

## اثرات آلودگی نفتی بر آب‌گریزی و منحنی مشخصه رطوبتی دو خاک با بافت متفاوت

الناز کامل، آزاده صفادوست<sup>1</sup> و محمدرضا مصدقی

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا؛ elnaz\_kamel@yahoo.com

استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا؛ safadoust@basu.ac.ir

استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ mosaddeghi@cc.iut.ac.ir

دریافت: 96/5/7 و پذیرش: 96/10/11

### چکیده

آب‌گریزی یکی از مشکلات اصلی آلودگی نفتی خاک‌ها می‌باشد، که می‌تواند توزیع آب را از طریق کاهش نفوذ، افزایش رواناب سطحی، فرسایش خاک و جریان ترجیحی تحت تأثیر قرار دهد. هدف از این مطالعه بررسی اثرات نفت خام بر آب‌گریزی و مقدار آب خاک می‌باشد. نمونه‌های دست‌نخورده خاک از دو بافت لوم‌شنی و لوم‌رسی برداشته شد و سه سطح صفر، 5% و 1% (w/w) نفت خام به آنها اضافه شد. برای اندازه‌گیری آب‌گریزی خاک‌ها از آزمایش زمان نفوذ قطره آب استفاده شد. منحنی مشخصه رطوبتی خاک‌ها با استفاده از دستگاه‌های جعبه‌شن و صفحات فشاری اندازه‌گیری شد، مدل ونگنوختن-معلم بر داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی برازش و شاخص کیفیت فیزیکی خاک دکستر (S) محاسبه شد. افزایش نفت خام آب‌گریزی را افزایش داد و خاک لوم‌شنی به دلیل داشتن سطح ویژه کمتر، بیش‌تر در معرض آب‌گریزی قرار گرفت. آلودگی نفتی همچنین سبب تغییر توزیع اندازه منافذ شد، به این صورت که ظرفیت مزرعه و میزان آب قابل دسترس گیاه با توجه به گسترش منافذ ریز افزایش یافت. اگرچه آب‌گریزی میزان آب قابل دسترس گیاه را افزایش داد، با این حال، کاهش منافذ درشت می‌تواند شرایط نامطلوبی را برای رشد گیاه به دنبال داشته باشد. آلودگی نفتی همچنین بر شکل و شیب منحنی مشخصه رطوبتی تأثیرگذار بود. نگرش داشت آب در خاک‌های آلوده به نفت خام در هر دو بافت لوم‌شنی و لوم‌رسی به دلیل کاهش منافذ درشت، در مکش‌های پایین، کمتر و در خاک لوم‌رسی به دلیل افزایش منافذ ریز، در مکش‌های بالا، بیشتر بود. نفت خام شاخص S را به طور قابل-توجهی در هر دو بافت کاهش داد اما این امر در بافت لوم‌شنی با شدت بیش‌تری مشاهده شد. بر اساس طبقه‌بندی دکستر و نتایج حاصل، آب‌گریزی ناشی از مواد نفتی با کاهش منافذ درشت و شاخص S (در دامنه بین 0/02 تا 0/035) سبب کاهش کیفیت خاک گردید که پیامدهای نامطلوبی را برای رشد گیاه به دنبال دارد. همچنین، خاک‌های با بافت درشت به آسانی می‌توانند سبب توسعه آب‌گریزی خاک شوند.

واژه‌های کلیدی: توزیع اندازه منافذ خاک، شاخص دکستر، شاخص کیفیت فیزیکی خاک

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: همدان، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانشکده کشاورزی، گروه خاک‌شناسی

## مقدمه

وجود آلاینده‌های نفتی در خاک و آب یکی از بزرگترین معضلات زیست محیطی در حال حاضر می‌باشد. گسترش پالایشگاه‌های نفت و عدم رعایت لزومات زیست محیطی سبب ورود این آلاینده‌ها به خاک و آب گشته که مشکلات زیادی را به دنبال داشته است. این آلاینده‌ها به هنگام حفاری و استخراج و همچنین در حین حمل و نقل به علت نامناسب بودن شرایط انتقال به خاک نشت پیدا می‌کنند و با حرکت در خاک، خود را به منابع آب زیرزمینی رسانده و سبب آلودگی آن شوند (بشارتی، 1393). وجود این مواد هیدروکربنی در خاک مانند پوششی عمل کرده و با جذب شدن به سطح ذرات خاک سبب ایجاد ویژگی آب‌گریزی<sup>1</sup> می‌شوند (فرزادیان و همکاران، 1394).

بر اساس تعریف مقاومت خاک به مرطوب شدن برای دوره‌های چند دقیقه تا چند ساعته را آب‌گریزی می‌نامند، که در این حالت زاویه تماس بین آب و خاک بیش از 90 درجه است (دوئر و توماس، 2000، آدمز و همکاران، 2007). وجود ویژگی آب‌گریزی در خاک‌ها مشکلات زیادی را به دنبال دارد که از آن جمله می‌توان به کاهش مقدار نفوذ، کاهش میزان آب قابل دسترس گیاه، افزایش رواناب و جریان‌های ترجیحی و به دنبال آن افزایش فرسایش خاک را اشاره کرد (فرانکو و همکاران، 2000، ایبش و همکاران، 2015) که از این بین کاهش قابل توجه نگه‌داشت آب در خاک را می‌توان یکی از مهم‌ترین اثرات آب‌گریزی در خاک دانست. ایجاد آب‌گریزی در خاک‌ها اغلب به دلیل وجود ترکیبات آلی از جمله موم‌ها، تانن‌ها، اسیدهای چرب و صمغ‌ها می‌باشد که با تشکیل پوششی بر روی ذرات خاک سبب ایجاد خاصیت آب‌گریزی در خاک‌ها می‌شوند (فرانکو و همکاران، 2000). پساب کارخانه‌ها، لجن فاضلاب‌ها، مواد نفتی پالایشگاه‌ها و فاضلاب‌های خانگی آلوده به انواع روغن‌های خانگی، که امکان وارد شدن آن‌ها به خاک در اثر عوامل مختلف وجود دارد، نیز سبب ایجاد آب‌گریزی در خاک‌ها می‌شوند (کرمانپور و مصدقی، 1393). شدت و میزان آب‌گریزی به نوع پوشش گیاهی، دمای خاک، میزان رطوبت خاک، میکروارگانیسم‌های موجود در خاک و نوع بافت خاک بستگی دارد. شدت آب‌گریزی در خاک‌های با بافت شنی بیشتر از خاک‌های با بافت رسی می‌باشد، که ناشی از سطح ویژه کمتر خاک شنی نسبت به خاک رسی است، که توسط مواد آلی آب‌گریز به راحتی پوشش داده

می‌شوند (دوئر و توماس، 2000). آب‌گریزی زمانی ظاهر می‌شود که مقدار آب در خاک‌ها به زیر سطح رطوبت بحرانی برسد. رطوبت بحرانی، حداقل رطوبتی است که در آن، خاک از حالت آب‌گریز به آب‌دوست تغییر یافته و مقدار آن به نوع خاک بستگی دارد (ذکر و ریتسما، 1994، دوئر و توماس، 2000). مگدالنا (2013) با بررسی آب-گریزی و مقدار رطوبت بحرانی در خاک‌های مختلف در نیوزلند گزارش کرد که آب‌گریزی در خاک‌های با مقدار رطوبت بیش از 50% وجود ندارد و همچنین مقدار رطوبت بحرانی در خاک‌های مورد آزمایش بین مقدارهای 32% تا 50% قرار داشت.

