک	-	SiCl

[1] Water drop penetration test

www.SID.ir

Archive of SID

پس از همگن‌سازی خاک، بخشی از آن برای انجام آنالیز-های آزمایشگاهی هواخشک گردیده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. بخشی از نمونه‌ی خاک نیز بدون عبور از الک به وزن ۷ کیلوگرم توزین و در گلدان‌ها ریخته شد. در مرحله‌ی بعد خاک-های آلوده با تیمارهای زغال‌زیستی و زئوپلانت مخلوط شدند. تعداد ۱۸ گلدان حاوی تیمار زغال‌زیستی با سطوح ۲، ۴ و ۶ درصد و ۱۸ گلدان شامل تیمار زئوپلانت با سطوح ۲، ۴ و ۶ درصد و ۶ گلدان بدون افزودن تیمار به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. سپس خاک‌های تیمار شده برای مدت زمان ۱۰۰ روز انکوباسیون شدند تا تیمارهای اعمال شده بر روی ویژگی‌های خاک تأثیرگذار باشند. در طول دوره‌ی انکوباسیون، گلدان‌ها در شرایط نور و دمای محیط قرار داشتند. همچنین سطح رطوبتی ۲۱ گلدان در ۲۵ درصد رطوبت FC و ۲۱ گلدان دیگر در سطح رطوبتی ۵۰ درصد FC تنظیم گردید. پس از گذشت ۱۰۰ روز، خاک‌ها جهت انجام آنالیزها به آزمایشگاه منتقل شدند.

رطوبت حد روانی (LL) با استفاده از دستگاه کاساگرانده اندازه‌گیری شد. همچنین رطوبت حد خمیری (PL) با استفاده از روش فتیله تعیین شد و شاخص خمیرایی خاک (Plastic Index, PI) نیز با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه گردید.

$$PI=LL-PL \quad \text{(رابطه ۱)}$$

تردی خاک عبارت از انحراف نسبی مقاومت کششی یک دامنه مشخص از اندازه‌ی خاکدانه‌ها است (۶/۳-۸ میلی‌متر) که با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه گردید (Dexter and Watts, 2000):

$$F1 = \frac{\sigma y}{\bar{y}} \pm \frac{\sigma y}{\bar{y}\sqrt{2n}} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در رابطه‌ی (۲)، F به‌عنوان تردی خاکدانه، σy: انحراف معیار مقاومت کششی، ȳ: میانگین مقادیر مقاومت کششی اندازه‌گیری شده‌ی خاکدانه‌ها و n: تعداد خاکدانه‌های مورد آزمایش است.

در این پژوهش به‌منظور اندازه‌گیری میزان پایداری خاکدانه‌ها از روش الک تر (Wet sieving) استفاده شد. بدین منظور مقدار ۵۰ گرم از خاک هواخشک و بدون اینکه خاک توسط کوبه کوبیده شود؛ از الک با قطر سوراخ ۸ میلی‌متر عبور داده شد. سپس این نمونه‌ی خاک در سری الک‌ها (به ترتیب از بالا به پایین ۲، ۱، ۰/۴۲۵، ۰/۲۵۰ و ۰/۱۵۰ میلیمتر) به‌شکل یکنواخت ریخته شده و درون آب به صورت حرکت بالا و پایین تکان داده شد تا خاکدانه‌ها تحت تأثیر تنش قرار گیرند. ارتفاع آب بر روی الک‌ها طوری تنظیم شد که خاکدانه‌های موجود بر روی الک بالایی در مدت زمان الک کردن و هنگامی که الک‌ها به بالاترین نقطه می‌رسند، اندکی از آب خارج شده و زمانی که به پایین‌ترین نقطه می‌رسند، اندکی توسط آب پوشیده شوند. مدت زمان الک کردن برای تمامی نمونه‌ها ۱۰ دقیقه و دامنه‌ی رفت و برگشت ۱/۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. سپس الک‌ها به آرامی از آب خارج گردیده و خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک شسته شده و در آون در دمای ۱۰۵درجه‌ی سانتی‌گراد خشک شدند. سپس میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD[1]) به‌عنوان شاخص ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها محاسبه گردید.

ویژگی‌های زئوپلانت و بیوچار باگاس نیشکر

همانگونه که ویژگی‌های تیمارهای اصلاح‌کننده در جدول (۲) نشان می‌دهد تیمار بیوچار باگاس نیشکر از pH قلیایی برخوردار است ولیکن زئوپلانت دارای pH اسیدی است که این ویژگی در کنار سایر ویژگی‌های این تیمارها می‌تواند بر روی رفتارهای آنها در خاک تأثیرگذار باشد.

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی زئوپلانت و بیوچار باگاس نیشکر مورد استفاده

پارامتر	واحد	تیمارهای اصلاح کننده	
		زئوپلانت	بیوچار باگاس نیشکر
هدایت الکتریکی (EC)	$dS.m^{-1}$	۲/۰۱	۰/۹۶
پهاش (pH)	--	۶/۸۲	۸/۷۶
سطح ویژه (SSA)	$M^2.g^{-1}$	۱۱۰/۰۰	۷۵/۰۰
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	$Cmole.kg^{-1}$	۱۷۸/۵۰	۶۹/۲۹
نسبت کربن به نیتروژن (C/N)	-	۱۸/۲۵	۶۹/۲۵

همچنین به‌منظور بررسی مورفولوژی سطوح تیمارها، تصاویری سه‌بعدی (3D) با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM[2]) مدل LEO1455VP از بیوچار باگاس نیشکر (شکل ۱) و زئوپلانت (شکل ۲) تهیه و استخراج شد.

