

اثر مواد نفتی بر میزان رس قابل پراکنش خود به خودی و مکانیکی در خاک‌های با بافت مختلف

راضیه دریایی، سید علی اکبر موسوی¹، رضا قاسمی و مسعود ریاضی

دانش آموخته کارشناسی ارشد، بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ raziyeh.daryae@shirazu.ac.ir؛

استاد بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ aamousavi@gmail.com؛

استاد بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ ghasemif@gmail.com؛

دانشیار بخش مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ mrriazi180@gmail.com؛

ص: 209 - 224

دریافت: 1401/2/7 و پذیرش: 1401/6/6

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد سطوح صفر، 1/5%، 3% و 4/5% نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر رس قابل پراکنش خود به خودی و مکانیکی در سه خاک با بافت‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی انجام شد. نتایج نشان داد که درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به طور معنی‌داری به ترتیب در حدود 34% و 44% و رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به طور معنی‌داری و در حدود 200% بیشتر بود. نتایج در انتهای آزمایش نشان داد به طور کلی میانگین درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک شن لومی نسبت به خاک‌های لوم رسی و لوم شنی به طور معنی‌داری به ترتیب در حدود 21% و 57% بیشتر بود، در حالی که رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک شن لومی به طور معنی‌داری حدود 31% کمتر از خاک لوم رسی و حدود 32% بیشتر از خاک لوم شنی بود. به طور کلی افزایش سطوح مواد نفتی سبب افزایش درصد رس قابل پراکنش خود به خودی و مکانیکی در سطوح اولیه و کاهش آن‌ها در سطوح بالاتر شد. نتایج نشان داد سطوح مختلف مواد نفتی اثرات معنی‌داری بر رس قابل پراکنش داشتند. بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند اطلاعات لازم در خصوص اثر مواد نفتی بر میزان رس قابل پراکنش خاک (به عنوان یکی از معیارهای استحکام و انسجام خاک و سایر ویژگی‌های مرتبط با آن) را فراهم کرده و در تصمیم‌گیری‌های لازم برای مدیریت و اصلاح خاک‌ها آلوده به نفت و همچنین استفاده از ترکیبات نفتی برای حفاظت از خاک در برابر فرسایش مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شن لومی، گازوئیل، لوم رسی، لوم شنی، نفت خام، نفت سفید

¹ نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، باجگاه، دانشکده کشاورزی - دانشگاه شیراز، بخش علوم و مهندسی خاک

مقدمه

خام، گازوئیل یکی از پرمصرف‌ترین و کاربردی‌ترین محصولات نفتی در دنیا و به خصوص در ایران می‌باشد (فرزادکیا و همکاران، 1398). گازوئیل یک ترکیب نفتی با جرم متوسط، نقطه جوش بین 175 تا 355 درجه سانتی‌گراد و دارای بیش از 200 ترکیب هیدروکربنی نفتی با محدوده جرمی آلکان‌های $C_{10} - C_{28}$ است و معمولاً شامل 30 درصد آلکان، 45 درصد سیکلو آلکان و 24 درصد ترکیبات آروماتیک می‌باشد (فرزادکیا و همکاران، 1398). همچنین سامانه اطلاع‌رسانی واکنش اضطراری گارد ساحلی ایالات متحده، نفت سفید را به دلیل داشتن ترکیبات سمی فراوانی از قبیل هیدروکربن‌های پلی آروماتیک، بنزن، تولوئن و زایلن در رده مواد آلوده‌کننده محیط زیست بر شمرده است (مجرد و همکاران، 1396). از طرفی نفت سفید عمدتاً دارای 9 تا 16 اتم کربن و بیش از 80 درصد مواد و ترکیبات آلکانی می‌باشد (نوری و همکاران، 1391) و به دلیل داشتن ترکیباتی از قبیل آلکان‌ها، آلکان‌های حلقوی، آلفین‌ها با طول تقریبی زنجیره‌ی 9 تا 20 کربن (مجرد و همکاران، 1396) می‌تواند به عنوان یک ترکیب نفتی عمومی تلقی شود، به علاوه این ماده هیدروکربنی اغلب به عنوان حلال، سوخت هیدروکربنی و ماده گرمابخش در کارخانه‌ها و خانه‌های روستایی به کار می‌رود (نوری و همکاران، 1391).

در نتیجه با توجه به اینکه ایران یکی از کشورهای نفت‌خیز است بنابراین آلوده شدن خاک با آلاینده‌های نفتی به ویژه موارد پرکاربرد و متداول آن که پیش‌تر ذکر شد، در ایران امری نسبتاً شایع می‌باشد و شناسایی و بررسی رفتار خاک در مواجهه با این مشکل و مدیریت آن امری ضروریست (کامل و همکاران، 1397). رس قابل پراکنش از جمله شاخص‌های ارزیابی پایداری ساختمان خاک می‌باشد و کاهش آن به مفهوم افزایش پایداری، انسجام و استحکام بیشتر ساختمان خاک می‌باشد (بسالت‌پور و همکاران، 2013؛ حسینی و همکاران، 2015). نوع و میزان ماده آلی یکی از مهم‌ترین عوامل

امروزه نفت خام و مشتقات هیدروکربنی آن عمده‌ترین و مهم‌ترین منبع انرژی برای صنایع و زندگی روزانه هستند (داس و چاندران، 2011). نشت و ریزش هیدروکربن‌ها از بزرگترین نگرانی‌ها در کشورهای تولیدکننده نفت خام می‌باشد. استخراج، تصفیه و فرآوری، انتقال و به کارگیری نفت احتمال خطر آلودگی محیط را با نشت تصادفی به خصوص در کشورهای تولیدکننده نفت افزایش می‌دهد (تاهان و همکاران، 2011). تخریب مکرر لوله‌های نفتی توسط افراد اخلاص‌گر یا اتفاقات غیرقابل پیش‌بینی نیز سبب می‌شود که آلودگی‌های نفتی در هوا، آب و خاک پراکنده شوند. همچنین، نشت قابل توجه نفت خام و مشتقات آن می‌تواند به آتش سوزی‌های مهیب منتهی شود (بنیاهیا و همکاران، 2005). رهاسازی نفت خام و مشتقات آن در مخازن بزرگ سبب می‌شود که مساحت بزرگی از زمین و خاک منطقه آلوده شده و در اعماق خاک نیز نفوذ کنند. همچنین، نشت مواد نفتی از مخازن فرسوده ذخیره‌سازی در پالایشگاه‌های نفتی و نیز به دلیل فرایندهای تخلیه و بارگیری، موجب آلودگی در سطح گسترده‌ای از خاک‌های اطراف می‌شود (روشن قیاس و همکاران، 1398). نشت نفت خام در محیط به لحاظ زیست محیطی قابل چشم‌پوشی نیست و نمی‌توان آن را نادیده گرفت. علاوه بر این، نشت و افزوده شدن نفت خام و مشتقات آن به خاک، یکی از عواملی است که سبب تغییر ویژگی‌های مهندسی و رفتار خاک‌ها می‌شود (اکینومی و همکاران، 2014).