آلوده شدن خاک‌ها با آلاینده‌های نفتی به علت ویژگی دوخصلتی<sup>2</sup> آنها (داری دوسر آبدوست و آب‌گریز)، از جمله عوامل تأثیرگذار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها می‌باشد؛ که بسته شدن خلل و فرج خاک‌ها، کاهش تهویه و نفوذ آب در خاک را می‌توان از مهم‌ترین نتایج این امر دانست (آبزده، 2013، هابرت و همکاران، 2015). هیدروکربن‌های نفتی با تحت تأثیر قرار دادن فضای بین خاکدانه‌ها سبب تغییر خصوصیات فیزیکی خاک‌ها و مانع حرکت آب در خاک، شکل منحنی مشخصه رطوبتی و شیب آن می‌شوند (روی و مکگیل، 2000).

رابطه رطوبت خاک و پتانسیل ماتریک با منحنی مشخصه رطوبتی آب خاک معرفی می‌شود. منحنی مشخصه رطوبتی خاک یکی از ویژگی‌های مهم در بیان کیفیت فیزیکی خاک است که با توجه به آن می‌توان به میزان نگه‌داشت آب در یک خاک در مکش‌های مختلف و توزیع اندازه منافذ آن پی برد (بایرام و بهمنی، 1394). منحنی رطوبتی وابسته به توزیع اندازه منافذ است و همچنین رابطه نزدیکی بین منحنی رطوبتی و مقادیر شن، رس و چگالی ظاهری وجود دارد (بوتولا و همکاران، 2012). دکستر (2004) شیب منحنی مشخصه رطوبتی در نقطه عطف یا پارامتر S را به عنوان معیاری برای نشان دادن کیفیت فیزیکی خاک مطرح نمود. از عوامل تأثیرگذار بر روی این شاخص می‌توان به بافت خاک، مواد آلی موجود در خاک، چگالی ظاهری و مقاومت خاک اشاره کرد (شهاب آرخالو و همکاران، 1390)، که هر کدام از این پارامترها به نوعی با توزیع اندازه منافذ خاک در ارتباط می‌باشند بنابراین هر عاملی که سبب تغییر منحنی مشخصه رطوبتی خاک شود، شاخص S را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.

<sup>2</sup> Amphiphilic

<sup>1</sup> Water repellency

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل بافت خاک (لوم‌شنی و لوم‌رسی) و سه سطح آلودگی (صفر، 0/5 و 1 درصد) بودند. نمونه‌های خاک دست‌نخورده از زمین‌های زراعی با سابقه کشت گندم واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی استان همدان در نوبت آیش (بدون خاک‌ورزی) در فصل تابستان از دو بافت لوم‌رسی، "E 48° 32' 46/75", "N 34° 52' 47/99", و لوم‌شنی، "E 48° 31' 48/10", "N 34° 52' 49/99" برداشته شد. برای برداشت نمونه‌های خاک دست‌نخورده از سیلندرهایی به قطر 5/1 سانتی‌متر و ارتفاع 5 سانتی‌متر استفاده شد. نمونه‌های خاک در آزمایشگاه با استفاده از نفت خام به عنوان آلاینده نفتی در سه سطح صفر، 0/5 و 1 درصد وزنی آلوده شدند. به علت حل نشدن آلاینده‌های نفتی در آب از هگزان نرمال به عنوان حلال استفاده شد. برای تیمار کردن نمونه‌ها ابتدا با توجه به سطح تیمار مورد نظر، 0/5 یا 1 درصد وزنی خاک موجود در سیلندر را محاسبه نموده و نمونه‌های خاک با همان میزان نفت خام پس از رقیق شدن توسط محلول هگزان نرمال اشباع شدند. برای رسیدن نمونه‌ها به وزن موردنظر نفت خام طی چهار نوبت به نمونه‌های خاک اضافه گردید (تاکاویرا و همکاران، 2014). با توجه به وجود مواد فرار در نفت خام، نمونه‌ها به مدت دو ماه در فضای آزاد آزمایشگاه در دمای 25 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا مواد فرار خارج و نفت خام جذب ذرات خاک گردد.

برای اندازه‌گیری آب‌گیری نمونه‌های آلوده شده به نفت خام از روش قطره آب یا زمان نفوذ آب در خاک استفاده شد. بدین صورت که چند قطره آب به حجم تقریبی 65 میلی‌متر مکعب با قطره چکان بر روی سطح صاف نمونه‌های خاک تیمار شده ریخته و زمان نفوذ قطره‌های آب در داخل خاک یادداشت و طبقه‌بندی گردید (دکر و جانگریز، 1990).

برای اندازه‌گیری منحنی مشخصه خاک، نمونه‌های تیمار شده و شاهد به مدت 24 ساعت در یک ظرف قرار داده شدند تا از زیر به آهستگی اشباع شوند. برای اندازه‌گیری مکش‌های صفر، 1، 2، 4 و 6 کیلوپاسکال از دستگاه جعبه شن<sup>1</sup> (Eijkelkam, 08.01 SANDBOX) و برای مکش‌های 10، 30، 100، 200، 400 و 1500 کیلوپاسکال از دستگاه صفحات فشاری<sup>2</sup> استفاده شد. زمان برقراری

مارین گارسیا و همکاران (2016) اثر نفت خام را بر آب‌گیری در خاک‌های رسی آبرفتی بررسی کردند و بیان داشتند غلظت بالاتر آلاینده‌های هیدروکربنی آب‌گیری بالاتری را به دنبال دارد. بر طبق نتایج به دست آمده بین کاهش رطوبت ظرفیت مزرعه و میزان آب‌گیری در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی رابطه نزدیکی وجود دارد (آدمز و همکاران، 2008). با توجه به اینکه آب‌گیری سبب کاهش جذب آب توسط خاک می‌شود این امر می‌تواند بر شکل و شیب منحنی رطوبتی خاک اثرگذار باشد (یچمن و همکاران، 2002، مور و همکاران، 2010). در خاک‌های آلوده به مواد نفتی به علت وجود آلودگی در منافذ درشت، در مکش‌های کمتر ننگه‌داشت آب کمتری نسبت به مکش‌های بالاتر گزارش شده است (هاین و همکاران، 2008). راسیا و همکاران (1990) بیان داشتند وجود مواد نفتی در خاک سبب کاهش تقریباً 10 درصدی ننگه‌داشت رطوبت در مکش 10 تا 200 کیلوپاسکال گردید اما هدایت هیدرولیکی اشباع را به میزان 50 درصد افزایش داد. کاراگونداز و همکاران (2001) بیان داشتند ظرفیت ننگه‌داشت آب با افزایش آب-گیری خاک در دامنه مکش بین صفر تا 10 کیلوپاسکال کاهش می‌یابد. علی‌رغم نتایج به دست آمده برخی بررسی‌ها نشان داد که آب‌گیری ناشی از آلاینده‌های هیدروکربنی نه تنها سبب کاهش ننگه‌داشت آب نشده است بلکه با افزایش این آلاینده‌ها میزان ننگه‌داشت نیز افزایش پیدا کرده است. شاید دلیل این امر را بتوان به افزایش ماده آلی توسط آلاینده‌های هیدروکربنی، غلظت آلاینده و مدت زمان آلوده شدن خاک به آلاینده هیدروکربنی نسبت داد (تاکاویرا و همکاران، 2014).

ایبش و همکاران (2015) بیان داشتند که آب‌گیری ناشی از مواد بیوجار تنها در مکش‌های پایین باعث افزایش آب در دسترس گیاه می‌شود (دامنه بین 6 تا 30 کیلوپاسکال) اما در مکش‌های بالاتر (دامنه بین 30 تا 1500 کیلوپاسکال) مقدار آب در دسترس کاهش می‌یابد.