اندازه‌گیری نرمال آلکان‌ها توسط دستگاه GC

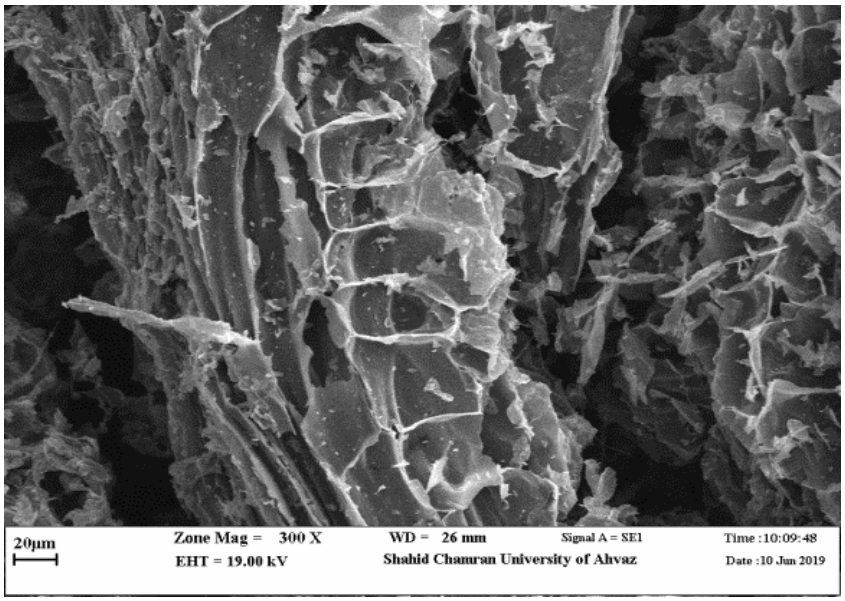
همچنین با توجه به وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی از دستگاه سوکسله، مدل FOSS 2050 جهت عصاره‌گیری هیدروکربن‌های نفتی از خاک استفاده شد. بدین منظور مقدار ۱۰ گرم نمونه در عصاره‌گیر سوکسله با ۲۵۰ میلی-لیتر از مخلوط هگزان و دی‌کلرومتان با نسبت (۱:۱) استخراج شد (EPA, 1084). همچنین برای اندازه‌گیری TPHs از دستگاه GC-Mass مدل Agilent7890B استفاده شد. دستگاه مورد استفاده دارای آشکارساز MSD مدل B5977، گاز حامل هلیوم، سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه و طول ستون ۳۰ متر است. درصد نرمال آلکان‌ها در عصاره‌ی خاک در جدول (۳) ارائه شده است.

1 Mean weight diameter (MWD)

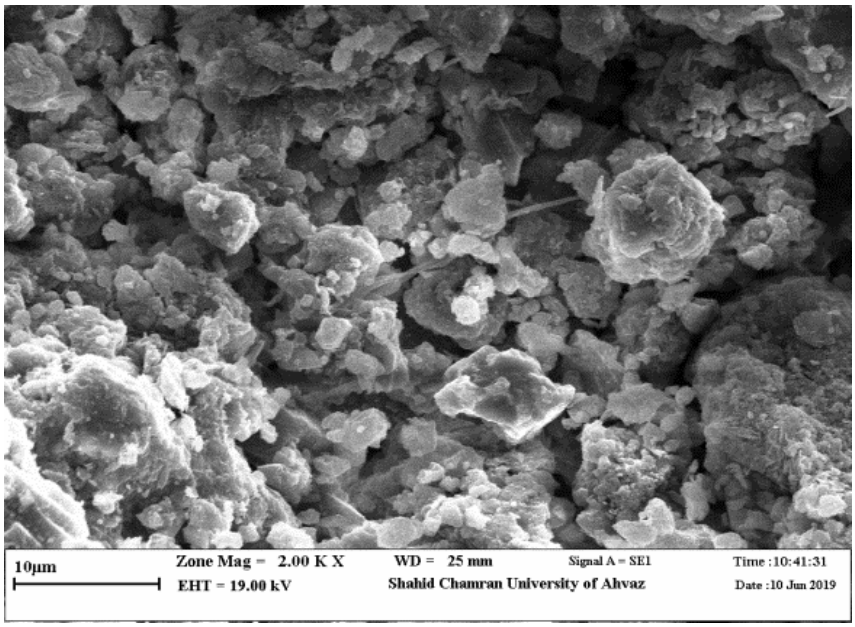
2- Scanning Electron Microscope

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- شمایی از تصویر سه‌بعدی زغال‌زیستی باگاس نیشکر توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)



شکل ۲- شمایی از تصویر سه‌بعدی زئوپلانت توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

جدول ۳- درصد نرمال آلکان‌ها در عصاره‌ی خاک اندازه‌گیری شده توسط GC-Mass مدل Agilent7890B

ردیف	آلکان‌ها (Alkanes)	درصد نفت (Oil%)
۱	C4-C10	۱۹
۲	C11-C12	۱۰
۳	C13-C20	۵۰
۴	C21-C40	۲

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل 3^n در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با استفاده از نرم‌افزار SPSS(۲۳) انجام و مقایسه‌ی میانگین‌ها نیز توسط آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۱درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم-افزار سیگماپلات استفاده گردید.

نتایج و بحث

تأثیر زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر میانگین وزنی قطر خاکدانه (شاخص پایداری خاکدانه)

نتایج نشان داد که هر ۳ عامل نوع اصلاح‌کننده، مقدار کاربرد و مقدار رطوبت دارای اثرات معنی‌داری بر پایداری خاکدانه‌ها در سطح احتمال یک درصد می‌باشند (جدول ۱). همان‌گونه که شکل (۳) نشان می‌دهد زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت

www.SID.ir

Archive of SID

موجب کاهش میزان پایداری خاکدانه‌ها شده‌اند. با افزایش درصد زئوپلانت و زغال‌زیستی افزوده شده به خاک، مقدار پایداری خاکدانه‌ها کاهش یافته است. کمترین پایداری در آزمایش الک تر مربوط به نمونه‌های تیمار شده با زئوپلانت ۶ درصد و بیشترین مقدار پایداری مربوط به نمونه‌ی خاک شاهد است. هر دو تیمار علیرغم افزایش تخلخل، بهبود ساختمان و سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک، سبب کاهش پایداری خاکدانه‌ها شده‌اند که دلیل آن می‌تواند خاصیت آب‌گریزی در خاک‌های آلوده به نفت و عدم اختلاط آب با خاک در نمونه‌ها باشد (Roy and McGill, 1998). در آزمایش الک تر در اثر تماس خاک با آب، خاک فلوکوله شده و به الک‌های پایین‌تر منتقل نمی‌شود و همین امر موجب افزایش مقدار پایداری خاکدانه‌ها می‌شود.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر زغال زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌آلوده به نفت

ضریب تغییرات	میانگین مربعات			
	MWD	PI	PL	LL
نوع تیمار	۰/۰۶**	۰/۰۰۴۳**	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۱۷**
درصد رطوبت	۰/۵۸**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۳**	۰/۰۱۴*
سطح تیمار	۰/۹۱**	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۶*
سطح تیمار×نوع تیمار	۰/۱۴**	۰/۰۱۲**	۰/۰۲۲**	۰/۰۸۱۳**
نوع تیمار×درصد رطوبت	۰/۳۲**	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۰۷**	۰/۰۱۶**
درصد رطوبت ×سطح تیمار	۰/۶۷**	۰/۰۲۸**	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۹*
(سطح تیمار×نوع تیمار×درصد رطوبت)	۰/۴۳**	۰/۵۲**	۰/۰۲۹**	۰/۰۰۰۴**
خطای آزمایش	۰/۱۹	۰/۰۳۱	۰/۰۱۶	۰/۲۰۸
ضریب تغییرات	۱۰/۲۰	۸/۴۱	۳/۳۰	۲/۸۸

ns: عدم معنی‌داری *: معنی‌داری در سطح ۵ درصد **: معنی‌داری در سطح ۱ درصد

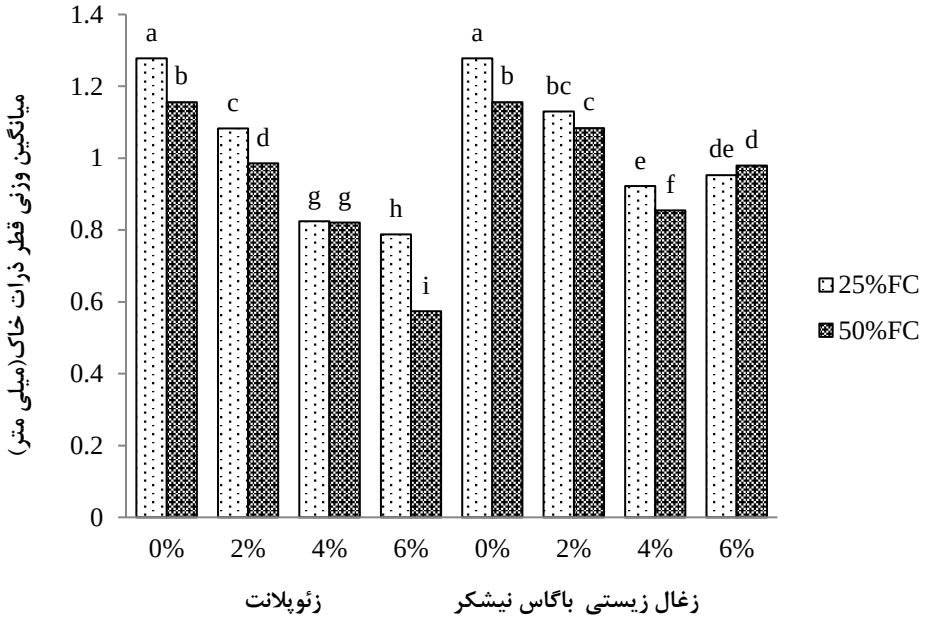
در نمونه‌های تیمار شده با زغال‌زیستی و زئوپلانت به دلیل کاهش آبگریزی خاک و افزایش جذب آب، نمونه‌های تیمار شده به خوبی با آب اختلاط پیدا کرده و از چشمه‌ی الک عبور نموده و به الک‌هایی با چشمه‌های کوچک‌تر منتقل شده‌اند.

میزان پایداری خاکدانه‌ها در رطوبت ۲۵ درصد FC بیشتر از ۵۰ درصد رطوبت FC است. همچنین می‌توان کاهش پایداری خاکدانه‌ای را به دیسپرس شدن ذرات خاک نسبت داد. با افزودن زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت به خاک، سطوح خاک توسط ذرات تیمارها، پوشانده شده و موجب جلوگیری از تماس سطوح ذرات خاک به یکدیگر می‌شود که در نهایت سبب کاهش چسبندگی و کاهش میزان پایداری خاکدانه‌ها می‌گردد. با افزودن زغال‌زیستی به خاک، بخشی از سطوح کانی توسط کربن دارای سطح انرژی پایین پوشیده شده که همین امر موجب پراکندگی ذرات خاک و در نتیجه کاهش میزان پایداری خاک می‌شود. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شاخصی کلیدی برای نشان دادن کیفیت و پایداری خاکدانه‌ها است که می‌تواند بر میزان نفوذ آب و فرسایش‌پذیری خاک تأثیرگذار باشد (Herath *et al.*, 2013; Ouyang *et al.*, 2013). ترکیبات نفتی موجود در خاک به راحتی در آب حل نشده و با ذرات معدنی خاک تشکیل کمپلکس می‌دهند؛ درنتیجه موجب هم‌آوری یا فلوکوله شدن ذرات خاک شده و از پراکندگی ذرات خاک در شرایط مرطوب جلوگیری می‌کند. بنابراین پایداری خاک در شرایط مرطوب حفظ می‌شود. از طرفی وجود ویژگی آب‌گریزی در خاک مشکلات زیادی را به دنبال دارد که از آن جمله می‌توان به کاهش میزان نفوذپذیری، افزایش رواناب و جریان ترجیحی (Preferential flow) و به دنبال آن افزایش فرسایش خاک اشاره نمود (Eibisch *et al.*, 2015). همچنین شایان ذکر است که خاصیت آب‌گریزی، کاهش آب در دسترس گیاه و از بین رفتن پوشش گیاهی و افزایش فرسایش خاک را به دنبال دارد. رابطه‌ی معنی‌داری میان آب‌گریزی و MWD وجود دارد. با افزایش درصد هیدروکربن‌های نفتی و به‌تبع آن افزایش ویژگی آب‌گریزی، میزان پایداری خاکدانه‌ها افزایش یافته و آلودگی بیشتر از ۶/۴ درصد سبب کاهش پایداری خاک شده است که می‌تواند به دلیل افزایش دافعه‌ی آنیونی بین ذرات رس و گروه‌های عاملی هیدروکربن‌ها باشد (Asadi and Heidari, 2016). پژوهش‌ها نشان داده است که در خاک‌های آلوده به مواد نفتی در مقایسه با خاک‌های بدون آلاینده‌های نفتی، میزان نگهداشت آب به طور معنی‌داری کاهش یافته و شرایط نامساعدی را برای استقرار پوشش گیاهی در منطقه‌ی آلوده ایجاد کرده است و لذا زمینه‌ساز وقوع رخدادهای فرسایشی شده است (Kermanpour and Mosaddeghi, 2014). وجود نفت خام در خاک‌ها سبب آب‌گریزی شدید شده و همچنین سبب کاهش میزان پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (Han et al., 2016). در واقع

www.SID.ir

Archive of SID

هیدروکربن‌های نفتی در غلظت‌های بالا علاوه بر تشدید آب‌گریزی، پایداری خاکدانه‌ها را نیز کاهش می‌دهند. در این راستا Shaabanpour and Hashemi (2011) گزارش کردند که افزودن زغال‌زیستی به خاک موجب کاهش وزن ویژه‌ی ظاهری و کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شده است.