متداول‌ترین آلاینده‌های نفتی در خاک شامل نفت خام، نفت سفید، گازوئیل، حلال‌های کلر دار، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه (PAHs)، ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن (BTEX) و غیره می‌باشند (مومنی و همکاران، 1396؛ چاتوپادپای و همکاران، 2019). ایران با تولید 1/82 میلیون بشکه در روز (در مدت زمان 5 سال) به عنوان یکی از تولیدکننده‌های مهم نفت خام شناخته می‌شود (هافید، 2016). علاوه بر نفت

معدنی، آلی و یا هر دو باشند. مواد آلی هیومیکی حلقوی همراه با ترکیبات بی‌شکل آهن و آلومینیم و یا کاتیون‌های فلزی چند ظرفیتی از عوامل پایداری خاکدانه‌های کوچک خاک می‌باشند. پایداری خاکدانه‌ها در بسیاری از خاک‌ها بستگی به ویژگی‌های ماده آلی، رس و اکسیدها دارد، ولی همه ترکیبات آلی اثر یکسانی بر پایداری خاک ندارند. به عبارتی تقویت پوشش سطحی خاک با کاربرد تثبیت‌کننده‌های خاک نظیر مالچ‌های نفتی، مواد پلیمری و غیره می‌تواند سبب افزایش پایداری، کاهش رس قابل پراکنش و حفاظت خاک در برابر فرسایش‌های آبی و بادی شود. از سوی دیگر با بررسی و مطالعه منابع گذشته، مشاهده می‌شود افزودن آلاینده‌های آلی، بسته به نوع آنها اثرات متفاوتی بر پایداری خاکدانه‌ها خواهند داشت. آب‌گریزی یک ویژگی کلیدی در پایداری خاک است و در پی افزایش شدت آب‌گریزی، پایداری ساختمان خاک نیز افزایش می‌یابد، زیرا لایه آب‌گریز مانند یک پوشش بر روی خاکدانه‌ها از متلاشی شدن ذرات خاک در برابر نیروی آب و باد محافظت می‌کند و در نتیجه می‌تواند تا حدودی فرسایش را از طریق کاهش فرسایش‌پذیری خاک، کنترل کند. از نظر نوع ماده آلی مؤثر در پایداری خاکدانه‌ها نیز نشان داده شده وجود اسیدهای آروماتیک موجود در ترکیبات نفتی در خاک سبب هم‌آور شدن ذرات خاک و در نتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (کرمانپور و همکاران، 1394). در سایر پژوهش‌ها بیان شده که ترکیبات آب‌گریز در دراز مدت سبب ایجاد کمپلکس‌های رس-هیومین و در نتیجه افزایش پایداری خاک شده است (بیکولو و امباگو، 1999). همچنین در این مطالعات گزارش شد که حضور و افزایش آلاینده‌های آلی-آروماتیکی در خاک سبب پایداری خاکدانه‌ها و به دنبال آن کاهش میزان رس قابل پراکنش می‌شود (دکستر و همکاران، 2008). کرمانپور و همکاران (1394) در بررسی‌های خود گزارش کردند که با افزایش آلودگی نفتی تا 6 درصد مقدار رس قابل پراکنش مکانیکی کاهش یافت. آنان همچنین بیان کردند که با افزایش غلظت

مؤثر بر پراکنش ذرات رس می‌باشد. تأثیر ماده آلی بر پراکنش رس‌ها بستگی به عواملی از جمله درجه سدیمی بودن¹، طبیعت ماده آلی، درجه تخریب مکانیکی و مهمترین ویژگی‌های خاک مانند مقدار رس، اندازه رس، نوع رس و خصوصیات بار سطحی آن، کاتیون‌های تبادلی، غلظت الکترولیت و پ‌هاش خاک، وجود عوامل پراکنده کننده مانند آنیون‌های آلی و همچنین عوامل متصل کننده ذرات یا تشکیل دهنده خاکدانه مانند مواد آلی، کربنات‌های کلسیم و منیزیم و اکسیدها و هیدروکسیدهای سیلیسیم، آلومینیوم و آهن و برهمکنش این عوامل با هم دارد. مواد آلی ممکن است سبب پراکنش و یا مانع پراکنش رس‌ها شود به طوری که آنیون‌های آلی با افزایش بار منفی سطح ذرات رس و همچنین با کمپلکس کردن کاتیون کلسیم و دیگر کاتیون‌های چند ظرفیتی مانند آلومینیوم و در نتیجه کاهش فعالیت آن‌ها در محلول خاک سبب پراکنش رس‌ها می‌شوند (تقدیسی حیدریان و همکاران، 1397؛ نلسون و همکاران، 1999).

از طرف دیگر پلی‌آنیون‌های بزرگ می‌توانند با اتصال به محل‌های دارای بار مثبت، ذرات رس را به یکدیگر متصل کرده و خاکدانه‌های کوچک و پایدار را به وجود آورند و اثر تخریبی سدیم تبادلی بر ساختمان خاک را کاهش دهند (گرینلند، 1965) در صورتی که سدیم ماده آلی و یا ژئولیت زیاد میزان رس قابل پراکنش را افزایش و متقابلاً پایداری خاکدانه‌ها را کاهش می‌دهد. زمانی که میزان سدیم در مقایسه با یون‌های مثبت دو ظرفیتی زیاد باشد، ذرات رس خاک دچار تورم و پراکنش شده و خاکدانه‌ها شروع به فروپاشی می‌نمایند و هدایت هیدرولیکی خاک نیز کاهش می‌یابد. این حالت به ویژه در شرایطی که غلظت نمک کم و میزان پ‌هاش زیاد باشد بیشتر روی می‌دهد (پاسکال و باربیر، 1995). در حالی که همآوری و پراکنش رس‌ها عمدتاً پدیده‌ای الکتروستاتیک به نظر می‌رسند، پایداری خاکدانه‌های بزرگتر مستلزم وجود عوامل پیوند دهنده است که این عوامل می‌توانند

¹ Sodicity

پور، 1398 و ...)، انجام آزمایش و همچنین با لحاظ جلوگیری از روانی بیش از حد نمونه‌های خاک انتخاب شدند. خاک با بافت لوم رسی به صورت طبیعی از خاک سری دانشکده واقع در منطقه باجگاه و دو بافت دیگر به صورت مصنوعی و دست ساز تهیه شد. به این ترتیب که برای تهیه 3 کیلوگرم از نمونه‌های خاک مورد نظر، به مقدار لازم از دو نوع بافت خاک رس لومی و شنی به عنوان بافت پایه که به ترتیب از سری کوی اساتید دانشکده کشاورزی شیراز و منطقه سیوند استان فارس تهیه شده بودند استفاده شد. در نمونه‌هایی از خاک‌های مورد مطالعه، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه با استفاده از روش‌های استاندارد معمول به شرح زیر اندازه‌گیری شد (جدول 1): پ‌هاش خمیر اشباع با استفاده از پ‌هاش‌متر، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج الکتریکی، درصد ماده آلی خاک به روش تر سوزانی (والکی و بلک، 1934) و درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (لوپرت و سوارز، 1996) و بافت خاک‌های تهیه شده نیز با روش هیدرومتر (جی و اور، 2002) اندازه‌گیری شد.

برای آشنایی بیشتر با ترکیب شیمیایی و ساختار آلاینده‌های نفتی مورد مطالعه نیز آزمایش‌هایی در آزمایشگاه مرکزی دانشکده نفت دانشگاه شیراز انجام و نتایج گزارش شد (جدول 2). مهمترین ویژگی مورد آزمایش مواد نفتی در جدول 2 ویسکوزیته (گرانروی یا لزوجت) سیالات مورد مطالعه است. به طور کلی ویسکوزیته از مهمترین ویژگی‌های یک سیال و برابر با مقاومت یک سیال در برابر جریان و برش است. این مقاومت با دو روش مختلف اندازه‌گیری می‌شود. سیالات مختلف دارای یک اصطکاک داخلی هستند که برای جاری شدن باید توسط یک نیروی خارجی بر آن غلبه کرد. این اصطکاک داخلی که با نیروی خارجی مورد نیاز برای به جریان انداختن سیال اندازه‌گیری می‌شود توسط پواز و تحت عنوان ویسکوزیته دینامیکی یا مطلق معرفی شده و با واحد سانتی‌پواز بیان می‌شود. در مقابل

هیدروکربن‌های نفتی، پایداری ساختمان خاک افزایش یافت. مالکی شهرکی نیز (1395) گزارش کرد که با افزایش سطح نفت خام، رس قابل پراکنش مکانیکی به طور معنی‌دار کاهش یافت که دلیل آن را به تشکیل خاکدانه‌های بزرگ توسط ترکیبات آلکانی با زنجیره‌های بلند مواد هیدروکربنی و افزایش پایداری ساختمان خاک حاصل از آن نسبت داد.