با توجه به اینکه ایران کشوری نفت‌خیز می‌باشد آلوده شدن خاک با آلاینده‌های نفتی در ایران امری شایع است. از این رو شناسایی رفتار خاک در مواجهه با این مشکل و مدیریت آن امری ضروری می‌باشد. در همین راستا هدف از این پژوهش بررسی اثر سطوح مختلف نفت خام بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک و پارامترهای مدل ونگنوختن و همچنین شاخص S دکستر در دو خاک لوم-رسی و لوم‌شنی می‌باشد.

<sup>1</sup> Sand box

<sup>2</sup> Pressure plate

دهنده تخلخل متوسط<sup>2</sup> (Meso-p) و رطوبت حجمی باقی‌مانده در مکش ماتریک 100 سانتی‌متر نشان دهنده تخلخل ریز<sup>3</sup> (Micro-p) می‌باشد (صفادوست و همکاران، 1391). مقدار تخلخل کل خاک<sup>4</sup> (Total-p)، با صرف‌نظر از هوای محبوس در حین اشباع شدن، برابر با رطوبت خاک در حالت اشباع (مکش برابر با صفر مگاپاسکال) در نظر گرفته شد (کرکهام، 2005).

تجزیه آماری داده‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار SAS انجام شد و همچنین برای انجام مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان 95% استفاده شد.

### نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های نمونه- برداری شده در جدول 1 آورده شده است. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد هر دو خاک از نظر ویژگی‌های شیمیایی مانند میزان هدایت الکتریکی، ماده آلی و اسیدیته، تقریباً مشابه بودند.

اثر سطوح مختلف نفت خام در بافت‌های مختلف خاک و شدت آب‌گریزی آنها در جدول 2 آورده شده است. بر اساس طبقه‌بندی دکر و ریتسا (1994) دامنه آب‌گریزی خاک‌های مورد بررسی با سطوح مختلف از آلاینده نفتی از آبدوست (2 ثانیه) تا بی‌نهایت آب‌گریز (5640 ثانیه) تغییر کرد (جدول 2). نتایج نشان داد بیشترین تأثیر آلاینده‌های نفتی بر خاک لوم‌شنی در غلظت 1% مشاهده شد، که علت آن را می‌توان تأثیر بیش‌تر آب-گریزی در خاک‌های شنی به علت سطح ویژه کمتر آن نسبت به خاک رسی دانست، که با سهولت بیشتری توسط مواد آب‌گریز پوشش داده می‌شوند (دهیل و همکاران، 2009). آلاینده‌های هیدروکربنی به علت دارا بودن ترکیبات غیر قابل حل در آب مانند پوششی روی سطح ذرات خاک قرار گرفته و ورود آب به داخل خاک را مشکل می‌سازند (لیلامانی و همکاران، 2013).

اثر سطوح مختلف نفت خام بر منحنی مشخصه رطوبتی در دو خاک لوم‌رسی و لوم‌شنی در شکل 1 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود کاربرد سطوح مختلف نفت خام سبب تغییر در شکل منحنی مشخصه رطوبتی گردید.

تعادل در نمونه‌ها برای مکش‌های مورد نظر بسته به نوع بافت خاک و مکش مورد نظر از چند هفته (دستگاه جعبه شن) تا چند ماه (دستگاه صفحات فشاری) متغیر بود. شرط برقراری تعادل در نمونه‌ها توقف خروج آب از دستگاه بود. سپس منحنی مشخصه رطوبتی برای سه سطح غلظت در دو نوع بافت خاک با رسم رطوبت در مقابل مکش به دست آمد. پس از آن با استفاده از نرم‌افزار RETC، معادله ونگنوختن با فرض معلم بر داده‌ها برازش داده و مقادیر پارامترهای معادله برای هر یک از تیمارها به دست آمد. معادله ونگنوختن برای منحنی مشخصه رطوبتی خاک به صورت معادله (1) می‌باشد (ونگنوختن و همکاران، 1991):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (1)$$

که در آن  $\theta_s$ ،  $\theta_r$  و  $\theta$  به ترتیب مقادیر رطوبت اشباع ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )، رطوبت باقی‌مانده ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) و رطوبت خاک در مکش مورد نظر ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )،  $h$  مکش ماتریک (cm)،  $\alpha$  عکس مکش ورود هوا در منحنی مشخصه رطوبتی ( $\text{cm}^{-1}$ )،  $n$  و  $m$  به ترتیب پارامتر تجربی در ارتباط با توزیع اندازه منافذ و عدم تقارن منحنی (-) می‌باشد. پارامتر  $m$  با فرض معلم به صورت  $m = 1 - 1/n$  در نظر گرفته شد.

رطوبت نقطه عطف و شیب منحنی در نقطه عطف (شاخص S) با استفاده از پارامترهای بدست آمده از مدل ونگنوختن - معلم به ترتیب بر اساس روابط معادلات (2) و (3) محاسبه شد (دکستر، 2004):

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \left[ 1 + \frac{1}{m} \right]^{-m} + \theta_r \quad (2)$$

$$S = -n (\theta_s - \theta_r) \left[ 1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad (3)$$

برای تعیین توزیع اندازه منافذ از داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی خاک استفاده گردید. منافذ بزرگتر از 300 میکرون منافذ درشت، منافذ بین 30 تا 300 میکرون، منافذ متوسط و منافذ کوچکتر از 30 میکرون منافذ ریز نامیده می‌شوند (بیون و جرمن، 1982). بنابراین اختلاف رطوبتی حجمی در حالت اشباع با رطوبت حجمی در مکش ماتریک 10 سانتی‌متر (مکش نظیر اندازه منفذ 300 میکرون)، نشان دهنده تخلخل درشت<sup>1</sup> (Macro-p)، تفاوت رطوبت حجمی در مکش‌های ماتریک 10 و 100 سانتی‌متر (مکش نظیر اندازه منفذ 30 میکرون) نشان

<sup>2</sup> Mesoporosity

<sup>3</sup> Microporosity

<sup>4</sup> Total porosity

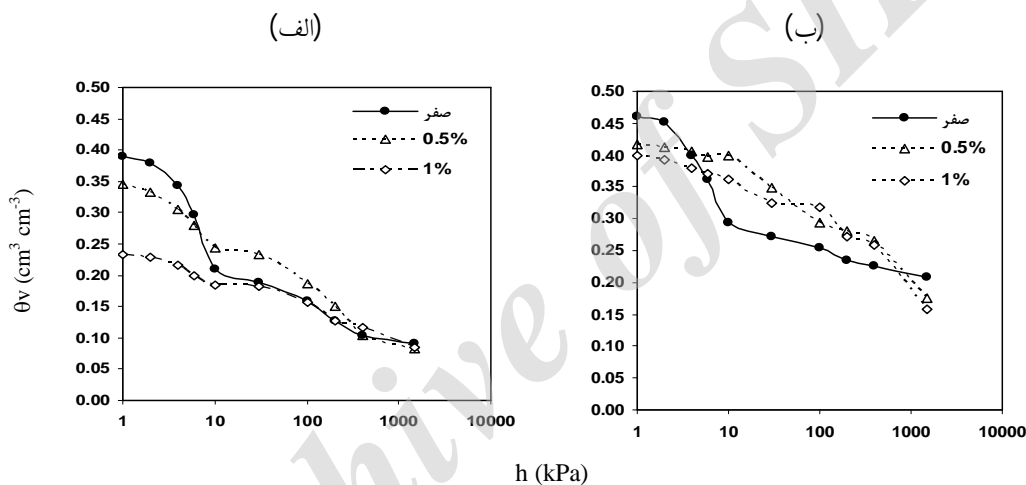
<sup>1</sup> Macroporosity

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

بافت خاک	رس	سیلت	شن	چگالی ظاهری	ماده آلی	هدایت الکتریکی	پ هاش
	%	%	%	g cm <sup>-3</sup>	%	dS m <sup>-1</sup>	-
لومرسی	31/72	36	32/28	1/4	1/33	0/38	7/33
لومشنی	17/34	15/26	67/4	1/6	1/16	0/30	7/27