شکل ۳- مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

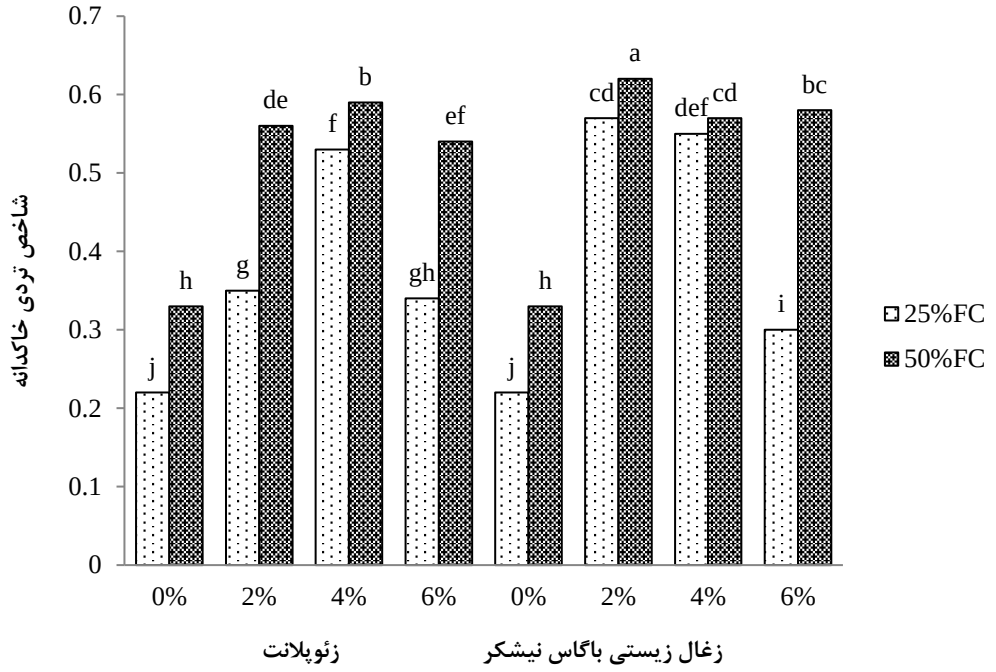
حروف غیرمشابه بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است

تأثیر زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر شاخص تردی خاکدانه‌ها

نتایج نشان می‌دهد که اثر متقابل هر ۳ عامل نوع اصلاح‌کننده، میزان کاربرد و سطوح رطوبتی در سطح احتمال یک درصد بر شاخص تردی خاکدانه‌ها معنی‌دار شده است (جدول ۱). پژوهشگران تمایل یک توده‌ی محصور نشده‌ی خاک به خرد شدن تحت تنش‌های وارده و شکسته شدن آن به قطعات کوچکتر را تحت عنوان شاخص تردی خاک تعریف می‌نمایند (Utomo and Dexter, 1981). نتایج آزمون مقایسه‌ی میانگین‌ها (شکل ۴) نشان می‌دهد که هر دو تیمار زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت سبب افزایش شاخص تردی خاکدانه‌ها شده‌اند. زغال-زیستی در سطح ۲ و ۴ درصد موجب افزایش شاخص تردی خاکدانه و در سطح ۶ درصد روند کاهشی داشته است. در نمونه-های تیمار شده با زئوپلانت در سطح ۲ درصد، پارامتر تردی خاکدانه‌ها افزایش یافته و در سطح ۴ و ۶ درصد این پارامتر یک روند کاهشی را نشان داده است (Lohrasbi et al., 2019). در مجموع، هر دو تیمار سبب افزایش شاخص تردی خاکدانه‌ای شده‌اند. همچنین مقدار شاخص تردی خاکدانه‌ها در سطح رطوبت ۵۰ درصد نسبت به ۲۵ درصد FC بیشتر است. بیشترین مقدار شاخص تردی خاکدانه‌ها مربوط به نمونه‌های تیمار شده با زغال-زیستی ۲ درصد و زئوپلانت ۴ درصد در رطوبت ۵۰ درصد FC است. کاهش شاخص تردی خاکدانه‌ها در نمونه‌های تیمار شده با سطح کاربرد ۶ درصد زئوپلانت و سطح ۴ و ۶ درصد زغال‌زیستی را می‌توان به بالا رفتن مقاومت کششی خاکدانه‌ها در اثر افزایش ماده‌ی آلی خاک، نسبت داد. هر چه ماده‌ی آلی خاک افزایش می‌یابد میزان مقاومت کششی آن نیز افزایش یافته و میزان تردی خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد. دلیل دیگر افزایش شاخص تردی خاک را می‌توان به بالا رفتن سدیم و فرایند تر و خشک شدن متناوب خاک، نسبت داد. البته لازم به ذکر است که شاخص تردی مستقل از مقاومت خاک بوده و شاخص تردی همیشه نشان‌دهنده‌ی میزان مقاومت کششی خاکدانه‌ها نبوده و یک خاک با هر میزان مقاومت می‌تواند مقادیر متفاوتی از تردی را دارا باشد (Watts and Dexter, 2008). شاخص تردی بیانگر تغییرات مقاومت کششی با اندازه‌ی خاکدانه‌ها است. در دامنه‌ای از اندازه خاکدانه‌ها، خاک ممکن است با وجود داشتن تردی زیاد مقاومت بالایی نیز داشته باشد، از این رو تردی لزوماً نشان‌دهنده‌ی سهولت خاک‌ورزی نیست که این موضوع در استراتژی‌های مدیریتی از اهمیت فراوانی برخوردار است (Watts and Dexter, 2008).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر شاخص تردی خاکدانه‌ها (FI)