با توجه به اینکه ایران کشوری نفت‌خیز است و آلودگی‌های نفتی خاک امری شایع است. بنابراین شناسایی رفتار خاک در مواجهه با این مشکل به منظور دستیابی به روش مدیریتی مناسب، ضروری می‌باشد. از طرفی تاکنون اثر ترکیبات نفتی مختلف بر رس قابل پراکنش به عنوان یکی از معیارهای پایداری در خاک‌های با بافت‌های مختلف کمتر بررسی شده است، بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف نفت خام، نفت سفید و گازوئیل به عنوان سه ماده نفتی پر مصرف بر رس قابل پراکنش خود به خودی و مکانیکی در سه خاک آهکی با بافت مختلف (کلاس‌های لوم رسی، لوم شنی و شن لومی) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال 1398 و در بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه (طول جغرافیایی 29 درجه و 50 دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی 54 درجه و 46 دقیقه شرقی و ارتفاع 1810 متر از سطح دریا) انجام شد. پژوهش در قالب آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح صفر، 1/5، 3 و 4/5 درصد وزنی از سه نوع آلاینده آلی نفت خام، نفت سفید و گازوئیل و سه نوع کلاس بافت خاک مختلف شامل کلاس‌های بافت لوم رسی، شن لومی و لوم شنی بودند. لازم به ذکر است سطوح انتخابی آلاینده‌های نفتی با بررسی مقالات متعدد (مالکی شهرکی، 1395؛ صبور و همکاران، 1396؛ خبازی و حسنلوراد، 1397؛ کامل و همکاران، 1397؛ روشن قیاس و باقری

قرائت و با رسم منحنی واسنجی، مقدار رس پراکنده- شده خود به خودی بر حسب گرم در صد گرم خاک تعیین شد (رنگاسمی، 1984).

رس قابل پراکنش مکانیکی

برای انجام این آزمایش از روش کدورت‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر مطابق دستورالعمل پیشنهادی پوجاسوک و کای (1990) که بر مبنای اندازه‌گیری همزمان پایداری خاکدانه‌های تر و رس پراکنده شده است، استفاده شد. بدین صورت که 20 گرم از خاکدانه-های 2 تا 4 میلی‌متری وزن شده و به مدت 24 ساعت در دمای 105 درجه سانتی‌گراد در آون خشک و به لوله‌های پلاستیکی 100 میلی‌لیتری منتقل شد. سپس 40 میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شده و به مدت 10 دقیقه با سرعت 100 دور در دقیقه تکان داده شد. سپس محتوی ظرف روی الک 0/25 میلی‌متر تخلیه و طی دو نوبت با 80 میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد. تعلیق زیر الک به ظرف دیگری منتقل شده و بعد از 3 ساعت برای تعیین مقدار رس پراکنده شده (DC)¹، 4 میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و مقدار جذب نور با دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج 620 نانومتر قرائت شد. پیش از قرائت، دستگاه برای جذب نور صفر درصد با آب مقطر تنظیم شد. سپس منحنی واسنجی که نشان‌دهنده قرائت دستگاه در مقابل رس پراکنده شده بود، ترسیم شد. با داشتن قرائت دستگاه برای هر تیمار و با استفاده از منحنی واسنجی، مقدار رس پراکنده شده به دست آمد و با در نظر گرفتن جرم اولیه خاک مورد استفاده به صورت گرم رس پراکنده شده در صد گرم خاک محاسبه شد.

ویسکوزیته سینماتیکی که توسط استوکس معرفی شده و با واحد سانتی‌استوک بیان می‌شود برابر با مدت زمان لازم برای داشتن مقدار مشخصی از جریان سیال در یک فاصله معین است و هیچ نیروی خارجی برای اعمال فشار به سیال وجود ندارد و تنها از نیروی جاذبه استفاده می‌شود. به عبارتی وزن یا چگالی مایع به جریان آن کمک کرده و ویسکوزیته سینماتیکی چگالی سیال را به عنوان بخشی از اندازه‌گیری در بر می‌گیرد. بنابراین به طور کلی ویسکوزیته دینامیکی معیاری از نیرو و ویسکوزیته سینماتیکی معیاری از سرعت می‌باشند (ملکیان و عطیفه کمال آباد، 1401؛ کوری، 2003).

پس از تهیه و آماده‌سازی بافت‌های خاک مورد نظر، تیمارهای نفتی با درصدهای ذکر شده و در سه تکرار به خاک‌ها اضافه شد. سپس نمونه‌های 3 کیلوگرمی تیمار شده به گلدان‌های استوانه‌ای شکل پلاستیکی (با قطرهای پایین و بالای به ترتیب برابر با 12/5 و 19 سانتی‌متر، ارتفاع برابر با 15/5 سانتی‌متر و حجم حدود 4/6 لیتر) منتقل شد و به مدت 72 ساعت در یک محیط در بسته و در داخل پاکت، به منظور اثرگذاری بهتر و بیشتر آلاینده بر خاک و جلوگیری از تبخیر آنها نگهداری شدند. پس از گذشت 72 ساعت، نمونه‌ها توزین و سپس به مدت ده هفته و هر هفته یک بار در حد رطوبت ظرفیت مزرعه برای هر بافت (که از قبل به روش گلدانی اندازه‌گیری شده بود)، با آب مقطر آبیاری شدند. در پایان مدت آزمایش (پس از ده هفته)، رس قابل پراکنش خود به خودی و رس قابل پراکنش مکانیکی به شرح زیر در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شدند:

رس قابل پراکنش خود به خودی: ابتدا مقدار

یک گرم از خاکدانه‌های 2 تا 4 میلی‌متری در لیوان‌های پلاستیکی ریخته و 20 میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و در آزمایشگاه به مدت یک شبانه روز به صورت ثابت نگهداری شد. سپس به وسیله پیپت 4 میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و میزان جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج 620 نانومتر

¹ Dispersed Clay

جدول 1- برخی ویژگی‌های اولیه خاک‌های مورد استفاده در پژوهش

نمونه‌های خاکی			ویژگی‌ها
خاک سوم	خاک دوم	خاک اول	
9	4	30	رس (درصد)
28	9	33	سیلت (درصد)
63	87	37	شن (درصد)
لوم شنی	شن لومی	لوم رسی	کلاس بافت
25/15	39/75	36/85	کرنات کلسیم معادل (درصد)
7/68	7/38	7/63	پهش گل اشباع
0/64	0/86	0/74	قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی زیمنس در متر)
0/48	0/34	0/89	ماده آلی (درصد)

جدول 2- برخی ویژگی‌های مواد نفتی مورد استفاده در پژوهش

روش / وسیله اندازه‌گیری	مقدار		ویژگی (واحد)
گازوئیل			
ویسکومتر چرخشی	4/26		ویسکوزیته دینامیک ¹ (سانتی پواز)
ASTM D445-03	4/93		ویسکوزیته سینماتیک ² (سانتی استوک)
پیکنومتر (ISO 3838, 2004)	0/8647		چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)
نفت سفید			
ویسکومتر چرخشی	1/61		ویسکوزیته دینامیک (سانتی پواز)
ASTM D445-03	1/94		ویسکوزیته سینماتیک (سانتی استوک)
پیکنومتر (ISO 3838, 2004)	0/8300		چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)
نفت خام			
ویسکومتر چرخشی	گشتاور ⁴	دور در دقیقه ³	ویسکوزیته دینامیک
	(%)		
	25/4	30	50/8
	42/3	50	50/9
	60/8	70	52/2
80/3	90	53/6	
پیکنومتر (ISO 3838, 2004)	0/9231		چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)

تمام ویژگی‌های فوق در فشار 640 میلی‌متر جیوه و دمای 26/5 درجه سانتی‌گراد (دما و فشار معمول آزمایشگاه) اندازه‌گیری شده‌اند.

¹ Dynamic viscosity

² Kinematic viscosity

³ Revolution per minute (RPM)

⁴ Torque

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج با استفاده از نرم‌افزارهای آماری EXCEL و SAS تجزیه و تحلیل شد و میانگین‌های مربوط به اثر هر تیمار و برهمکنش‌های آنها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

رس قابل پراکنش خود به خودی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد سطوح 1/5، 3 و 4/5 درصد نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود. اثر بافت خاک، تیمار نفتی و سطوح مختلف آن‌ها و همچنین اثرات متقابل دوتایی و سه تایی نیز در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جداول 3 و 4).

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس (دو عاملی) اثر سطوح مواد نفتی، بافت خاک و اثر متقابل آنها بر رس قابل پراکنش خود به خودی (ADC) و مکانیکی (MDC) برحسب گرم در صد گرم خاک در بافت‌های مختلف خاک

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
گازوئیل		نفت سفید		نفت خام			
MDC	ADC	MDC	ADC	MDC	ADC		
0/726**	0/268**	3/81**	0/231**	0/210**	0/160**	2	بافت
0/750**	0/314**	2/06**	0/878**	0/552**	0/394**	3	سطوح مواد نفتی
0/172**	0/078**	0/546**	0/092**	0/112**	0/095**	6	اثر متقابل بافت خاک و سطوح مواد نفتی
0/001	0/001	0/001	0/001	0/0002	0/00014	24	خطا

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال 5 و 1 درصد را نشان می‌دهند.

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس (سه عاملی) اثر مواد نفتی، سطوح مواد نفتی، بافت خاک و اثرات متقابل آنها بر رس قابل پراکنش خود به خودی، ADC و مکانیکی، MDC (گرم بر صد گرم) در خاک‌های با بافت مختلف

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
MDC	ADC		
2/57**	0/271**	2	بافت خاک
3/09**	0/189**	2	نوع ماده نفتی
2/51**	1/44**	3	سطوح مواد نفتی
1/09**	0/194**	4	اثر متقابل بافت خاک و نوع ماده نفتی
0/397**	0/089**	6	اثر متقابل بافت خاک و سطوح مواد نفتی
0/425**	0/071**	6	اثر متقابل نوع و سطوح مواد نفتی
0/217**	0/088**	12	اثر متقابل بافت خاک، نوع و سطوح مواد نفتی
0/001	0/001	72	خطا

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال 5 و 1 درصد را نشان می‌دهند.

40 و 79 درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول 5). بیشترین و کمترین مقدار درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک لوم رسی به ترتیب به میزان 1/19 و 0/027 گرم در صد گرم و به ترتیب در خاک تیمار شده با 1/5 درصد نفت سفید و 4/5 درصد گازوئیل مشاهده شد. در حالی که بیشترین و کمترین مقدار درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک شن لومی به ترتیب به میزان 0/930 و 0/007 گرم در صد گرم و در خاک تیمار شده با 1/5 درصد نفت خام و 4/5 درصد نفت سفید مشاهده شد. در خاک لوم رسی نیز بیشترین و کمترین مقدار درصد رس قابل پراکنش خود به خودی به ترتیب به میزان 0/516 و 0/031 گرم در صد گرم و در شرایط تیمار با 1/5 درصد نفت سفید و 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد (جدول 5). همچنین لازم به ذکر است که در بین تمام نمونه‌های موجود بیشترین و کمترین مقدار رس قابل پراکنش خود به خودی به ترتیب به میزان 1/19 و 0/007 گرم در صد گرم و در خاک با بافت لوم رسی تیمار شده با 1/5 درصد نفت سفید و در خاک با بافت شن لومی تیمار شده با 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد (جدول 5).

نتایج نشان داد به طور کلی درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های شن لومی نسبت به لوم رسی و لوم شنی به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود 21 و 57 درصد بیشتر بود (شکل 1). به طور کلی میزان درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل نیز در مقایسه با نفت خام به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود 34 و 44 درصد بیشتر بود (شکل 1). همچنین به طور کلی کاربرد سطوح 1/5، 3 و 4/5 درصد تیمارهای نفتی مورد نظر سبب افزایش معنی‌دار میانگین رس قابل پراکنش خود به خودی در سطح 1/5 درصد به میزان حدود 68 درصد و کاهش معنی‌دار آن در سطوح 3 و 4/5 درصد به ترتیب به میزان حدود 9 و 71 درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل 1).

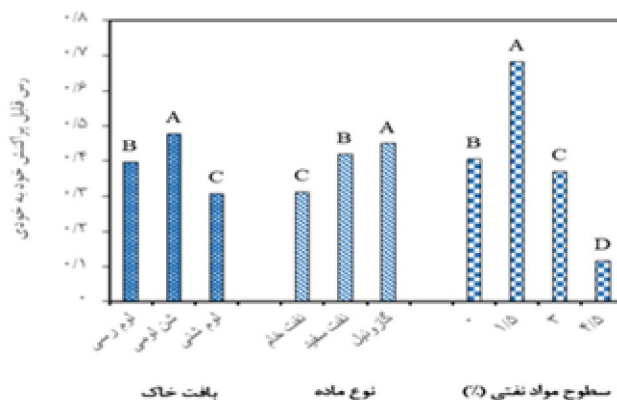
نتایج نشان داد به طور میانگین در هر سه بافت خاک مورد مطالعه میزان رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام روند تغییرات تقریباً مشابهی داشت. به طوری که در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی درصد رس قابل پراکنش خود به خودی به طور معنی‌داری و به میزان حدود 137 و 26 درصد در اثر کاربرد نفت سفید و به میزان حدود 53 و 44 درصد در اثر کاربرد گازوئیل افزایش یافت. در خاک شن لومی نیز کاربرد گازوئیل، رس قابل پراکنش خود به خودی را به طور معنی‌داری به میزان حدود 40 و 68 درصد به ترتیب در مقایسه با نفت خام و نفت سفید افزایش داد (جدول 5).

به طور میانگین کاربرد سطوح تیمارهای نفتی در خاک‌های مورد مطالعه اثر مشابهی بر رس قابل پراکنش خود به خودی نداشت. به طوری که کاربرد 1/5 درصد از مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار درصد رس قابل پراکنش خود به خودی به میزان حدود 90 درصد در مقایسه با شاهد در خاک لوم رسی شد. در حالی که در خاک لوم رسی کاربرد سطوح 3 و 4/5 درصد مواد نفتی سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش خود به خودی به ترتیب به میزان حدود 6 و 87 درصد در مقایسه با شاهد شد (هر چند این کاهش تنها در اثر کاربرد 4/5 درصد مواد نفتی معنی‌دار بود) و در خاک شن لومی کاربرد سطوح 1/5 و 3 درصد تیمارهای نفتی به طور میانگین سبب افزایش معنی‌دار رس قابل پراکنش خود به خودی به ترتیب به میزان حدود 111 و 21 درصد در مقایسه با شاهد شد. در حالی که کاربرد 4/5 درصد مواد نفتی در خاک شن لومی سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش خود به خودی به میزان حدود 47 درصد در مقایسه با شاهد شد. در خاک لوم شنی نیز کاربرد مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار رس قابل پراکنش خود به خودی در سطح 1/5 درصد به میزان حدود 7 درصد و کاهش معنی‌دار آن در سطوح 3 و 4/5 درصد به ترتیب به میزان حدود

جدول 5- اثر سطوح مواد نفتی مورد مطالعه بر رس قابل پراکنش خود به خودی (گرم در صد گرم خاک) در خاک‌های با بافت مختلف

میانگین	مواد نفتی			سطوح (درصد وزنی)
	گازوئیل	نفت سفید	نفت خام	
بافت لومرسی (میانگین = 0/397 B)				
0/401 B	0/387 ij	0/399 hi	0/416 hi	صفر
0/760 A	0/803 c	1/19 a	0/284 mn	1/5
0/375 B	0/267 mn	0/659 e	0/197 o	3
0/051 C	0/027 qr	0/054 pq	0/073 p	4/5
	0/371 B	0/576 A	0/243 C	میانگین
بافت شن لومی (میانگین = 0/479 A)				
0/395 C	0/397 i	0/387 ij	0/401 hi	صفر
0/832 A	0/819 c	0/747 d	0/930 b	1/5
0/479 B	0/696 e	0/300 lm	0/442 h	3
0/210 D	0/577 f	0/046 pqr	0/007 r	4/5
	0/622 A	0/370 C	0/445 B	میانگین
بافت لوم‌شنی (میانگین = 0/306 C)				
0/423 B	0/423 hi	0/419 hi	0/425 hi	صفر
0/454 A	0/497 g	0/516 g	0/350 jk	1/5
0/255 C	0/333 kl	0/247 n	0/186 o	3
0/090 D	0/173 o	0/066 pq	0/031 pqr	4/5
	0/356 A	0/312 B	0/248 C	میانگین

* میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.



شکل 1- اثر سطوح تیمارهای نفتی بر رس قابل پراکنش خود به خودی (گرم در صد گرم خاک) در خاک‌های با بافت مختلف (ستون‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

احتمال 1 درصد معنی‌دار است. همچنین نتایج نشان داد که اثر بافت خاک، تیمار نفتی و سطوح مختلف آنها و همچنین اثرات متقابل آنها در سطح 1 درصد معنی‌دار است (جدول‌های 3 و 4). به طور میانگین در هر سه بافت خاک مورد مطالعه میزان رس قابل پراکنش مکانیکی

رس قابل پراکنش مکانیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر کاربرد سطوح 1/5، 3 و 4/5 درصد نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر درصد رس قابل پراکنش مکانیکی در سطح

مشاهده شد. در حالی که بیشترین و کمترین مقدار درصد رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک شن لومی به ترتیب به میزان 1/40 و 0/112 گرم در صد گرم و در خاک تیمار شده با 1/5 درصد نفت سفید و 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد. در خاک لوم شنی نیز بیشترین و کمترین مقدار درصد رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان 0/963 و 0/154 گرم در صد گرم و در شرایط تیمار با 1/5 درصد گازوئیل و 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد (جدول 6). همچنین لازم به ذکر است که در بین تمام نمونه‌های موجود بیشترین و کمترین مقدار رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان 2/57 و 0/112 گرم در صد گرم و در خاک با بافت لوم رسی تیمار شده با 1/5 درصد نفت سفید و در خاک با بافت شن لومی تیمار شده با 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد (جدول 6).

نتایج نشان داد به طور کلی رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود 31 و 47 درصد کمتر از خاک لوم رسی می‌باشد (شکل 2). به طور کلی میزان رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به طور معنی‌داری و به میزان حدود 2 برابر در همه موارد بیشتر بود (شکل 2). همچنین به طور کلی کاربرد سطوح 1/5 و 3 درصد تیمارهای نفتی مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان حدود 99 و 41 درصد در مقایسه با شاهد شد درحالی که کاربرد 4/5 درصد تیمارهای نفتی سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به میزان حدود 7 درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل 2).

در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به طور معنی‌داری بیشتر بود. به طوری که در خاک‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی تیمار شده با نفت سفید میزان رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان حدود 275، 34 و 57 درصد و در خاک‌های تیمار شده با گازوئیل به ترتیب به میزان حدود 161، 22 و 80 درصد بیشتر از خاک‌های تیمار شده با نفت خام بود (جدول 6). همچنین نتایج نشان داد به طور میانگین اثر کاربرد سطوح 1/5، 3 و 4/5 درصد تیمارهای نفتی بر رس قابل پراکنش مکانیکی دارای روند تغییرات مشابهی نبود. به طوری که کاربرد سطوح مذکور در خاک لوم رسی سبب افزایش معنی‌دار درصد رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان حدود 3، 2 و 1/5 برابر در مقایسه با شاهد شد. در حالی که در خاک شن لومی کاربرد سطوح 1/5 و 3 درصد تیمارهای نفتی سبب افزایش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان حدود 75 و 14 درصد در مقایسه با شاهد شد و کاربرد 4/5 درصد مواد نفتی سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به میزان حدود 32 درصد در مقایسه با شاهد شد. در خاک‌های لوم شنی نیز کاربرد 1/5 درصد مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار درصد رس قابل پراکنش مکانیکی به میزان حدود 35 درصد شد. درحالی که کاربرد سطوح 3 و 4/5 درصد مواد نفتی سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان حدود 4 و 37 درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول 6). بیشترین و کمترین مقدار رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک لوم رسی به ترتیب به میزان 2/75 و 0/274 گرم در صد گرم و در خاک تیمار شده با 1/5 درصد نفت سفید و 4/5 درصد نفت خام

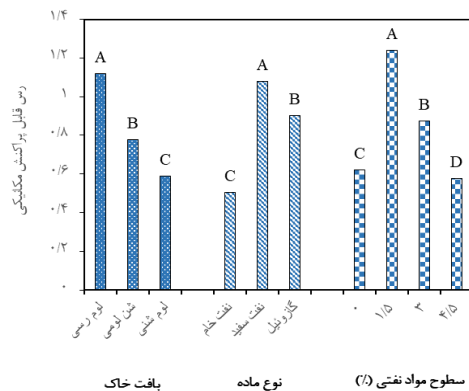
جدول 6- اثر سطوح مواد نفتی مورد مطالعه بر رس قابل پراکنش مکانیکی (گرم در صد گرم خاک) در خاک‌های با بافت مختلف

میانگین	مواد نفتی			سطوح (درصد وزنی)
	گازوئیل	نفت سفید	نفت خام	
بافت لومرسی (میانگین = 1/12 A)				
0/586 D	0/570 mno	0/584 lm	0/604 lm	صفر
1/72 A	1/91 c	2/75 a	0/524 o	1/5
1/27 B	1/27 e	2/12 b	0/422 p	3
0/890 C	0/922 g	1/40 d	0/274 r	4/5
	1/19 B	1/71 A	0/456 C	میانگین
بافت شن لومی (میانگین = 0/778 B)				
0/681 C	0/684 k	0/671 k	0/688 k	صفر
1/19 A	0/980 gh	1/40 d	1/20 f	1/5
0/778 B	0/834 i	0/874 i	0/625 l	3
0/461 D	0/695 k	0/575 lmn	0/112 s	4/5
	0/799 B	0/880 A	0/656 C	میانگین
بافت لوم‌شنی (میانگین = 0/591 C)				
0/600 B	0/601 lm	0/597 lm	0/604 lm	صفر
0/809 A	0/963 gh	0/934 h	0/529 no	1/5
0/574 C	0/770 j	0/617 lm	0/337 q	3
0/380 D	0/582 lm	0/403 p	0/154 s	4/5
	0/729 A	0/638 B	0/406 C	میانگین

* میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

عبارتی به نظر می‌رسد در غلظت‌های کم هیدروکربن‌های نفتی، افزایش دافعه آنیونی و کاهش پایداری خاکدانه‌ها غالب است درحالی‌که با افزایش غلظت هیدروکربن‌های نفتی، افزایش آب‌گریزی و در نتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌ها غلبه پیدا می‌کند. لازم به ذکر است غلظت آستانه لازم برای ایجاد اثرات مذکور برای ترکیبات مختلف و در خاک‌های مختلف و در شرایط مختلف می‌تواند متفاوت باشد.

غلظت‌های کم هیدروکربن‌های نفتی احتمالاً به دلیل افزایش دافعه آنیونی بین ذرات رس و گروه‌های عاملی هیدروکربن‌ها پایداری خاکدانه‌ها را کاهش داده (تقدیسی حیدریان و همکاران، 1397؛ دوور و همکاران، 2000) و در نتیجه مقدار رس قابل پراکنش را افزایش می‌دهد. اما غلظت‌های بیشتر ترکیبات نفتی احتمالاً با تشدید آب‌گریزی و در نتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش میزان رس قابل پراکنش شده است. کرمانپور و همکاران (1394) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. به



شکل 2- اثر سطوح تیمارهای نفتی بر رس قابل پراکنش مکانیکی (گرم در صد گرم خاک) در خاک‌های با بافت مختلف (ستون‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

انتهای زنجیره هیدروکربنی دارای بارهای جزئی مثبت یا منفی هستند (تقدیسی حیدریان و همکاران، 1397؛ دوور و همکاران، 2000)، در آب حل نشده و به صورت پوشش-های آب‌گریز روی سطوح خاکدانه‌ها را پوشانده و سبب افزایش زاویه تماس آب- خاک شده، بنابراین آب به آهستگی جذب شده و از متلاشی شدن خاکدانه‌ها در اثر ورود سریع آب و فشار ناشی از هوای محبوس جلوگیری کرده و رس قابل پراکنش خاک را کاهش می‌دهد. در واقع یکی از پیامدهای مثبت آب‌گریزی در اثر آلودگی نفتی، پایداری واحدهای ساختمانی خاکدانه‌های خاک است که از این رو سبب کاهش فرسایش خاک نیز می‌شود. در نتیجه افزودن مواد آلی از منابع گوناگون (از جمله منابع هیدروکربنی) به خاک می‌تواند یکی از راه‌های بهبود کیفیت خاک در مناطق مستعد به فرسایش باشد (درستکار و والی، 1396). به عبارتی افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها (و کربن آلی ناشی از آنها) در خاک سبب افزایش آب-گریزی در خاک، کاهش سرعت خیس شدن خاکدانه‌ها و کاهش حساسیت ساختمان خاک به تخریب و در نتیجه کاهش رس قابل پراکنش خاک می‌شود. افزایش غلظت نمک موجود در مواد آلی نیز می‌تواند با کاهش ضخامت لایه دوگانه پخشیده الکتریکی رس‌ها سبب کاهش رس قابل پراکنش خاک شود. نکته قابل ذکر دیگر آن است که

با بررسی منابع مختلف (بیکولو و امباگو، 1999؛ دوور و همکاران، 2000؛ آرسنگو و همکاران، 2008؛ دکستر و همکاران، 2008؛ کرمان پور و همکاران، 1394) که به بررسی تأثیر مواد نفتی پرداخته‌اند بسته به نوع خاک و روش اندازه‌گیری مورد مطالعه نیز عموماً مقدار رس قابل پراکنش خاک بین 0/5 تا 0/7 درصد متغیر بوده که با مقدار رس قابل پراکنش در تیمار شاهد پژوهش حاضر (حدود 0/6 درصد) مطابقت کامل دارد و با بررسی سطوح مختلف ماده نفتی نیز در برخی موارد نتایج مشابهی حاصل شده است (هرچند در هیچیک از پژوهش‌های مذکور اثر سطوح (چهار سطح) مختلف از سه ترکیب نفتی مختلف بر دو نوع رس قابل پراکنش و در سه بافت خاک متمایز و به صورت مقایسه‌ای مطالعه نشده است). به طور کلی ترکیبات هیدروکربنی موجود در خاک شامل آلکان‌ها با زنجیره طولانی و برخی ترکیبات حلقوی با جرم ملکولی زیاد هستند. این ترکیبات علاوه بر ایجاد آب‌گریزی به راحتی در آب حل نمی‌شوند و می‌توانند با ذرات معدنی خاک کمپلکس تشکیل دهند. بنابراین به هم‌آوری ذرات خاک کمک کرده و پایداری ساختمان خاک در شرایط مرطوب حفظ شده و پراکنده شدن رس در شرایط مرطوب کاهش می‌یابد. همانگونه که نتایج نیز نشان می‌دهد این ملکول‌های غیرقطبی که تنها در

مطالعه در این پژوهش از حدود 25 تا 40 درصد متغیر است (جدول 1) هرچند بین مقدار آهک در دو خاک لوم رسی (با حدود 37 درصد آهک) و شن لومی (با حدود 40 درصد آهک) عملاً تفاوت خیلی زیادی وجود ندارد (حدود 8 درصد اختلاف) و این میزان تفاوت در مقدار آهک خاک در این مورد ممکن است در تفاوت نتایج چندان تأثیرگذار نباشد.

همچنین احتمال می‌رود بخشی از تفاوت در نتایج مربوط به ترکیبات نفتی مختلف مورد مطالعه در این پژوهش به دلیل چگالی بیشتر نفت خام در مقایسه با گازوئیل (و گازوئیل در مقایسه با نفت سفید) باشد. به این ترتیب که هر چه ماده چگال‌تر باشد قاعداً پوشش سنگین‌تری را بر روی خاک اعمال کرده که خود موجب کاهش پراکنش رس‌ها و متقابلاً افزایش پایداری شده است. نکته قابل ذکر دیگر آن است که کاربرد مواد نفتی در خاک با توجه به تفاوت در میزان آب‌گریزی و لزوجت (گرانروی) خود به طبع اثرات با درجات متفاوتی را در خاک به وجود می‌آورند. برای نمونه از نقطه نظر پایداری خاکدانه‌ها، هر قدر که ماده نفتی به کار برده شده دارای آب‌گریزی و لزوجت بیشتری باشد، در مقادیر و درصد وزنی کمتری می‌تواند سبب ایجاد پایداری شده و غلظت آستانه و بحرانی را کاهش می‌دهد. بنابراین حداقل غلظتی از مواد نفتی که می‌تواند سبب ایجاد روانی بیش از حد و پاشش خاک شده (و همچنین از طرفی در کنار مقاومت به فرسایش بادی می‌تواند مانع نفوذ آب به خاک و ایجاد فرسایش آبی شود) نیز کمتر خواهد بود. همچنین بایستی بیان نمود که رس قابل پراکنش معیاری از پایداری و انسجام ذرات خاک می‌باشد و بیشترین مقدار رس قابل پراکنش حاکی از کمترین میزان پایداری و انسجام ذرات خاک است و بر این اساس بدیهیست که سبک‌ترین بافت خاک مورد بررسی با کمترین مقدار رس که عامل انسجام و چسبندگی ذرات خاک است، کمترین پایداری و بیشترین مقدار رس قابل پراکنش را دارا باشد. همچنین به نظر می‌رسد در خاک لوم رسی که محتوی رس بیشتر

حتی حضور مقادیر کم ذرات رس در خاک سبب کاهش تأثیر مواد آلی بر آب‌گریزی می‌شود و از آنجا که آب-گریزی یک پارامتر بسیار مهم و تأثیرگذار در پایداریست به نحوی که با افزایش آب‌گریزی تا میزان مشخصی، پایداری نیز افزایش می‌یابد (کرمانپور و همکاران، 1394). بنابراین تأثیر کمتر مواد آلی (از جمله هیدروکربن‌های نفتی) بر آب‌گریزی و متقابلاً ایجاد پایداری کمتر و یا رس قابل پراکنش بیشتر در خاک‌های با رس بیشتر در اثر مواد آلی آب‌گریز توجیه پذیر می‌باشد. از میان عوامل مؤثر بر پایداری ساختمان خاک، مواد آلی (که شامل هیدروکربن‌های نفتی نیز می‌باشند) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. بر خلاف تصور کلی تنها بخشی از ترکیبات آلی در پایداری ساختمان خاک نقش دارد. حضور برخی از یون‌های آلی از ترکیبات اسید فولویک و اسید سیتریک رس قابل پراکنش را به میزان قابل توجهی افزایش و پایداری خاکدانه‌ها را به شدت کاهش می‌دهند، در واقع برخی آنیون‌های آلی مانند فولوات، سترات، اگزالات، لاکتات و استات سبب افزایش رس قابل پراکنش و کاهش پایداری ساختمان خاک می‌شوند اما وجود اسیدهای آروماتیک در خاک سبب هم‌آوری ذرات رس شده و پایداری ساختمان خاک را افزایش می‌دهند (بیکولو و امباگو، 1999؛ آمزکتا، 1999). پژوهش‌ها نشان می‌دهد کل کربن آلی خاک و کل کربوهیدرات‌های موجود در خاک سبب پایداری ساختمان خاک نمی‌شود اما با افزایش کربن آلی خاک، رس قابل پراکنش کاهش می‌یابد (دکستر و همکاران، 2008).

از طرفی علاوه بر ترکیبات آلی، آهک نیز در پایداری ساختمان خاک نقش مؤثر دارد و به نظر می‌رسد وجود آلودگی نفتی اثر آهک را در پایداری ساختمان خاک افزایش می‌دهد که ممکن است به دلیل تشکیل کمپلکس-های قوی با یون کلسیم در خاک باشد (آرسنگو و همکاران، 2008) و این موضوع با توجه به آهکی بودن خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش می‌تواند مؤثر و قابل توجه باشد. مقدار آهک موجود در خاک‌های مورد

است بخش زیادی از رس‌ها در اثر نیروی وارده در حین اندازه‌گیری رس مکانیکی پراکنده شده و در نتیجه مقدار رس پراکنده شده مکانیکی در این خاک در مقایسه با سایر خاک‌ها بیشتر است. اما مقدار اندک رس موجود در سایر خاک‌ها، به صورت خود به خودی و بدون وارد کردن نیروی اضافه پراکنده شده ولی در خاک لوم رسی محتوی رس بیشتر، رس‌ها در ساختار خاکدانه‌های پایدار دخالت داشته و به صورت خود به خودی قابل پراکنش نبوده است و بنابراین رس قابل پراکنش خودبه خودی در این بافت کمتر بوده است. قابل ذکر است که خواص میکروساختاری رس‌های موجود در خاک نیز می‌تواند سبب بروز تفاوت‌ها و روندهای عکس موجود میان خاک‌های رسی و شنی باشد. بعلاوه در حالت کلی تفاوت در نتایج به دست آمده در این پژوهش با سایر منابع مشابه، می‌تواند به سبب تفاوت در شرایط انجام آزمایش از جمله شرایط محیطی، رطوبتی، حجم نمونه، و ویژگی‌های متفاوت مواد افزودنی باشد که خود می‌تواند سبب انجام واکنش‌های فیزیکی شیمیایی مختلف بین انواع خاک‌ها و ترکیبات افزودنی به خاک شود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که اثر کاربرد سطوح مختلف تیمارهای نفتی بر میزان رس قابل پراکنش خود به خودی و مکانیکی دارای روندی تقریباً یکسانی بود، به طوری که در سطوح کم، مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار ویژگی‌های نام برده شد. درحالی که سطوح بیشتر مواد نفتی سبب کاهش معنی‌دار آن‌ها شد. بیشینه مقدار رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های رسی تیمار شده با نفت سفید و خاک‌های شنی تیمار شده با گازوئیل

مشاهده شد. درحالی که بیشینه مقدار رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های لوم رسی و شن لومی تیمار شده با نفت سفید و خاک‌های لوم شنی تیمار شده با گازوئیل مشاهده شد. رس قابل پراکنش خود به خودی و همچنین رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به طور معنی‌داری بیشتر بود. رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های شن لومی نسبت به لوم رسی و لوم شنی بیشتر ولی رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های شن لومی و لوم شنی کمتر از خاک لوم رسی بود. به طور کلی نتایج نشان داد سطوح مختلف مواد نفتی اثرات معنی‌داری بر رس قابل پراکنش داشتند. با توجه به اینکه امروزه آلودگی خاک‌ها به مواد نفتی به خصوص به مواد پر مصرف نفتی رو به افزایش بوده و این موضوع از نقطه نظر زیست محیطی و بر اساس نوع استفاده و کاربری‌های گوناگون زمین می‌تواند مضر و محدودکننده باشد. بنابراین قبل از هر گونه اقدام لازم است اثر این مواد بر ویژگی‌های مختلف خاک‌ها بررسی شود تا شناخت و اطلاعات لازم در خصوص این خاک‌های آلوده افزایش یابد. بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند با فراهم آوردن اطلاعات لازم در خصوص اثر مواد نفتی بر میزان رس قابل پراکنش به عنوان یکی از معیارهای استحکام و انسجام خاک و سایر ویژگی‌های مرتبط با آن، در تصمیم‌گیری‌های لازم برای استفاده‌های مختلف از خاک‌های آلوده به نفت و به‌ویژه در مسائل مدیریت و اصلاح این خاک‌ها و همچنین در شرایط استفاده از ترکیبات نفتی برای حفاظت از خاک در برابر فرسایش مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. تقدیسی حیدریان، س. ز، خراسانی، ر. و امامی، ح. 1397. تأثیر ژئولیت و کود گاوی بر برخی پارامترهای فیزیکی خاک. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، 25(5)، 149-166.
2. خبازی، ه. و حسنلوراد، م. 1397. اثر آلاینده‌های نفتی بر خاصیت واگرایی و مقاومت برشی خاک‌های رسی واگرا. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، 50(2)، 401-408.

3. درستکار، و. و والی، ر. 1396. بررسی پایداری ساختمان و آبرگریزی خاک در پاسخ به افزودن بقایای برگ انگور و پوست انار در سطوح مختلف شوری. *مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)*، 40(2)، 29-46.
4. روشن قیاس، س.م. و باقری پور، م. ح. 1398. تأثیر آلودگی نفت خام بر خصوصیات ژئوتکنیک خاک رس کائولینیت در بستر راه. *مهندسی زیر ساختهای حمل و نقل*، 5(18)، 101-112.
5. صبور، م. ر.، قدردان، م. و احمدی، م. خ. 1396. بررسی عدم قطعیت اثر آلاینده گازوئیل بر رفتار ژئوتکنیکی خاک ماسه ای بستر مخازن نفتی. *نشریه مهندسی عمران امیر کبیر*، 49(4)، 813-820.
6. فرزادکیا، م.، عبداللهی نژاد، ب.، جنیدی جعفری، ا. و اسرافیلی دیزجی، ع. 1398. زیست پالایی خاک‌های آلوده به گازوئیل در بیوراکتور حاوی لجن فعال خام و ورمی کمپوست. *مجله مهندسی بهداشت محیط*، 7(1)، 53-68.
7. کامل، ا.، صفادوست، ا. و مصدقی، م. ر. 1397. اثر آلودگی نفتی بر آبرگریزی و منحنی مشخصه رطوبتی دو خاک با بافت متفاوت. *نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)*، 32(1)، 85-97.
8. کرمانپور، م.، مصدقی، م. ر.، افیونی، م. و حاج‌عباسی، م. ع. 1394. اثر آلودگی نفتی بر آب‌گریزی و پایداری ساختمان خاک در منطقه بختیار دشت اصفهان. *علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، 19(73)، 139-148.
9. مالکی شهرکی، م. 1395. اثر هیدروکربن‌های نفتی، خاکستر سبوس برنج و زغال سنگ بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. (پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران).
10. مجرد، م.، عالم‌زاده، ع.، قریشی، گ. و جواهری، م. 1396. ارزیابی توانایی رشد و تجزیه زیستی نفت سفید توسط چندین باکتری جداسازی شده از خاک و آب آلوده به ترکیبات نفتی. *مجله منابع طبیعی ایران*، 70(1)، 161-172.
11. ملکیان، ا. و عطیفه کمال آباد، س.م. 1401. مبانی ترمودینامیک، مکانیک سیالات و انتقال حرارت. ایران، تهران: انتشارات نوآور. 254 ص.
12. مومنی، م.، فرزادکیا، م.، اسرافیلی، ع. و کرمانی، م. 1396. زیست پالایی خاک‌های آلوده به گازوئیل به روش تحریک زیستی در بیوراکتورهای ورمی کمپوست و لجن فعال. *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران*، 27(158)، 179-192.
13. نوری، م.، همایی، م. و بای بوردی، م. 1391. بررسی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در حضور آلاینده سفید. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، 2(1)، 37-48.
14. Akinwumi, I. I., Diwa, D. and Obianigwe, N. 2014. Effects of crude oil contamination on the index properties, strength, and permeability of lateritic clay. *International Journal of Application Sciences Engineering Research*, 3(4), 816-824.
15. Amézqueta, E. (1999). Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14, 83-151.
16. Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Gueuero, C., Zomoza, R., Malaix-Beneyto, J. & Garcia-Orenes, F. (2008). Intermediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. *Catena*, 74, 219-226.
17. Benyahia, F., Abdulkarim, M., Zekri, A., Chaalal, O. and Hasanain, H. 2005. Bioremediation of crude oil contaminated soils: A black art or an engineering challenge. *Process Safety Environment Protection*, 83(4), 364-370.
18. Besalatpour, A. A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M. A., Mosaddeghi, M. R. & Schulin, R. 2013. Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. *Catena*, 111, 72-79.
19. Chattopadhyay, P., Karthick, A., & Roy, B. 2019. A review on the application of chemical surfactant and surfactant foam for remediation of petroleum oil contaminated soil. *Journal of Environmental Management*, 243, 187-205.

20. Currie, I. G. 2003. *Fundamental Mechanics of Fluids*. 3rd Ed. Marcel Dekker Inc. New York, USA, 542 p.
21. Das, N. & Chandran, P. 2011. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnology Research International*, 2011, 1-13.
22. Dexter, A. R., Czyz, G. E. A., Davy, J., Hardy, M. & Duval, O. 2011. Clay dispersion from soil as a function of antecedent water potential. *Soil Science Society of America Journal*, 75, 444-455.
23. Dexter, A. R., Richard, G., Arrouays, D., Czyż, E. A., Jolivet, C., & Duval, O. 2008. Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma*, 144(3), 620-627.
24. Doerr, S. H., R. A. Shakesby and R. P. D. Walsh. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth Science*, 51, 33-65.
25. Gee, G. W., & Or, D. (2002). Particle size Analysis. In: Jacob, H. et al. (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 4, Physical Methods*. Soil Science Society of America, Book Series, Madison, WI. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c12>
26. Greenland, D.J. 1965a. Interaction between clays and organic compounds in soils. Part I. Mechanisms of interaction between clays and defined organic compounds. *Soils and Fertilizers*, 28, 415-425.
27. Hafidh, H., 2016. OPEC Annual Statistical Bulletin 2016. Organization of the Petroleum Exporting Countries, 125 p.
28. Hosseini, F., Mosaddeghi, M. R., Hajabbasi, M. A. & Sabzalian, M. R. 2015. Influence of tall fescue endophyte infection on structural stability as quantified by high energy moisture characteristic in a range of soils. *Geoderma*, 249(250), 87-99.
29. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474, In: Spark, D. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3*, Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
30. Nelson, P.N., Baldock, A., Clarke, P., Oades, J.M., and Churechman, G.J. 1999. Dispersed clay and organic matter in soil: their nature and associations. *Australian Journal of Soil Research*, 37, 289-319.
31. Pascal, S., and Barbier, G. 1995. Effect of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. *Agricultural Water Management*, 64, 145-157.
32. Piccolo, A. & Mbagwu, J. S. C. 1999. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*, 63, 1801-1810.
33. Pojasok, T. & Kay, B. D. 1990. Assessment of a combination of wet sieving and turbidimetry to characterize the structural of mist aggregates. *Canadian Journal of Soil Science*, 70, 33-42.
34. Rengasamy, P. 1984. Dispersion of calcium clay. *Australian Journal of Soil Research*, 20, 153-158.
35. Tahhan, R. A., Ammari, T. G., Goussous, S. J. A., & Shdaifat, H. I. 2011. Enhancing the biodegradation of total petroleum hydrocarbons in oily sludge by a modified bioaugmentation strategy. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65, 130-143.
36. Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.

Effect of Petroleum Products on the Amount of Spontaneously and Mechanically Dispersible Clays in Soils with Different Textures

R. Daryae, A. A. Moosavi¹, R. Ghasemi, and M. Riazi

Former MSc. Student, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University; E-mail: raziye.daryae@shirazu.ac.ir

Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University; E-mail: aamousavi@gmail.com

Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University; E-mail: ghasemif@gmail.com

Associate Professor, Department of Petroleum Engineering, College of Chemical, Petroleum, and Gas Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: mriazi180@gmail.com

P: 209-224

Received: April, 2022, and Accepted: August, 2022

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of application of 0, 1.5, 3, and 4.5% of crude oil, kerosene, and gasoline on spontaneously and mechanically dispersible clay in three texturally different soils of clay loam, loamy sand, and sandy loam. In general, the results showed that the percentage of spontaneously dispersible clay in soils treated with kerosene and gasoline was significantly higher than that treated with crude oil by, respectively, 34% and 44%. Mechanically dispersible clay in soils treated with kerosene and gasoline were significantly higher than that of the crude oil treated soils by nearly two folds. The percentage of spontaneously dispersible clay in the loamy sand soils was significantly higher than that of the clay loam and the sandy loam soils by nearly 21% and 57%, respectively. While mechanically dispersible clay in loamy sand soil was significantly less by about 31% than that in clay loam soil and about 32% more than that in sandy loam soil. In general, increasing the application rates of petroleum products increased the percentage of spontaneously and mechanically dispersible clay at low levels, but decreased the mentioned attributes at higher levels. The results showed that different levels of petroleum products had significant effects on dispersible clay. Therefore, the results of this study can provide the necessary information about the effect of petroleum materials on the amount of dispersible clay, as one of the soil strength and cohesion criteria and other related characteristics. This information can be used in making the necessary decisions for management and reclamation of different types of oil-contaminated soils, and for using petroleum compounds to protect the soil against erosion.

Keywords: Clay loam, Crude oil, Gasoline, Kerosene, Loamy sand, Sandy loam

¹ Corresponding author: Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University