جدول 2- وضعیت آبگریزی (ثانیه) خاک‌های مورد بررسی در سطوح مختلف آلودگی

بافت	سطح آلاینده (درصد وزنی)		
	صفر	0/5%	1%
لومرسی	2 (آبدوست)	120 (شدیداً آب‌گریز)	1500 (شدیداً آب‌گریز)
لومشنی	2 (آبدوست)	1680 (شدیداً آب‌گریز)	5640 (بی‌نهایت آب‌گریز)



شکل 1- اثر سطوح مختلف نفت خام بر منحنی مشخصه رطوبتی در دو خاک لوم شنی (الف) و لومرسی (ب)

شده و اثر نفت خام بر مقدار منافذ ریز روند مشخصی نداشت (جدول 4). اثر سطوح مختلف نفت خام بر منحنی مشخصه رطوبتی در خاک لومرسی نیز متفاوت بود (شکل 1- ب). استفاده از نفت خام سبب کاهش رطوبت نگهداری شده در مکش‌های صفر تا 4 کیلوپاسکال نسبت به شاهد گردید، ولی تیمارهای 0/5% و 1% تفاوت قابل- توجهی ایجاد نکردند؛ همچنین مشاهده می‌شود که میزان منافذ درشت و متوسط نیز کاهش یافته است (جدول 4). همانطور که در شکل 1- ب مشاهده می‌شود در فاصله مکش‌های 4 تا 400 کیلوپاسکال نفت خام سبب افزایش رطوبت نگهداری شده نسبت به شاهد گردید که احتمالاً به دلیل تغییر در توزیع اندازه منافذ، کاهش اندازه منافذ درشت به دلیل مسدود شدن آنها (مکگیل، 1976)، وجود آنیون‌های آلی موجود در نفت خام با نقش پراکنده‌ساز که دارای اثر تخریبی مانند سدیم می‌باشند و همچنین

منحنی رطوبتی در مکش‌های پایین بیشتر تحت تأثیر ساختمان خاک بوده و با افزایش مکش اثر بافت خاک بر منحنی رطوبتی غالب می‌شود (سیلرز و همکاران، 2001). شکل 1- الف نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر نفت خام در خاک لومشنی در سطح 1% و در مکش‌های پایین ایجاد گردید و سبب کاهش قابل توجه رطوبت نگهداری شده در مکش‌های صفر تا 10 کیلوپاسکال شد. همچنین مقدار منافذ درشت و متوسط که در برگرفته رطوبت در این دامنه مکش می‌باشند، نیز کاهش یافت (جدول 4). به طوری که افزایش 0/5 درصدی نفت خام سبب کاهش 40 درصدی منافذ درشت و 47 درصدی منافذ متوسط گردید (جدول 4). کاربرد 0/5% از نفت خام نیز سبب کاهش رطوبت در مکش‌های صفر تا 20 سانتی‌متر شد که نسبت به سطح 1% این تغییر کمتر بود. نتایج نشان داد که با افزایش مکش شکل منحنی تیمارهای مختلف نزدیک‌تر

در جدول 3 آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده اثر تیمارهای آزمایشی بر تخلخل کل خاک و منافذ متوسط و ریز معنی‌دار بود در حالی که تنها آلاینده نفتی بر منافذ درشت اثر معنی‌داری داشت. همچنین اثر برهمکنش تیمارها نیز تنها بر منافذ ریز و تخلخل کل معنی‌دار بود.

به علت افزایش مقدار مواد آلی در خاک باشد (الیس و آدمز، 1961). همچنین افزایش معنی‌دار منافذ ریز نیز در تیمارهای آلوده به نفت خام نسبت به شاهد، دلیلی بر افزایش مقدار رطوبت نگهداری شده در این دامنه مکش است (جدول 4).

نتایج تجزیه واریانس اثر بافت و آلاینده‌های هیدروکربنی را بر توزیع اندازه منافذ و تخلخل کل خاک

جدول 3- تجزیه واریانس اثر بافت خاک (T) و آلاینده هیدروکربنی (TPH) بر منافذ درشت (Macro-p)، منافذ متوسط (Meso-p)، منافذ ریز (Micro-p) و تخلخل کل خاک (Total-p)

نسبت F				درجه آزادی	منابع تغییرات
Total-p	Micro-p	Meso-P	Macro-p		
94/08 **	298 **	10/27 **	0/16	1	T
51/65 **	26/04 **	51/95 **	14/27**	2	TPH
10/24 *	10/36 *	4/07	0/91	2	T×TPH

\*\* و \* به ترتیب نشانه معنی‌دار بودن در سطوح آماری 1 و 5 درصد است.

در هر دو نوع بافت خاک نسبت به خاک شاهد کاهش پیدا کرد که سبب ایجاد تفاوت قابل‌توجهی بین تیمارها گردید. اما کاهش رطوبت اشباع در خاک لوم‌شنی نسبت به خاک لوم‌رسی بیشتر بود. که دلیل آن را می‌توان به تأثیرپذیری بیشتر خاک شنی به مواد آب‌گریز به علت سطح ویژه کمتر آن نسبت داد (نورمهند و همکاران، 1394). به طور کلی خاک لوم‌رسی با  $\theta_s$  برابر 0/43 ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ) نسبت به خاک لوم‌شنی با مقدار 0/34 ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ )<sup>3</sup> دارای رطوبت اشباع بیشتری بود (جدول 6). بیرامی و همکاران (1394) نشان دادند که افزایش آب‌گریزی ناشی از اسید استئاریک کاهش مقدار رطوبت اشباع و رطوبت باقی‌مانده و در نتیجه کاهش مقدار آب قابل دسترس گیاه را به دنبال داشته است.

اثرات آب‌گریزی بر  $\alpha$  در خاک لوم‌شنی از روند مشخصی تبعیت نکرد ولی در خاک لوم‌رسی با افزایش سطح آلاینده مقدار  $\alpha$  کاهش پیدا کرد. همچنین تفاوت معنی‌داری بین تیمارها در هیچ یک از بافت‌های خاک مشاهده نشد (جدول 6). از آنجا که  $\alpha$  متناسب با عکس مکش ورود هوا در نقطه عطف منحنی است، کاهش در آن نشان‌دهنده کاهش منافذ درشت و بیانگر این امر است که خاک‌های آب‌گریز نسبت به خاک‌های آب‌دوست تحت مکش ماتریک بیشتری شروع به آزاد کردن آب می‌کنند.