حروف غیرمشابه بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است

تأثیر زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر حد روانی (LL) و حد خمیری (PL) خاک

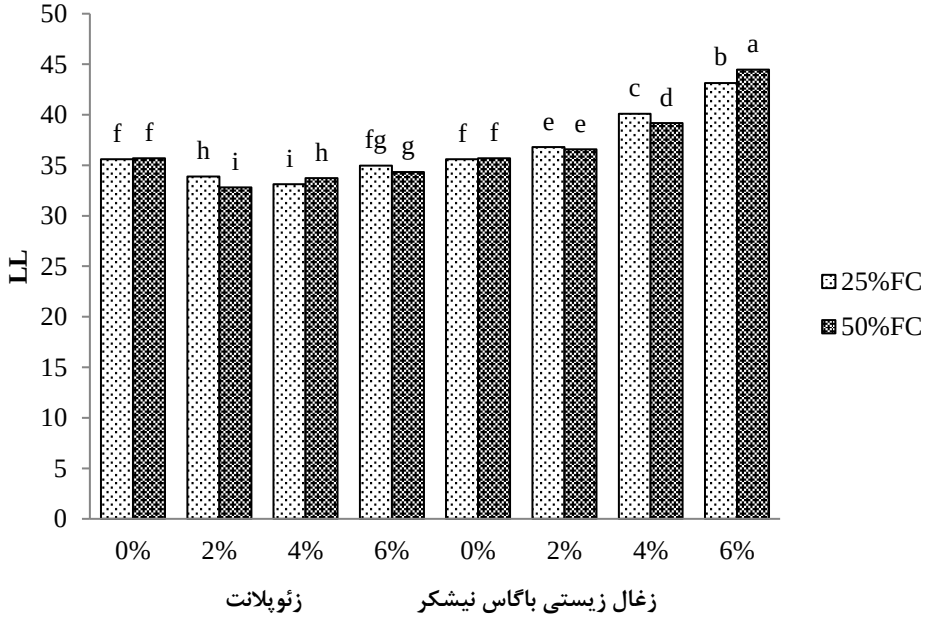
خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی دارای رطوبت حد روانی و رطوبت حد خمیری پایینی هستند و با افزایش میزان آلودگی مقدار رطوبت حد روانی و رطوبت حد خمیری کاهش می‌یابد. با افزایش آلودگی، مواد و ترکیبات نفتی وارد منافذ خاک شده و سطح ذرات خاک را پوشش می‌دهند و مانع نفوذ آب به درون خاک می‌شوند. نفت با ثابت دی‌الکتریک پایین باعث کاهش نیروی دافعه‌ی بین ذرات خاک شده و نتیجه‌ی این کاهش، افزایش خالص نیروی جاذبه‌ی بین ذرات و در نتیجه نزدیک شدن ذرات خاک و هماوری ذرات خاک است (Qin *et al.*, 2013). با افزایش میزان آلودگی، آب اطراف ذرات خاک کمتر از مواد نفتی-ای است که خاک را احاطه کرده است به همین دلیل مانع تأثیر بیشتر بین آب و خاک می‌شود و در نتیجه سبب می‌گردد خاک تمایل کمتری برای جذب آب از خود نشان دهد (Khoshneshin Langrudi and Akbar Abadi, 2010). نفت موجود در خاک زودتر از آب می‌تواند با سطوح خاک ارتباط برقرار کرده و آب موجود روی سطح ذرات را دفع نموده و خودش در فضای بین لایه‌ای ذرات قرار گیرد. با وجود نفت خام در خاک، لغزش ذرات بر روی هم افزایش یافته و ذرات ریز در بین ذرات بزرگتر فرورفته و سبب کاهش منافذ خاک شده و در نتیجه خاک با مقدار آب کمتری به حد روانی و حد خمیری می‌رسد (Rahman *et al.*, 2010). دلیل دیگر هم می‌تواند کم بودن سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های آلوده به نفت باشد که باعث شده این خاک‌ها ظرفیت کمی برای جذب و نگهداری آب در سطح خود نشان دهند در نتیجه میزان LL وPL در این خاک‌ها روند کاهشی دارد.

حدود آتربرگ متأثر از عواملی همچون درصد رطوبت هیگروسکوپی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد ماده‌ی آلی و درصد رس موجود در خاک است. عامل درصد ماده‌ی آلی خاک با توجه به ایجاد پیوندهای لیگاندی با ماتریکس خاک از بیشترین تأثیرگذاری بر روی ویژگی‌های خاک برخوردار است. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن زغال‌زیستی باگاس نیشکر به خاک، سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش یافته است در نتیجه منجر به افزایش حدود آتربرگی LL و PL در خاک شده است. همچنین در این ارتباط Qin *et al.* (2013) بیان کردند که وجود مواد آلی مناسب در خاک منجر به افزایش سطح ویژه‌ی خاک شده و در نتیجه تمایل خاک را برای برقراری پیوند با مولکول‌های آب افزایش می‌دهند. این افزایش در سطح ویژه موجب افزایش پارامترهای حد روانی و حد خمیری خاک می‌شود. مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر حد روانی خاک (LL) نمایش داده شده است (شکل ۵). همان‌گونه که شکل (۵) نشان می‌دهد نمونه‌های تیمار شده با زغال‌زیستی باگاس نیشکر در هر سه سطح کاربرد موجب افزایش LL و PL خاک شده است. در نمونه‌های تیمار شده با زئوپلانت در سطح ۲ و۴ درصد مقدار LL روند کاهشی داشته و در سطح ۶ درصد افزایش یافته است.

www.SID.ir

Archive of SID

بیشترین مقدار رطوبت حد روانی مربوط به زغال‌زیستی ۶ درصد در رطوبت ۵۰ درصد FC و کمترین مقدار آن مربوط به زئوپلانت ۲ درصد در رطوبت ۵۰ درصد FC می‌باشد. تیمارهای زغال‌زیستی و زئوپلانت آب را در مکش‌های بالا در خود ذخیره نموده و با افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک منجر به افزایش رطوبت حد روانی و رطوبت حد خمیری شده‌اند. مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر شاخص PL نمایش داده شده است (شکل ۶). رطوبت حد خمیری به‌عنوان یکی از حساس‌ترین پارامترها برای تخمین بیشترین میزان رطوبت موردنیاز جهت انجام شخم بهینه محسوب می‌شود. همانگونه که شکل (۶) نشان می‌دهد تیمارهای زغال‌زیستی و زئوپلانت در هر سه سطح کاربرد منجر به افزایش میزان PL خاک شده‌اند که با افزایش درصد تیمارها مقدار PL افزایش یافته است. بیشترین مقدار PL مربوط به نمونه-ی تیمار شده با زغال‌زیستی ۶ درصد در سطح رطوبت ۵۰ درصد FC و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه شاهد است. با افزودن ماده‌ی آلی و کانی‌های رسی به خاک و با افزایش سطح ویژه، افزایش ظرفیت نگهداری آب و افزایش CEC خاک، تمایل خاک برای جذب آب بالاتر رفته و موجب افزایش میزان PL وLL شده است. مواد آلی مانند پلی بین ذرات خاک و آب عمل کرده و توانایی خاک در جذب آب را بالا برده و در نتیجه خاک برای رسیدن به حدود رطوبتی روانی و خمیری، مقدار آب بیشتری به خود جذب می‌کند. پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد زغال-زیستی به میزان ۲، ۴ و ۶ درصد موجب افزایش معنی‌دار رطوبت حد خمیری نسبت به تیمار شاهد شده است (Zong et al., 2014). کو و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده کردند که با کاربرد ۲۰ و ۳۰ درصد زغال‌زیستی سبوس برنج در یک خاک با بافت لوم سیلتی و لوم رسی در مقیاس گلخانه‌ای میزان حد روانی و حد خمیری افزایش یافته است. آنها این افزایش را ناشی از افزایش سطح ویژه‌ی خاک در اثر کاربرد زغال‌زیستی سبوس برنج عنوان کردند.



شکل ۵- مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر رطوبت حد روانی خاک (LL)

حروف غیرمشابه بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است

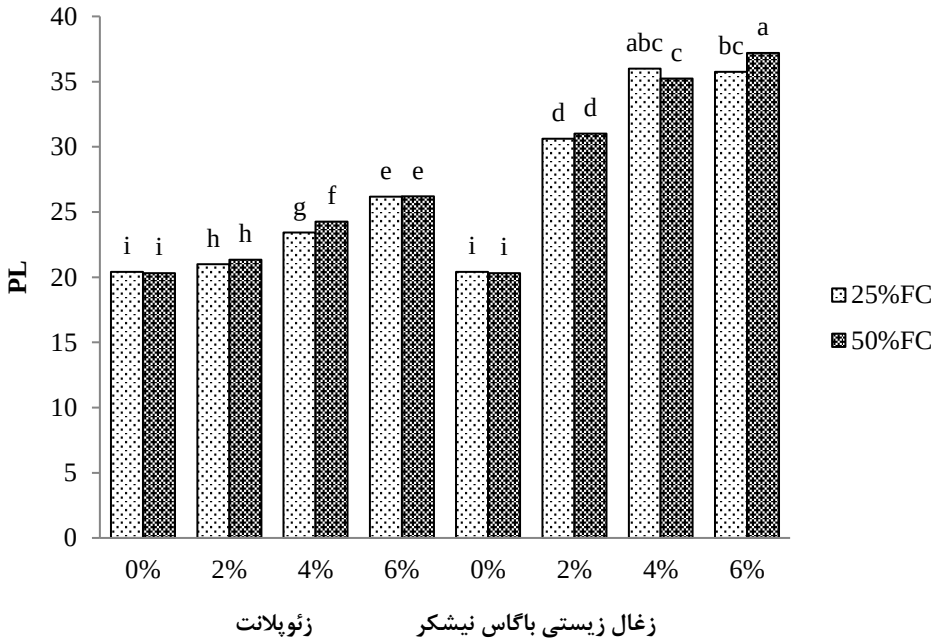
تأثیر زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر شاخص خمیرایی (PI)

در خاک‌های دارای ترکیبات و هیدروکربن‌های نفتی حدفاصل بین حد خمیرایی و حد روانی بیشتر است در نتیجه مدت زمان بیشتری لازم است تا خاک از حالت خمیری به رطوبت حدروانی برسد. مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت بر روی شاخص خمیرایی خاک (PI) نشان داده شده است (شکل ۷). با افزودن زغال‌زیستی باگاس نیشکر و زئوپلانت به خاک، مقدار PI روند کاهشی داشته است. در نمونه-های تیمار شده با اصلاح‌کننده‌ی زئوپلانت در هر سه سطح کاربرد، با افزایش درصد تیمار، مقدار PI کاهش یافته است و در نمونه‌های تیمار شده با زغال‌زیستی باگاس نیشکر در سطح ۲ و ۴ درصد روند کاهشی و در سطح ۶ درصد روند افزایشی داشته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که کمترین مقدار PI مربوط به زغال‌زیستی ۴ درصد در سطح رطوبت ۵۰ درصد FC و بیشترین مقدار آن مربوط به نمونه‌ی شاهد است. با افزایش درصد ماده‌ی آلی تا ۴ درصد PI روند کاهشی دارد که این کاهش در PI موجب