در جدول 4، مقایسه میانگین اثر بافت و آلاینده نفتی را بر تخلخل کل خاک و توزیع اندازه منافذ آورده شده است. نتایج نشان داد وجود مواد نفتی در هر دو نوع بافت خاک کاهش منافذ درشت و متوسط را به دنبال داشته است. اما منافذ ریز جز در تیمار 1% بافت لوم‌شنی که به صورت غیرمعنی‌داری کاهش پیدا کرده در باقی تیمارها افزایش را در پی داشته است. همان‌طور که در قسمت قبل بیان شد به دلیل نقش پراکنده ساز آنیون‌های آلی، نفت خام سبب کاهش منافذ درشت و افزایش منافذ ریز می‌شود. همچنین وجود مواد نفتی تخلخل کل خاک را در هر دو بافت به طور معنی‌داری کاهش داد. آبرد (2013) بیان داشت که وجود این مواد نفتی سبب کاهش منافذ درشت و تخلخل کل خاک می‌شوند. اوکرو و همکاران (2011) نیز بیان داشتند افزایش منافذ ریز در خاک‌های آلوده به مواد نفتی بیش‌تر از خاک‌های بدون آلودگی می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس اثر بافت و آلاینده نفتی بر پارامترهای مدل ونگنوختن در جدول 5 نشان داده شده است. بررسی‌ها نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر  $\theta_s$  و  $\theta_r$  معنی‌دار بود، در حالی که اثر بافت خاک بر  $\alpha$  و  $n$  و همچنین آلاینده‌های نفتی بر  $\alpha$  معنی‌دار نبود. همچنین اثر برهمکنش تیمارها بر  $\theta_s$  و  $\alpha$  معنی‌دار نبود.

در جدول 6، مقایسه میانگین اثر بافت و آلاینده نفتی بر پارامترهای مدل ونگنوختن نشان داده شده است. نتایج جدول 6 نشان داد که با افزایش مواد نفتی میزان  $\theta_s$  و  $\theta_r$

جدول 4- مقایسه میانگین اثر بافت (T) و آلاینده هیدروکربنی (TPH) بر منافذ درشت (Macro-p)، منافذ متوسط (Meso-p)، منافذ ریز (Micro-p) و تخلخل کل خاک (Total-p)

Total-p (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Micro-p (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Meso-p (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Macro-p (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	TPH	T
0/450 <sup>b</sup>	0/205 <sup>c</sup>	0/193 <sup>a</sup>	0/050 <sup>a</sup>	صفر	
0/385 <sup>c</sup>	0/245 <sup>d</sup>	0/109 <sup>b</sup>	0/033 <sup>b</sup>	0/5%	لوم‌شنی
0/270 <sup>d</sup>	0/185 <sup>e</sup>	0/051 <sup>c</sup>	0/033 <sup>b</sup>	1%	
0/500 <sup>a</sup>	0/305 <sup>c</sup>	0/169 <sup>a</sup>	0/045 <sup>ab</sup>	صفر	
0/470 <sup>ab</sup>	0/395 <sup>a</sup>	0/035 <sup>c</sup>	0/038 <sup>ab</sup>	0/5%	لوم‌رسی
0/430 <sup>b</sup>	0/365 <sup>b</sup>	0/030 <sup>c</sup>	0/031 <sup>b</sup>	1%	

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند در سطح آماری 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول 5- تجزیه واریانس اثر بافت (T) و آلاینده‌های هیدروکربنی (TPH) بر پارامترهای مدل ونگوختن (رطوبت اشباع (θ<sub>s</sub>))، رطوبت باقی‌مانده (θ<sub>r</sub>))، عکس مکش ورود هوا در نقطه عطف منحنی (α)، توزیع اندازه منافذ (n) برآورد شده با برنامه RETC

نسبت F				درجه آزادی	منابع دگرگونی
n	α	θ <sub>r</sub>	θ <sub>s</sub>		
0/77	3/60	9/55 *	39/60 **	1	T
72/07**	1/13	108/83**	36/90 **	2	TPH
7/31 *	1/73	9/55 *	3/81	2	T×TPH

\*\* و \* به ترتیب نشانه معنی‌دار بودن در سطوح آماری 1 و 5 درصد است

جدول 6- مقایسه میانگین اثر بافت (T) و آلاینده‌های هیدروکربنی (TPH) بر پارامترهای مدل ونگوختن (رطوبت اشباع (θ<sub>s</sub>))، رطوبت باقی‌مانده (θ<sub>r</sub>))، عکس مکش ورود هوا در نقطه عطف منحنی (α)، توزیع اندازه منافذ (n) برآورد شده با برنامه RETC

n (-)	α (cm <sup>-1</sup> )	θ <sub>r</sub> (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	θ <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	TPH	T
1/630 <sup>a</sup>	0/025 <sup>ab</sup>	0/095 <sup>b</sup>	0/415 <sup>a</sup>	صفر	
1/185 <sup>dc</sup>	0/054 <sup>a</sup>	0/00 <sup>c</sup>	0/375 <sup>b</sup>	0/5%	لوم‌شنی
1/170 <sup>dc</sup>	0/022 <sup>ab</sup>	0/00 <sup>c</sup>	0/235 <sup>c</sup>	1%	
1/480 <sup>b</sup>	0/030 <sup>ab</sup>	0/176 <sup>a</sup>	0/480 <sup>a</sup>	صفر	
1/145 <sup>d</sup>	0/007 <sup>ab</sup>	0/00 <sup>c</sup>	0/425 <sup>ab</sup>	0/5%	لوم‌رسی
1/285 <sup>c</sup>	0/001 <sup>b</sup>	0/00 <sup>c</sup>	0/375 <sup>b</sup>	1%	

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند در سطح آماری 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

احتمالاً قرار گرفتن مواد هیدروکربنی بر روی ذرات خاک و مابین آنها و همچنین افزایش منافذ ریز کاهش n را در خاک‌های آلوده به مواد نفتی به دنبال داشته است (نورمهنداد و همکاران، 1394).

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر شیب منحنی مشخصه رطوبتی در نقطه عطف (S)، مقدار رطوبت در نقطه عطف (θ<sub>FNL</sub>)، میزان آب قابل دسترس گیاه (AW)، رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائم<sup>1</sup> (PWP) در جدول 7 آورده شده است.

پارامتر n در مدل ونگوختن بیان‌گر شیب منحنی منحنی مشخصه رطوبتی خاک است؛ که بستگی به توزیع اندازه منافذ دارد و هرچه مقدار آن بزرگتر باشد به معنی یکنواختی در توزیع اندازه منافذ است. در این مطالعه مقدار n در تیمار شاهد در خاک لوم‌شنی با مقدار 1/63 نسبت به خاک لوم‌رسی با مقدار 1/48 به طور معنی‌داری بزرگ‌تر بود (جدول 6). مطالعات نشان داده است که مقدار شاخص n در خاک‌های با بافت سبک بیشتر می‌باشد و افزایش ذرات درشت‌دانه سبب افزایش آن می‌شود (نورمهنداد و همکاران، 1392، پرویسکا، 2006). اضافه کردن آلاینده نفتی در خاک‌ها سبب کاهش شاخص n با روندی غیر مشخص در هر دو نوع بافت خاک گردید.

<sup>1</sup> Permanent wilting point

جدول 7- تجزیه واریانس اثر بافت (T) و آلاینده‌های هیدروکربنی (TPH) بر آب قابل دسترس گیاه (AW)، رطوبت ظرفیت مزرعه (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP)، شیب منحنی در نقطه عطف (S) و مقدار رطوبت در نقطه عطف ( $\theta_{IFNL}$ )

نسبت F			درجه آزادی		منابع تغییرات
PWP	FC	AW	$\theta_{IFNL}$	S	
63/54 **	228/18 **	33/60**	38/00**	5/79	1 T
0/51	22/37 **	19/89 **	34/82 **	166/53 **	2 TPH
0/24	9/13 *	10/71 *	0/69	71/83 **	2 TPH×T

\*\* و \* به ترتیب نشانه معنی‌دار بودن در سطوح آماری 1 و 5 درصد است.