www.SID.ir

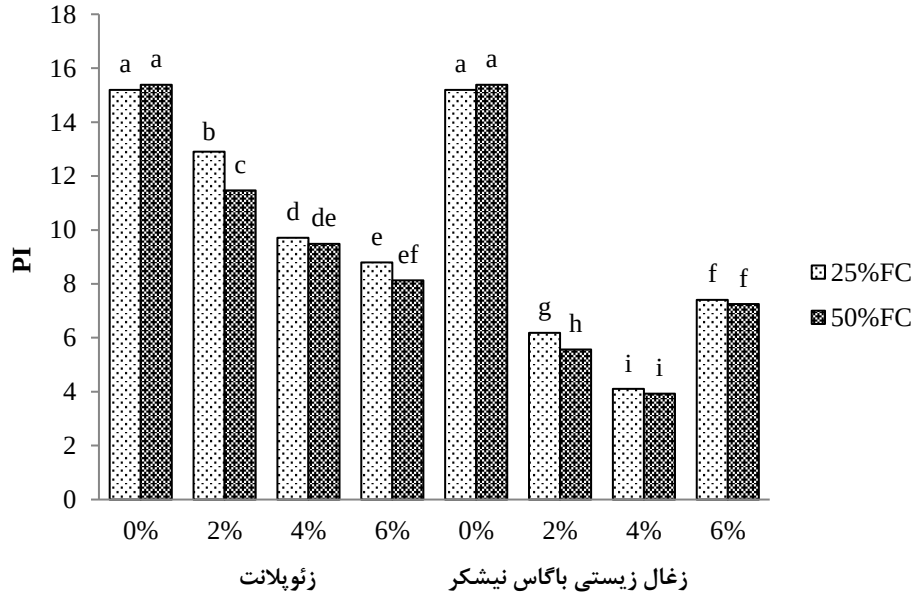
Archive of SID

افزایش نفوذپذیری در خاک و کاهش هدررفت خاک می‌شود (Qin et al., 2013). در سطح ۶ درصد زغال‌زیستی مقدار PI افزایش یافته است که دلیل آن می‌تواند کاهش مقاومت خاک در این سطح باشد. در نمونه‌ی تیمار شده با زئوپلانت در هر سه سطح، در مقدار شاخص PI کاهش رخداده است که این امر توانایی بالای زئوپلانت را در افزایش میزان مقاومت خاک و افزایش جذب آب و نفوذپذیری نشان می‌دهد. در خاک‌هایی که شاخص خمیرایی بالایی دارند نفوذ کاهش می‌یابد و هدر رفت خاک در آنها بیشتر است. وجود مواد و ترکیبات نفتی در خاک منجر به افزایش شاخص خمیرایی (PI) می‌شود (Estabragh *et al.*, 2016) که مقدار این افزایش تابعی از میزان آلودگی است.



شکل ۶- مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر رطوبت حد خمیری خاک (PL)

حروف غیرمشابه بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.



شکل ۷- مقایسه‌ی میانگین تأثیر سطوح مختلف تیمارها بر شاخص خمیرایی خاک (PI)

حروف غیرمشابه بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی متأثر از تیمار آلی زغال‌زیستی باگاس نیشکر و تیمار آلی-معدنی زئوپلانت و همچنین دو سطح رطوبتی

www.SID.ir

Archive of SID

۲۵ و ۵۰ درصد FC بررسی شد. نتایج نشان داد که هر دو تیمار زغال‌زیستی و زئوپلانت در سطوح ۲ و ۴ درصد، منجر به افزایش شاخص تردی خاکدانه‌ها (FI) شده و درسطح ۶ درصد شاخص تردی خاکدانه‌ها را کاهش داده‌اند ضمن اینکه در سطح رطوبتی ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی مقدار FI خاک بالاتر از ۲۵ درصد FC است. زغال‌زیستی و زئوپلانت در هر سه سطح کاربرد و ۲ سطح رطوبتی موجب کاهش میزان مقاومت فروروی در خاک‌های تیمار شده گردیدند ولیکن مقاومت فروروی در ۵۰ درصد FC بیشتر از ۲۵ درصد FC شد. کاهش در مقاومت فروروی یک خاک به‌عنوان شاخصی از بهبود ویژگی‌های ساختمانی و مقاومتی یک خاک محسوب می‌شود که می‌تواند گامی در راستای افزایش نگهداشت آب‌های سطحی در یک منطقه محسوب شود و درنتیجه برآیند نهایی این رخداد، کاهش پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک‌های یک منطقه باشد. در این پژوهش نیز سایت‌های آلوده به مواد نفتی (هیدروکربن‌های نفتی) در معرض رواناب‌های سطحی به‌عنوان یکی از بارزترین اشکال تخریب ساختمان خاک هستند که افزودن تیمارهای ارزیابی شده در این پژوهش می‌تواند در بهبود وضعیت حاکم بر آنها مؤثر باشد. در مجموع، با توجه به اهمیت مواد نفتی و ضرورت استخراج و بهره‌برداری از آنها درنتیجه همواره در سایت‌های استخراج و بهره‌برداری با این چالش مواجه هستیم که باید آن را مدیریت نماییم. بهترین راهکار مدیریتی (Best management practice) در این ارتباط استفاده از تیمارهایی آلی و یا آلی-معدنی است که نه تنها آسیبی به خاک منطقه وارد نمی‌کنند؛ بلکه با توجه به دارای بودن بخش آلی می‌توانند در بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک (اعم از بافت، ساختمان و نفوذپذیری خاک) تأثیرگذار باشند و خاک را در برابر عوامل تخریبی حفظ نمایند. همچنین شایان‌ذکر است که تولید و افزودن زغال‌زیستی (بیوچار) به خاک به‌عنوان یک استراتژی مدیریتی در راستای اهداف مدیریت پایدار است زیرا هم مدیریت ضایعات محسوب می‌شود و هم این‌که ماده‌ای آلی با محتوای بالای کربن آلی محصول فرایند گرماگافت است که هم تولید ماده و هم تولید انرژی‌های زیستی پاک را به دنبال دارد که از هر لحاظ یک استراتژی مدیریتی پایدار-محور محسوب می‌شود. بر همین اساس استفاده از تیماری همچون زغال‌زیستی با توجه به فراوانی ضایعات آلی موجود در محیط پیرامونی ما می‌تواند گامی مؤثر در راستای استفاده‌ی بهینه از ضایعات آلی و نیز حفظ خاک در برابر عوامل تخریب‌کننده باشد. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ارتباط تنگاتنگی بین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکومکانیکی یک خاک برقرار است به گونه‌ای که با افزودن تیمارهای آلی مناسب به یک خاک می‌توان انتظار تغییرات در رفتارهای مکانیکی و ساختمانی آن را داشت. همواره در اصول مدیریت پایدار یک خاک، توجه ویژه‌ای به ویژگی‌های ساختمانی خاک می‌شود و ضرورت دارد گام‌های مؤثری در جهت بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک برداشته شود بالاخص در مناطقی که به دلیل وجود آلاینده‌های نفتی، خطر از هم پاشیدگی ساختمان خاک وجود دارد.

"هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

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.

Adams. F.V., Niyomugabo . A., Silvester.O.P. (2017). Bioremediation of crude oil contaminated soils using agricuitural waste. International conference on sustainable processing and manufacturing, SMPM 2017, 23-25 January, Kruger National Park.

Asadi, P., Heidari, A. 2016. Impact of Waste Materials Resulting from the Refining of Crude Oil on Some Soil Physico-Chemical Properties. *Journal of Water and Soil*. 30(3): 868-879.

Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., Hipps, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant and Soil*, (337), 1-18.

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. *Environmental pollution*, (193), 79-87.

Dexter, A. R., Richard, G., Arrouays, D., Czyz, E.A., Jolivet, C., and Duval, O. (2008). Complexed organic matter control soil physical properties. *Geoderma*, (144), 620-627.

Dexter, A. R., and Watts, C.W. (2000). Tensile strength and friability. In: Soil and Environmental Analysis: Physical Methods, 2nd ed. K. A. Smith, and C. E. Mullins (eds.). Marcel Dekker, New York, NY, (pp. 405-433).

Eibisch, N., Durner, W., Bechtold, M., Fu, B, R., Mikutta, R., Woche, S.K, Mandhelfrich, M. (2015). Does water repellency of pyrochars counter their positive effects on soil hydraulic properties? *Geoderma*, (245), 31-39.

Estabragh, A. R., Beytolahpour, I., Moradi, M., Javadi, A. A. (2016). "Mechanical behavior of a clay soil contaminated with glycerol and ethanol", *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20 (5), 503-519.

www.SID.ir

Archive of SID

Gang, Q., Dan, G., and Mei-Ying, F. (2013). Bioremediation of petroleum-contaminated soil by biostimulation amended. *Journal of Environmental Technology*, (85), 150-155.

Gholami, M. (2010). Superabsorbent a way to extend the green areas and water deficiency. *Issues of Rah Shahr Company*. No. 110.

Hallet, P.D., White, N., and Ritz, K. (2006). Impact of basidiomycete fungi on the wettability of soil contaminated with a hydrophobic polycyclic aromatic hydrocarbon. *Biologia*, (61), 334-338.

Han, T., Zhao, Z., Bartlam, M. (2016). Combination of biochar amendment and phytoremediation for hydrocarbon removal in petroleum-contaminated soil. *Environ Sci Pollut Res* 23, 21219–21228 (2016). https://doi.org/10.1007/s11356-016-7236-6.

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.

Kermanpour, M., Mosaddeghi, M.R. (2014). Assessment of oil pollution on soil stability, permeability and pollution management in Bakhtiardasht Isfahan. *Soil management Journal*. 3(1), 43-51.

Khademalrasoul A., Naveed, M., Heckrath, G., Kumari, K.G.I.D., de Jonge, L.W., Elsgaard, L., Vogel, H.J., and Iversen, B.V. (2014). Biochar effects on soil aggregate properties under no-till maize. *Soil Science*. (179), 273‑283.

Khademalrasoul, Kuhn, J.N., Elsgaard, L., Hu, Y., Iversen, B.V., Heckrath, G. (2019). A. Short-term Effects of Biochar Application on Soil Loss During a Rainfall-Runoff Simulation. *Soil Science*. (184), 17-24.

Khatibi, M., Estabragh, A., Abbasi, N. (2015). Experimental assessment of Soil-cement mechanical behavior incorporated with organic pollution. Journal of soil and water research, 46 (1), 141-149.

Khoshneshin Langrudi, M., Akbar Abadi, M. (2010). Study the effect of oil pollution mechanical parameters of clayey soil. The 5th congress of Civil Engineering. Ferdowsi Mashhad University.

Lehmann J., Liang B., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O. Neill, B., Skjemsted, J. O., Thies, J., Luzao, F.J., Petersen, J., Neves, E.G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of America Journal, (70), 1719-1730.

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): 723-737.

Minueei, S., Tehrani, D., Hamidi, M. (2013). Study of soil polluted with oil on activity of Alkane Phosphatase Enzyme in Lentil. Journal of Cellular and Molecular researches. Iranian Journal of Biology. 2:3.

Mohammadi, N., Khademalrasoul, A. (2020). Investigation of Biochar and Zeoplant Application on Mechanical Properties of Soils Contaminated with Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs) in Oil Fields of Ahvaz. Soil Researches (Water and Soil Sciences). 34 (3) 411-423.

Ouyang, L., Wang, F., Tang.,Yu, L., Zhang, R. (2013). Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. Journal of Soil Science Plant Nutrient. 13(4), 991-1002.Tushar, C.S., Incerti, G., Spaccini, R., Piccolo, A., Mazzoleni, S., Bonanomi, G., (2018).Linking organic matter chemistry with soil aggregate stability: Insight from 13C NMR spectroscopy. Soil Biology and Biochemistry. 117: 175-184.

Qin G, Gong D, Fan MY (2013) Bioremediation of petroleum-contaminated soil by biostimulation amended with biochar. Int Biodeterior Biodegrad 85:150–155.

Rahman, Z., Hamzah, U., and Taha, M. (2010). Influence of Oil Contamination on Geotechnical Properties of Basaltic Residual Soil. American Journal of Applied Science, 7 (7), 954-961.

Roy, J.L., McGill, W.B. (1998). Characterization of disaggregated nonwettable surface soils found a told crude oil spill sites. Canadian Journal of Soil Science, (78), 331-344.

Shaabanpour, M., Hashemi, K. (2011). Effect of type and amount of compost on soil physical properties. Journal of soil researches (Water and soil sciences). 25, 2.

Utomo, W.H. and Dexter, A.R. (1982). Changes in soil aggregate water stability induced by wetting drying cycles in non-saturated soil. Journal of Soil Science, (33), 623–637.

Utomo, W.H. and Dexter, A.R. (1981). Age hardening of agricultural top soils. Journal of Soil Science, (32), 335–350.

Watts, C.W., Dexter, A.R. (2008). Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. European Journal of Soil Science. 49(1)73-84.

Zohrabi, F., Abbasipour, A. (2017). Amendment of oily soil with biochar and two type of native plant in Gachsaran. MSc thesis. Shahrood Industrial University, Faculty of Agriculture.

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.

www.SID.ir