مکانیکی خاک می‌باشند؛ از این رو در تیمار 1% در خاک لوم‌شنی احتمالاً رشد ریشه و تولید محصول با محدودیت زیاد همراه می‌باشد.

در خاک لوم‌رسی نیز افزایش آلاینده نفتی سبب کاهش شاخص کیفیت فیزیکی خاک با شدت کمتر نسبت به خاک لوم‌شنی گردید. در واقع این سطح تیمار نفتی بکار رفته تأثیر زیادی بر کیفیت ساختمان خاک در بافت لوم‌رسی نداشت. نورمهند و طباطبائی (1392) اثر آب-گریزی ناشی از حرارت را بر شاخص S مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که ارتباط معنی‌داری بین افزایش شدت آب‌گریزی با کاهش شاخص S وجود دارد. با توجه به تأثیرپذیری زیاد شاخص S خاک از منافذ بین خاکدانه‌ها (رینولدز و همکاران، 2009) می‌توان بیان داشت که قرار گرفتن مواد نفتی در فضای بین خاکدانه‌ها به ویژه در خاک لوم‌شنی و وجود آنیون‌های آلی با اثر دیسپرس‌کنندگی (الیس و آدمز، 1961) سبب کاهش شدید شاخص S شده است.

اثر بافت خاک تنها بر شیب منحنی مشخصه رطوبتی در نقطه عطف معنی‌دار نبود، درحالی‌که اثر آلاینده نفتی جز بر نقطه پژمردگی دائم بر سایر پارامترها در سطح 1 درصد معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش تیمارهای آزمایشی به غیر از مقدار رطوبت در نقطه عطف و نقطه پژمردگی دائم بر سایر پارامترها معنی‌دار بود.

نتایج نشان داد که افزایش آلاینده نفتی سیر نزولی شاخص S را به همراه داشته است (جدول 8). به طوری که در خاک لوم‌شنی مقدار شاخص S از 0/08 (خاک شاهد) به 0/02 (تیمار 1%) کاهش پیدا کرد. با توجه به تقسیم‌بندی دکستر (2004) در ارتباط با شاخص S، تیمار شاهد در بافت لوم‌شنی از نظر کیفیت فیزیکی در دامنه خیلی خوب ( $S \geq 0/05$ )، تیمار 0/5% با مقدار  $S = 0/04$  در دامنه خوب ( $0/05 > S \geq 0/035$ ) و در تیمار 1% با مقدار  $S = 0/02$  در دامنه ضعیف ( $0/035 > S \geq 0/02$ ) قرار گرفت. دکستر (2004) بیان داشت خاک‌های دارای شاخص S در دامنه بین 0/02 تا 0/035 دارای محدودیت رشد ریشه به دلیل کاهش تهویه و افزایش مقاومت

جدول 8- مقایسه میانگین اثر بافت خاک (T) و آلاینده‌های هیدروکربنی (TPH) بر آب قابل دسترس گیاه (AW)، رطوبت ظرفیت مزرعه (FC)، شیب منحنی مشخصه رطوبتی در نقطه عطف (S) و رطوبت در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی ( $\theta_{IFNL}$ )

PWP ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	FC ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	AW ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$\theta_{IFNL}$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	S ( $\text{cm}^{-1}$ )	TPH	T
0/085 <sup>b</sup>	0/210 <sup>c</sup>	0/125 <sup>c</sup>	0/290 <sup>bc</sup>	0/088 <sup>a</sup>	صفر	
0/084 <sup>b</sup>	0/249 <sup>d</sup>	0/165 <sup>b</sup>	0/270 <sup>c</sup>	0/043 <sup>d</sup>	0/5%	لوم‌شنی
0/080 <sup>b</sup>	0/183 <sup>e</sup>	0/103 <sup>c</sup>	0/175 <sup>d</sup>	0/025 <sup>e</sup>	1%	
0/170 <sup>a</sup>	0/295 <sup>c</sup>	0/125 <sup>c</sup>	0/369 <sup>a</sup>	0/069 <sup>b</sup>	صفر	
0/180 <sup>a</sup>	0/401 <sup>a</sup>	0/221 <sup>a</sup>	0/322 <sup>ab</sup>	0/041 <sup>d</sup>	0/5%	لوم‌رسی
0/157 <sup>a</sup>	0/361 <sup>b</sup>	0/203 <sup>a</sup>	0/256 <sup>c</sup>	0/059 <sup>c</sup>	1%	

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند در سطح آماری 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد. به طور کلی مقدار رطوبت در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی در همه سطوح آلاینده نفتی در خاک لوم‌رسی بیشتر از خاک

افزایش آلاینده نفتی، میزان رطوبت در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی را در تمامی تیمارها در هر دو نوع بافت خاک نسبت به شاهد کاهش داد، به طوری‌که

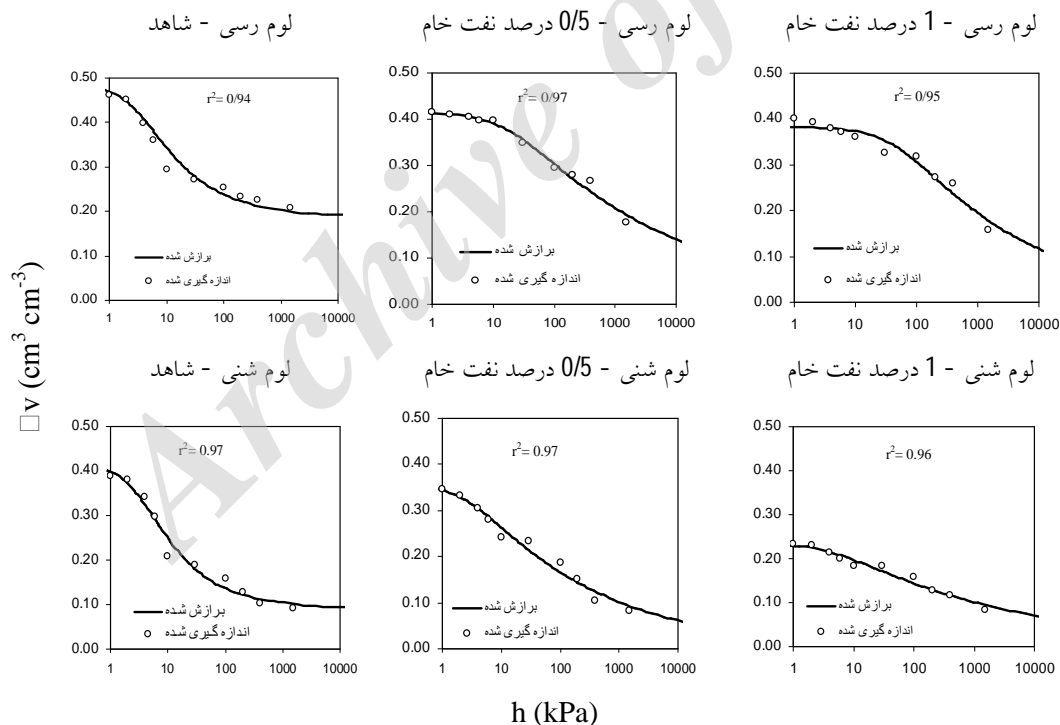


شده توسط آدمز و همکاران (2008) مطابقت داشت که با توجه به تأثیر بیشتر آب‌گریزی در خاک‌های شنی روند مشاهده شده قابل توجهی می‌باشد. همچنین تفاوت معنی‌داری بین مقادیرهای PWP تیمارها در هیچ‌یک از دو بافت خاک مشاهده نشد.

در شکل 2 برازش مدل ونگنوختن - معلم بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک‌ها با استفاده از توسط نرم‌افزار RETC نشان داده شده است. با توجه به شکل افزایش، مواد هیدروکربنی در هر دو نوع بافت سبب کاهش شیب منحنی مشخصه رطوبتی گردید که در خاک لوم‌شنی با میزان 1% آلاینده، کاهش شیب با شدت بیشتری مشاهده می‌شود. اما در خاک لومرسی اختلاف قابل‌توجهی بین تیمارهای 0/5 و 1 درصد مشاهده نگردید. در واقع وجود مواد نفتی با کاهش شاخص n سبب انتقال منحنی رطوبتی به سمت راست شده است. بر اساس مطالعات گزارش شده منحنی‌های با شیب ملایم دارای مقدار n کوچکتری می‌باشند (میناسنی و مک‌براونی، 2007).

لوم‌شنی بود. کمترین میزان رطوبت در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی در خاک لومی شنی در سطح تیمار 1% با مقدار 0/17 ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ) مشاهده شد که نشان دهنده کیفیت پایین این خاک با این سطح تیمار می‌باشد (جدول 8).

تأثیر آب‌گریزی ناشی از آلاینده‌های هیدروکربنی بر مقدار آب قابل دسترس گیاه (AWC) در هر دو نوع بافت خاک قابل توجه بود (جدول 8). آب قابل دسترس گیاه با افزایش آلاینده‌های نفتی در خاک لوم‌شنی در تیمار 0/5% افزایش و در تیمار 1% کاهش داشت؛ اما برخلاف خاک لوم‌شنی در خاک لومرسی میزان آب قابل دسترس نسبت به خاک شاهد افزایش قابل ملاحظه‌ای داشت. روند تغییرات برای رطوبت ظرفیت مزرعه نیز مشابه با آب قابل دسترس گیاه بود؛ بطوری‌که کمترین میزان FC، با مقدار 0/18 ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ) در خاک لوم‌شنی در تیمار 1% و بیشترین میزان FC، با مقدار 0/401 ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ) در خاک لومرسی در تیمار 0/5% مشاهده شد (جدول 8). کاهش در مقدار FC در تیمار 1% خاک لوم‌شنی با نتایج گزارش



شکل 2- برازش مدل ونگنوختن - معلم (خط) بر داده‌های مشاهده‌ای (نقاط) منحنی مشخصه رطوبتی خاک لوم‌رسی و خاک لوم‌شنی در تیمارهای مختلف

## نتیجه‌گیری

سطوح مختلف نفت خام سبب کاهش شاخص S به ویژه در خاک لوم‌شنی گردید که با توجه به طبقه‌بندی دکستر (2004) کاهش شاخص S نامطلوب شدن ساختمان خاک را از نظر تهویه و نفوذ ریشه به دنبال دارد. نتایج نشان داد که آلودگی نفت خام در خاک لوم‌رسی سبب افزایش میزان آب قابل دسترس و رطوبت در نقطه ظرفیت مزرعه گردید که برخلاف نتایج حاصل از خاک لوم‌شنی بود.

وجود مواد هیدروکربنی سبب ایجاد ویژگی آب‌گریزی در هر دو نوع بافت خاک لوم‌شنی و لوم‌رسی گردید اما تأثیر آن در بافت لوم‌شنی به علت سطح ویژه کمتر آن نسبت به خاک لوم‌رسی بیشتر مشاهده شد. همچنین آب-گریزی ناشی از آلاینده نفتی سبب کاهش پارامترهای مدل ونگنوختن - معلم، شامل  $\theta_s$ ،  $\theta_r$ ،  $n$  و  $\alpha$  گردید. کاربرد

## فهرست منابع:

1. بشارتی، ح. 1393. پالایش میکروبی خاک‌های آلوده به مواد نفتی و بررسی نقش رایزوسفر در کارایی ریز جانداران. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک). 28(3): 573-584.
2. بیرامی، ح، نیشابوری، م، عباسی، ف، ناظمی، ا.ح. 1394. تأثیر آب‌گریزی خاک بر منحنی نگهداری رطوبت و شاخص کیفیت فیزیکی شاخص (S) در دو خاک با بافت متفاوت. نشریه دانش آب و خاک. 25(4): 17-26.
3. بایرام، م، بهمنی، ا. 1394. تأثیر نوع خاک و وضعیت تراکم بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. 4(4): 65-78.
4. شهاب آرخالو، ح، امامی، ح، حق‌نیا، غ.ج، کریمی، ع. 1390. تعیین توزیع بهینه اندازه منافذ خاک با استفاده از شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک و بررسی عوامل موثر بر شاخص  $S_{gr}$  در جنوب شهر مشهد. مجله آب و خاک (علوم صنایع کشاورزی). 25(4): 881-891.
5. صفادوست، آ، م، م.ر، محبوبی، ع.ا، یوسفی، گ. 1391. اثر دوره‌های تر شدن/خشک شدن، انجماد/ذوب شدن و فعالیت کرم خاکی بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 26(2): 340-348.
6. فرزادیان، م، حاجتی، س، صیاد، غ.ع، عنایتی ضمیر، ن. (1394) استفاده از ژئولیت برای کاهش آب‌گریزی یک خاک آلوده به ترکیبات نفتی. مجله علوم آب و خاک. 19(72): 67-57.
7. کرمانپور، م، مصدقی، م.ر. 1393. ارزیابی آلودگی نفتی آب و خاک بر پایداری، شدت آب‌گریزی خاک و مدیریت آلاینده‌ها در منطقه بختیار دشت اصفهان. نشریه مدیریت خاک. 3(1): 43-51.
8. نورمهند، ن، طباطبائی، ح. 1392. اثرات آب‌گریزی ناشی از خاک‌های حرارت دیده شده بر روی شاخص کیفیت خاک. اولین کنفرانس بین‌المللی ایده‌های نو در کشاورزی. 5-6 تیر. دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان. اصفهان.
9. نورمهند، ن، طباطبائی، ح، نوری امامزاده‌ایی، م.ر، قربان دشتکی، ش، و هوشمند، ع.ر. 1392. تعیین منحنی رطوبتی و پارامترهای معادله ونگنوختن در خاک‌های آبدوست و آب‌گریز شده در اثر حرارت. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). 4(4): 574-582.
10. نورمهند، ن، طباطبائی، ح، نوری امامزاده‌ایی، م.ر، قربان دشتکی، ش، و هوشمند، ع.ر. 1394. تأثیر کاربرد لجن فاضلاب شهری بر آب‌گریزی و منحنی رطوبتی خاک. نشریه دانش آب و خاک. 25(3): 75-90.
11. Abosede, E.E. 2013. Effect of crude oil pollution on some soil physical properties. Journal of Agriculture and Veterinary Science. 6:14-17.
12. Adams, P., De-Leij, F.A.A.M., and Lynch, J.M. 2007. Trichoderma harzianum Rifai 1295-22 mediates growth promotion of crack willow (*Salix fragilis*) saplings in both clean and metal-contaminated soil. Microbial Ecology. 54: 306-313.

13. 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 & Technology*. 5: 445–454.
14. Bachmann, J., Rienk, R., and Ploeg, V. 2002. A review on recent developments in soil water retention theory; interfacial tension and temperature effects. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 165: 468–478.
15. Beven, K., and Germann, P. 1982. Macropores and water flow in soils”. *Water Resources Research*. 18: 1311–1325.
16. Botula, Y.D., Cornelis, W.M., Baert, G., and Van Ranst, E. 2012. Evaluation of pedotransfer functions for predicting water retention of soils in Lower Congo (DR Congo). *Agricultural Water Management*. 111: 1–10.
17. Dexter, A.R. 2004. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*. 120: 201–214.
18. Dekker, L.W., and Jungerius, P.D. 1990. Water repellency in the dunes with special reference to Netherlands. *Catena, Supplement*. 18: 173–183.
19. Dekker, L.W., and Ritsema, C.J. 1994. How water moves in a water repellent sandy soil: 1. Potential and actual water repellency. *Water Resources Research*. 30: 2507–2517.
20. Diehl, D., Ellerbrock, R.H., and Schaumann, G.E. 2009. Influence of drying conditions on wettability and DRIFT spectroscopic C–H band of soil samples. *European Journal of Soil Science*. 60: 557–566.
21. Doerr, S.H., and Thomas, A.D. 2000. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *Journal of Hydrology*. 231: 134–147.
22. Eibisch, N., Durner, W., Bechtold, M., Fuß, R., Mikutta, R., Woche, S.K., and Helfrich, M. 2015. Does water repellency of pyrochars and hydrochars counter their positive effects on soil hydraulic properties?. *Geoderma*. 245: 31–39.
23. Ellis, R., and Adams, R.S. (1961). Contamination of soils by petroleum hydrocarbons. *Advances in Agronomy*. 13:197-216.
24. Franco, C.M.M., Clarke, P.J., Tate, M.E., and Oades, J.M. 2000. Hydrophobic properties and chemical characterisation of natural water repellent materials in Australian sands. *Journal of Hydrology*. 231: 47–58.
25. Hyun, S., Ahn, M.Y., Zimmerman, AR., Kim, M., and Kim, J.G. 2008. Implication of hydraulic properties of bioremediated diesel-contaminated soil. *Chemosphere*. 71: 1646–1653.
26. Hubbert, K.R., Busse, M., Overby, S., Shestak, C., and Gerrard, R. 2015. Pile burning effects on soil water repellency, infiltration, and downslope water chemistry in the Lake Tahoe Basin, USA. *Fire Ecology*. 11: 100–118.
27. Karagunduz, A., Pennell, K.D., and Young, M.H. 2001. Influence of a nonionic surfactant on the water retention properties of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*. 65: 1392–1399.
28. Kirkham, M.B. 2005. Principles of soil and plant water relations. Elsevier Academic Press. 500 pp.
29. Leelamanie, D.A.L., Karube, J., and Samarawickrama, U.I. 2013. Stability analysis of aggregates in relation to the hydrophobicity of organic manure for Sri Lankan Red Yellow Podzolic soils. *Soil Science and Plant Nutrition*. 59: 683-691.
30. Magdalena, L. 2013. Water repellency and critical water content in hydrophobic soils in New Zealand. Master thesis, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna. Pp, 169.

31. Marín-García, D.C., Adams, R.H., and Hernández-Barajas, R. 2016. Effect of crude petroleum on water repellency in a clayey alluvial soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 13: 55-64.
32. Mc Gill, W.B. 1976. An introduction to field personnel on the effects of oil spill in soil and some general restoration and clean up procedures. Alberta Institute of Pedology. Edmonton. Alta. Canada.
33. Minasny, B., and McBratney, A.B. 2007. Estimating the water retention shape parameter from sand and clay content. *Soil Science Society of America Journal*. 71: 1105–1110.
34. Moore, D., Kostka, S., Boerth, T., Franklin, M., Ritsema, C., Dekker, L., and Wesseling, J. 2010. The effect of soil surfactants on soil hydrological behavior, the plant growth environment, irrigation efficiency and water conservation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 58: 142–148.
35. Okoro, D., Oviasogie, P.O., and Oviasogie, F.E. 2011. Soil quality assessment 33 months after crude oil spillage and clean-up. *Chemical Speciation & Bioavailability*. 23:1–6.
36. Porebska, D., Slawinski, C., Lamorski, K., and Walczak, R.T. 2006. Relationship between van Genuchten's parameters of the retention curve equation and physical properties of soil solid phase. *International Agrophysics*. 20: 153–159.
37. Rasiah, V., Voroney, R.P., Groenevelt, P.H., and Kachanoski, R.G. 1990. Modifications in soil water retention and hydraulic conductivity by an oily waste. *Soil Technology*.3: 367–372.
38. Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A., and Yang, X.M. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*. 152: 252–263.
39. Roy, J.L., and McGill, W.B. 2000. Investigation into mechanisms leading to the development, spread and persistence of soil water repellency following contamination by crude oil. *Canadian Journal of Soil Science*. 80: 595–606.
40. Sillers W.M., Fredlund D.G., and Zakerzadeh, N. 2001. Mathematical attributes of some soil-water characteristic curves models. *Geotechnical and Geological Engineering*. 19: 243–283.
41. Takawira, A., Gwenzi, W., and Nyamugafata, P. 2014. Does hydrocarbon contamination induce water repellency and changes in hydraulic properties in inherently wettable tropical sandy soils? *Geoderma*. 235: 279–289.
42. Van Genuchten, M.T., Leij, F.J., and Yates, S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. . Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, 91 p.

## Effects of Petroleum Contamination on Water Repellency and Water Characteristic Curve of Two Different Soil Textures

**E. Kamel, A. Safadoust<sup>1</sup>, and M. R. Mosaddeghi**

MSc. Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan;  
E-mail: elnaz\_kamel@yahoo.com

Assistant Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan,  
E-mail: safadoust@basu.ac.ir

Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan;  
E-mail: mosaddeghi@cc.iut.ac.ir

Received: July, 2016 and Accepted: January, 2018

### Abstract

Water repellency is one of the major problems of oil-contaminated soils and influences water redistribution via reduced infiltration, enhanced surface runoff and soil erosion, and preferential flow. The objectives of this study were to examine the effects of petroleum on water repellency and soil water content. Undisturbed samples were collected from sandy loam and clay loam textured soils and three levels of petroleum including 0, 0.5% and 1% (w/w) were added to the samples. The water drop penetration time (WDPT) test was used to measure the water repellency of soils. The soil water characteristic curve (SWCC) of the soil cores was measured using sandbox and pressure plate apparatus. The van Genuchten-Mualem model was fitted to the SWCC data and soil physical quality index (S) as defined by Dexter. Increment of petroleum increased the soil water repellency and sandy soils were most susceptible to water repellency due to low specific surface area. Petroleum contamination also changed soil pore size distribution, as the soil field capacity and available water content (AW) was increased due to development of soil microporosity. Although greater water repellency increased AW in the polluted samples, reduction in soil macroporosity could result in unfavorable condition for plant growth. Petroleum contamination affected the shape and slope of SWCC. Water retention in petroleum-contaminated soil of the two textures of sandy loam and clay loam was lower at low suction values due to decrease in macroporosity, while in clay loam soil it was higher at high suction values due to increase in microporosity. Petroleum significantly decreased the S index of both soil textures; but it was more severe in sandy loam texture. According to Dexter classification and results, water repellency due to petroleum decreased soil quality by reducing macro pores and S index (ranged between 0.02 to 0.035), which have unfavorable result for plant growth. Also, coarse textured soils could develop water repellency more readily.

**Keywords:** Pore size distribution, Dexter's index, Oil contamination, Soil quality index

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan