

اثر دوره‌های تر شدن/خشک شدن، انجماد/ذوب شدن و فعالیت کرم‌های خاکی بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک

آزاده صفادوست^{۱*} - محمدرضا مصدقی^۲ - علی اکبر محبوبی^۳ - گلایه یوسفی^۴

تاریخ دریافت: ۹۰/۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۱۳

چکیده

هدف این پژوهش بررسی اثر بالقوه تغییرات فیزیکی و بیولوژیکی شبیه‌سازی شده بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در ستون‌های خاک آماده شده می‌باشد. از دو خاک لومرسی و لوم‌شنی برای ستون‌های خاک دست‌خورده و بازساخته شده استفاده گردید. برای این منظور خاک نمونه‌برداری شده از ۸ کیلومتری عبور داده شد و در داخل ستون‌های بزرگ پر شد. در کل ۲۴ عدد ستون خاک آماده گردید که ۸ عدد از آنها به عنوان خاک دست‌خورده و بقیه (۱۶ عدد) در شرایط مزرعه تحت تأثیر دوره‌های تر شدن/خشک شدن و انجماد/ذوب شدن (تغییرات فیزیکی) قرار گرفتند. سپس ۸ عدد از ستون‌های مذکور تحت تأثیر فعالیت کرم‌های خاکی (تغییرات بیولوژیکی) قرار گرفتند. آزمایش‌ها در ۴ تکرار انجام شد. اعمال تیمارهای آزمایشی (میانگین تغییرات فیزیکی، بیولوژیکی و بافت خاک) در خاک‌های دست‌خورده، سبب کاهش چگالی ظاهری (۶/۵ درصد) و افزایش منافذ درشت (۳۹/۸ درصد)، منافذ متوسط (۳۲/۸ درصد)، منافذ ریز (۲۰/۰ درصد)، گنجایش زراعی (۲۸/۴ درصد)، نقطه پژمردگی (۷/۵ درصد)، مقدار آب فراهم (۴۳/۳ درصد) و همچنین رطوبت حجمی نظیر مکش ماتریک ۵ سانتی‌متر (۲۸/۱ درصد) در ستون‌های خاک گردید. همچنین افزایش بیشتر مقادیر در خاک لومرسی نسبت به خاک لوم‌شنی دیده شد که تأثیر مثبت رس در فرایند تشکیل منافذ و ساختمان خاک را تصدیق می‌کند. این تغییرات به معنی تأثیر دوره‌های تر و خشک شدن و انجماد و ذوب‌شدن در بازسازی ساختمان خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های هیدرولیکی، تغییرات فیزیکی، خاک بازساخته، تر و خشک شدن، یخ‌زدن و ذوب‌شدن

مقدمه

(۱۷ و ۱۵). برخی مطالعات نشان داده است که آماده کردن ستون‌های خاک به صورت پر کردن و به دنبال آن هوادیدگی ستون‌های خاک (انجماد و ذوب شدن، تر و خشک شدن و فعالیت بیولوژیکی) باعث بوجود آمدن ساختمان طبیعی خاک در ستون‌ها خواهد شد (۱۷ و ۱۵). ویژگی‌های هیدرولیکی خاک شامل رابطه بین مقدار رطوبت و مکش ماتریک خاک، و رابطه بین هدایت هیدرولیکی و مقدار رطوبت یا مکش ماتریک است؛ که اهمیت و کاربردهای زیادی در فیزیک خاک دارند. برای مثال در تعیین آب قابل استفاده خاک، برای بدست آوردن توزیع اندازه منافذ خاک و در مدل‌سازی حرکت آب در خاک از این ویژگی‌ها استفاده می‌شود (۱۱ و ۱۸). رابطه بین مقدار رطوبت و پتانسیل یا مکش ماتریک خاک به منحنی مشخصه رطوبتی خاک مشهور است، چرا که برای هر خاک با ویژگی‌های مشخص (توزیع اندازه منافذ)، منحصر به فرد می‌باشد. این منحنی بیان‌کننده توزیع اندازه منافذ خاک و چگونگی نگهداری آب در مکش‌های ماتریک مختلف است (۱۸).

خاک تحت شرایط غیراشباع دارای هدایت هیدرولیکی کمتری در

ساختمان خاک یک ویژگی فیزیکی مهم است که به شکل، اندازه و پراکنش ذرات جامد و منافذ خاک بستگی داشته و با مجموعه‌ای از برهم‌کنش‌های فیزیکی، بیولوژیکی و کانی‌شناسی همراه می‌باشد. پیامد پیدایش ساختمان خاک، ایجاد منافذ درشت در خاک است (۱۲). شرایط اقلیمی یکی از عوامل مهم در شکل‌گیری ساختمان خاک شناخته شده است. تحقیقات نشان داده است که در طی دوره‌های تر و خشک شدن و یخ‌زدن و ذوب شدن، منافذ خاک با آب پر می‌شوند و بطور تغییر ناپذیر دوباره چیده و آراسته می‌گردند. بنابراین دوره‌های تر و خشک شدن می‌توانند مقاومت خاک، چسبندگی ذرات، اندازه و مقاومت مکانیکی خاکدانه‌ها و اندازه منافذ را تحت تأثیر قرار دهند

۱، ۳ و ۴ - به ترتیب استادیار، استاد و کارشناس ارشد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

(Email: safadoust@basu.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

۲ - دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

انتقال ستون‌های کوچک خاک به آزمایشگاه، ابتدا جرم مخصوص ظاهری هر لایه تعیین گردید تا برای بازسازی ستون‌های اصلی آزمایشی مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که بین میزان جرم مخصوص ظاهری لایه‌های متفاوت، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، از مقدار متوسط $1/36 \text{ Mgm}^{-3}$ برای خاک لومرسی و $1/55 \text{ Mgm}^{-3}$ برای خاک لوم‌شنی در لایه صفر تا ۴۵ سانتی‌متر استفاده شد. سپس خاک هر یک از ستون‌های کوچک از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شد (برای جدا کردن سنگ‌های درشت، شکستن کلوخه‌ها و خارج کردن ریشه‌ها و بقایای گیاهی) و به ترتیب عمق از پایین به بالا (برای حفظ لایه‌بندی خاک در شرایط طبیعی) در استوانه‌هایی از جنس PVC با قطر ۲۴ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر ریخته شد. سطح پایینی این ستون‌ها توسط یک توری محکم بسته شد تا از ریزش خاک جلوگیری شود. بدین ترتیب ستون‌های خاک دست‌خورده (در کل ۲۴ ستون خاک) آماده گردید. تعداد ۱۶ عدد از این ستون‌ها در آخر فصل پاییز به منظور انجام تیمارهای فیزیکی شامل فرآیندهای تر و خشک شدن و انجماد و ذوب شدن به مدت ۹ ماه در شرایط طبیعی قرار گرفتند (ستون‌های خاک هوادیده فیزیکی). در ادامه تعداد ۸ عدد از این ستون‌ها به گلخانه (مکانی که دما و رطوبت آن قابل کنترل بود) انتقال داده شد و بر روی هر کدام از آنها بر مبنای ۱۰۰ مترمکعب در هکتار ورمی‌کمپوست (معادل عمق ۱ سانتی‌متر ورمی‌کمپوست بر روی ستون‌ها) اضافه گردید. سپس ۲۰ عدد کرم خاکی بالغ بر روی هر ستون رها شد و برای ایجاد تیمار بیولوژیکی، به مدت ۳ ماه متوالی در گلخانه نگهداری شدند (خاک هوادیده فیزیکی + هوادیده بیولوژیکی). بنابراین ستون‌های خاک آماده شده شامل خاک دست‌خورده لومرسی (CL-R) و لوم‌شنی (SL-R)، خاک تحت تأثیر تیمار فیزیکی لوم-رسی (CL-W) و لوم‌شنی (SL-W) و خاک تحت تأثیر تیمار فیزیکی + بیولوژیکی لومرسی (CL-C) و لوم‌شنی (SL-C) بودند و هر تیمار ۴ بار تکرار گردید.

در این پژوهش، با استفاده از دستگاه نفوذسنج مکشی، نفوذ آب به خاک در مکش ماتریک ۵ سانتی‌متر، در ستون‌های خاک تیمار شده اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی، با استفاده از سیلندرهای کوچک (ارتفاع ۷/۵ سانتی‌متر و قطر ۵/۱ سانتی‌متر) از داخل ستون‌های خاک تیمار شده، نمونه‌برداری شد. سپس جرم مخصوص ظاهری به روش بلک (۲) و هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار آبی ثابت (۱۴) اندازه‌گیری شد. منحنی مشخصه رطوبتی (SWC) با استفاده از دستگاه‌های جعبه شن برای مکش‌های پایین‌تر از ۱۰۰ سانتی‌متر (۳) و صفحات فشاری برای مکش‌های ۱۰۰ تا ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر (۱۳) تعیین گردید، و با استفاده از مدل ون‌گنوختن (۲۱) با فرض معلم (۱۶) توسط نرم‌افزار RETC مدل‌سازی شد و پارامترهای آن بدست آمد:

مقایسه با شرایط اشباع می‌باشد. کنترل مکش ماتریک و شدت جریان، به ویژه تحت شرایط غیراشباع، دشوار می‌باشد؛ در حالی که با استفاده از دستگاه نفوذسنج مکشی، شرایط اشباع (پتانسیل صفر) و غیراشباع (تا پتانسیل ماتریک ۲۰- سانتی‌متر) را می‌توان بر سطح خاک اعمال کرده و در طول آزمایش، مکش ماتریک مرز ورودی را کنترل کرد (۴).

اطلاع از ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در فرآیندهای حرکت آب در خاک و مدل‌سازی فرآیندهای فیزیکی دارای اهمیت می‌باشد. هدف این پژوهش مطالعه و مقایسه ویژگی‌های هیدرولیکی در ستون‌های خاک بازسازی شده می‌باشد. در این مطالعه تأثیر تغییرات فیزیکی و همچنین تغییرات فیزیکی همراه با بیولوژیکی، شامل تر و خشک شدن و انجماد و ذوب شدن و فعالیت بیولوژیکی شبیه‌سازی شده (اضافه کردن ورمی‌کمپوست و کرم خاکی بر روی نمونه‌ها) به منظور بررسی اثر هر کدام از این فرآیندها بر تشکیل مجدد ساختمان خاک و شکل‌گیری منافذ و اثر آنها بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مورد بررسی قرار گرفت. در واقع در خاک‌های زراعی نیز معمولاً خاک‌ورزی پاییزه موجب تغییرات در ساختمان خاک می‌گردد که پس از گذشت فصل زمستان که خاک تحت تر و خشک شدن، یخ‌زدن و ذوب شدن متوالی قرار می‌گیرد، دارای ساختمان جدیدی می‌گردد. آگاهی از ویژگی‌های هیدرولیکی و چگونگی حرکت آب در ستون‌های خاک بازسازی شده ما را در نحوه استفاده از کودهای شیمیایی، آفت-کش‌ها و کودهای حیوانی یاری خواهد کرد تا با مدیریت متکی بر دانش، خطر آلودگی منابع آبی کاهش یابد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی ستون‌های خاک (۲۴ سانتی‌متر قطر داخلی و ۴۵ سانتی‌متر ارتفاع) دست‌خورده (R)، تحت تأثیر تیمار فیزیکی (W) و تحت تأثیر تیمار فیزیکی + بیولوژیکی (C) از دو نوع خاک با بافت-های لوم‌شنی (SL) و لومرسی (CL) انجام شد. نمونه‌برداری از زمین‌های کشاورزی واقع در استان همدان از مناطق ازندریان (خاک لوم‌شنی) و گاوخونی (خاک لومرسی) ملایر صورت گرفت. برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است. بافت خاک به روش هیدرومتر (۸)، مقدار ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (۲۲) و مقدار کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی با NaOH (۱۹) اندازه‌گیری شدند.

نمونه‌برداری از خاک زمین‌های کشاورزی با استفاده از ۵ ستون کوچک به قطر ۲۴ سانتی‌متر که به ترتیب از بالا به پایین دارای ارتفاع ۱۰، ۱۰، ۱۰، ۱۰ و ۵ سانتی‌متر بودند، به صورت دست‌نخورده انجام شد. در واقع ستون‌های کوچک‌تر طوری نمونه‌برداری شدند که به خاکدانه‌های موجود در خاک کم‌ترین تخریب وارد شود. پس از

بیولوژیکی) در نظر گرفته شد. متغیرهای مورد بررسی منافذ درشت (Macro-P)، منافذ متوسط (Meso-P)، منافذ ریز (Micro-P)، گنجایش زراعی (FC)، نقطه پژمردگی (PWP)، مقدار آب فراهم (AWC) و رطوبت حجمی نظیر مکش ماتریک ۵ سانتی‌متر (θ_5) بودند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD انجام گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است. از آنجا که میزان رس، ماده آلی و کربنات کلسیم از ویژگی‌های موثر در شکل‌گیری منافذ (تشکیل ساختمان خاک) و جذب و نگهداری آب خاک می‌باشند، در انتخاب مکان‌های نمونه‌برداری سعی گردید تا حد امکان ویژگی‌های ذکر شده در نیم‌رخ خاک یکسان باشند و تنها بافت خاک (بین دو منطقه) تفاوت چشم‌گیر داشته باشد تا بتوان از اثر آنها در لایه‌های مختلف خاک چشم‌پوشی کرد.

بافت، تیمارهای فیزیکی و بیولوژیکی خاک و برهم‌کنش آنها، اثرات معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری، منافذ درشت، منافذ متوسط، منافذ ریز، گنجایش زراعی، نقطه پژمردگی، مقدار آب فراهم و رطوبت حجمی نظیر مکش ماتریک ۵ سانتی‌متر در سطح آماری ۱ درصد، داشتند (جدول مربوطه آورده نشده است). در جدول ۲ مقایسه میانگین اثر تیمارهای بافت و تغییرات اعمال شده بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک در عمق ۰ تا ۴۵ سانتی‌متری، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اعمال تغییرات فیزیکی در خاک-های دست‌خورده، سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری (ρ_b) به میزان ۵ و ۳ درصد به ترتیب در خاک‌های لومرسی و لوم‌شنی و افزایش رطوبت نظیر مکش ماتریک ۵ سانتی‌متر (θ_5) به میزان ۳۶ و ۱۴ درصد به ترتیب در خاک‌های لومرسی و لوم‌شنی گردیده است.

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

در این رابطه θ ، رطوبت حجمی خاک [$L^3 L^{-3}$]; θ_r ، رطوبت باقی‌مانده خاک [$L^3 L^{-3}$]; θ_s ، رطوبت اشباع خاک [$L^3 L^{-3}$]; α ، برابر عکس مکش ماتریک در نقطه ورود هوا [L^{-1}] و n پارامتری می‌باشد که بستگی به توزیع اندازه منافذ دارد [-].

برای تعیین توزیع اندازه منافذ از داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی خاک استفاده گردید. از نظر تعریف، منافذ بزرگ‌تر از ۳۰۰ میکرون، منافذ درشت، منافذ بین ۳۰ تا ۳۰۰ میکرون، منافذ متوسط، و منافذ کوچک‌تر از ۳۰ میکرون منافذ ریز نامیده می‌شوند. بنابراین اختلاف رطوبت حجمی در حالت اشباع با رطوبت حجمی در مکش ماتریک ۱۰ سانتی‌متر (مکش نظیر اندازه منفذ ۳۰۰ میکرون)، نشان‌دهنده تخلخل درشت (Macro-p)، تفاوت رطوبت حجمی در مکش-های ماتریک ۱۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر (مکش نظیر اندازه منفذ ۳۰ میکرون) نشان‌دهنده تخلخل متوسط (Meso-p) و رطوبت حجمی باقی‌مانده در مکش ماتریک ۱۰۰ سانتی‌متر نشان‌دهنده تخلخل ریز (Micro-p) می‌باشند (۲).

برای محاسبه گنجایش زراعی (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) و مقدار آب قابل استفاده (AWC) نیز از داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی خاک استفاده گردید. بدین صورت که مقدار رطوبت خاک در مکش‌های ماتریک ۳۰۰ و ۱۵۰۰ سانتی‌متر به ترتیب برابر FC و PWP در نظر گرفته شد و مقدار آب قابل استفاده با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$AWC = FC - PWP \quad (2)$$

طرح آماری مورد استفاده در این پژوهش، آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار بود. بافت خاک به عنوان فاکتور اول (لوم‌شنی و لومرسی) و تیمارهای اعمال شده به خاک به عنوان فاکتور دوم (خاک دست‌خورده، خاک تحت تأثیر تیمار فیزیکی و خاک تحت تأثیر تیمار فیزیکی +

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

خاک	عمق cm	شن %	سیلت %	رس %	کربنات کلسیم %	ماده آلی
لوم‌شنی (Sandy loam)	۰-۱۵	۷۸/۲	۸/۳	۱۳/۵	۴/۲	۰/۸۹
	۱۵-۳۰	۷۴/۷	۹/۵	۱۵/۸	۴/۴	۰/۸۲
	۳۰-۴۵	۷۲/۵	۹/۶	۱۷/۹	۵/۵	۰/۸۰
لومرسی (Clay loam)	۰-۱۵	۴۳/۵	۲۹/۷	۲۶/۸	۵/۵	۱/۱۲
	۱۵-۳۰	۴۰/۰	۳۱/۱	۲۸/۹	۵/۳	۰/۹۵
	۳۰-۴۵	۳۹/۵	۳۲/۲	۲۸/۳	۵/۵	۰/۸۵

علت افزایش بیشتر مقادیر در خاک لومرسی نسبت به خاک لومشنی، تأثیر مثبت رس در فرآیند تشکیل منافذ و ساختمان خاک می‌باشد (۲۰). به طوریکه با افزایش مقدار رس، خاک توانایی انقباض و انبساط بیشتری داشته و در حین تر و خشک شدن به علت انقباض و انبساط زیاد، احتمالاً درز و ترک‌های بیشتری در خاک ایجاد شده است. مقدار بیشتر رطوبت FC و AWC در خاک‌های آماده شده به ویژه لومرسی، دلیلی بر صحت نتایج ذکر شده می‌باشد. همچنین در خاک لومرسی، تیمارهای اعمال شده سبب افزایش بیشتر مقدار رطوبت خاک در PWP نسبت به خاک لومشنی گردید (جدول ۲). مطالعات نشان داده است که با افزایش مقدار رس، قدرت نگهداری آب خاک به ویژه در مکش‌های بالا زیاد می‌شود (۴).

شکل ۱ رطوبت خاک را در تیمارهای مختلف تحت دامنه مکش از صفر سانتی‌متر (اشباع) تا ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. به طور کلی با اعمال تغییرات بیولوژیکی به دنبال فیزیکی، قدرت نگهداری رطوبت خاک افزایش یافته است. علت این افزایش، پیدایش خاکدانه‌ها و افزایش اندازه خلل و فرج خاک می‌باشد (۶). در مقایسه هر یک از تیمارهای R، W، C و خاک لومرسی دارای رطوبت بیشتری نسبت به خاک لومشنی در تمامی مکش‌های اندازه‌گیری شده بود؛ که این امر نشان دهنده تأثیر مثبت رس در بهبود ساختمان خاک و شکل‌گیری منافذ می‌باشد (۲۰). در مکش‌های کم، منحنی رطوبتی خاک تحت تأثیر خلل و فرج و ساختمان خاک می‌باشد، و در مکش‌های زیاد تحت تأثیر جذب سطحی آب توسط ذرات خاک است (۴).

این تغییرات به معنی تأثیر دوره‌های تر و خشک شدن و یخ‌زدن و ذوب‌شدن در بازسازی ساختمان خاک می‌باشد. به این صورت که یخ‌زدن تدریجی آب در منافذ باعث فشرده شدن ذرات خاک و نزدیک شدن آنها به یکدیگر و در نتیجه تشکیل خاکدانه و ایجاد منافذ درشت شده است. تغییرات بیولوژیکی به دنبال تغییرات فیزیکی و حرکت کرم‌های خاکی، باعث به وجود آمدن کانال‌ها و منافذ درشت‌تر در خاک گردیده است. در ضمن آمیخته شدن کمپوست با خاک و مواد ترشح شده حاصل از فعالیت کرم‌های خاکی نیز باعث افزایش تشکیل خاکدانه در این ستون‌ها شده است. به طوریکه تغییرات فیزیکی+بیولوژیکی سبب کاهش چگالی ظاهری (ρ_b) به میزان ۹ و ۷ درصد به ترتیب در خاک‌های لومرسی و لومشنی و افزایش رطوبت نظیر مکش ماتریک ۵ سانتی‌متر (θ_5) به میزان ۸۲ و ۳۷ درصد به ترتیب در خاک‌های لومرسی و لومشنی نسبت به خاک‌های دست‌خورده گردیده است.

تیمارهای اعمال شده سبب افزایش منافذ درشت، منافذ متوسط و منافذ ریز به صورت $C > W > R$ گردید. بطوریکه نسبت منافذ درشت در خاک لومرسی ۱ : ۱/۵۷ : ۲/۱۴ و در خاک لومشنی ۱ : ۱/۴۰ : ۱/۷۰، به ترتیب برای $C : W : R$ بود. تأثیر تیمارها بر منافذ متوسط به صورت $C > W > R$ با مقادیر $0/112 > 0/131 > 0/193$ برای خاک لومرسی و $0/082 > 0/092 > 0/094$ برای خاک لومشنی بود. همچنین تغییرات فیزیکی و فیزیکی+بیولوژیکی نسبت به خاک‌های دست‌خورده به ترتیب سبب افزایش ۵۰ و ۵۹ درصد منافذ ریز در خاک لومرسی و ۳۷ و ۵۲ درصد در خاک لومشنی شدند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین^۱ اثر بافت خاک و تیمارهای فیزیکی و بیولوژیکی بر جرم مخصوص ظاهری (ρ_b)، منافذ درشت (Macro-P)، منافذ متوسط (Meso-P)، منافذ ریز (Micro-P)، گنجایش زراعی (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP)، مقدار آب قابل استفاده (AWC) و رطوبت حجمی

نظیر مکش ماتریک ۵ سانتی‌متر (θ_5)^۲

θ_5	AWC	PWP	FC	Micro-P	Meso-P	Macro-P	ρ_b	تیمار
	cm ³ cm ⁻³						Mgm ⁻³	
۰/۲۸۰ ^f	۰/۰۷۳ ^f	۰/۰۷۱ ^f	۰/۱۴۲ ^f	۰/۱۵۳ ^f	۰/۰۸۲ ^f	۰/۰۶۰ ^f	۱/۵۵ ^a	SL-R
۰/۳۱۰ ^e	۰/۰۸۱ ^e	۰/۰۹۰ ^c	۰/۱۷۳ ^e	۰/۱۸۴ ^e	۰/۱۱۲ ^c	۰/۰۷۲ ^e	۱/۳۶ ^d	CL-R
۰/۳۲۵ ^d	۰/۱۱۴ ^d	۰/۰۷۳ ^e	۰/۱۸۱ ^d	۰/۲۱۰ ^d	۰/۰۹۲ ^e	۰/۰۸۴ ^d	۱/۵۰ ^b	SL-W
۰/۴۲۳ ^b	۰/۱۵۳ ^b	۰/۱۰۲ ^a	۰/۲۵۰ ^b	۰/۲۷۴ ^b	۰/۱۳۱ ^b	۰/۱۱۳ ^b	۱/۳۰ ^e	CL-W
۰/۳۸۳ ^c	۰/۱۲۱ ^c	۰/۰۸۲ ^d	۰/۲۰۱ ^c	۰/۲۳۳ ^c	۰/۰۹۴ ^d	۰/۱۰۲ ^c	۱/۴۲ ^c	SL-C
۰/۵۶۳ ^a	۰/۱۶۳ ^a	۰/۰۹۲ ^b	۰/۲۵۴ ^a	۰/۲۹۲ ^a	۰/۱۹۳ ^a	۰/۱۵۴ ^a	۱/۲۵ ^f	CL-C

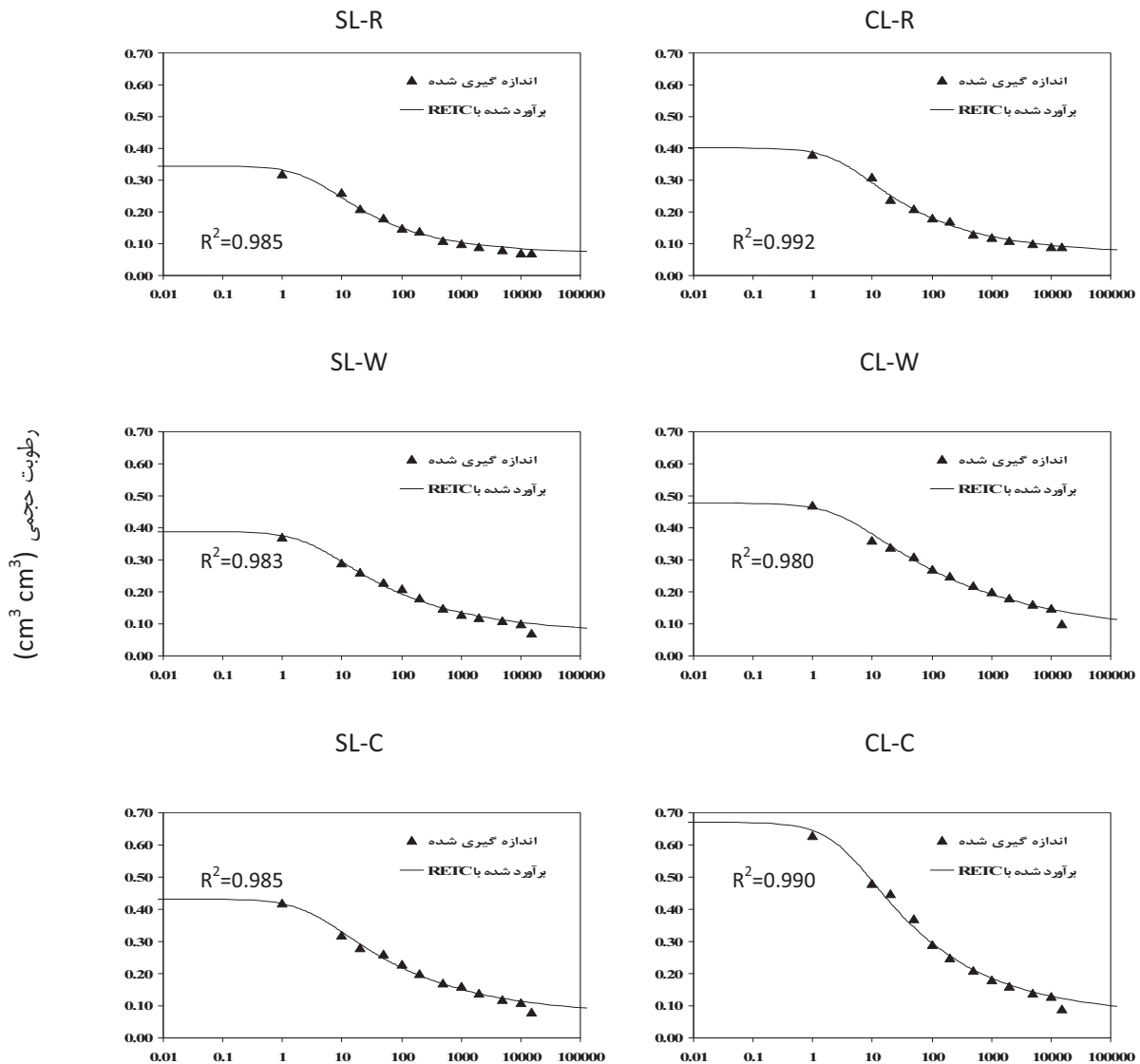
۱- در هر ستون و در هر گروه، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

۲- با توجه به اینکه تغییرات پارامترهای فیزیکی اندازه‌گیری شده در لایه ۰ تا ۴۵ سانتی‌متر معنی‌دار نبود ($P < 0/05$)، مقادیر میانگین پارامترها در لایه ۰ تا ۴۵ سانتی‌متر ذکر شده است.

بنابراین در هر یک از تیمارهای بافت خاک (خاک لومرسی و خاک لومسنی) تیمارهای اعمال شده باعث تشکیل خاکدانه و ایجاد خلل و فرج بیشتر و افزایش میزان رطوبت نگهداری شده در مکش‌های کم گردیده است، در حالی که در مکش‌های بالا، چون افزایش رطوبت خاک بیشتر به دلیل افزایش سطوح جذب آب می‌باشد، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین مقدار رطوبت نگهداری شده مشاهده نمی‌شود.

یکی از متداول‌ترین مدل‌ها برای تخمین منحنی رطوبتی خاک، مدل ون گنوختن (۲۱) با فرض معلم (۱۶) می‌باشد که یک مدل سه

پارامتری بوده و برای مدل‌سازی تمامی دامنه مکش ماتریک خاک به کار می‌رود. این مدل به دلیل سادگی و پارامترهای کمتر، یکی از مدل‌هایی می‌باشد که در خاکشناسی کاربرد زیادی داشته و برازش خوبی بر داده‌های خاک‌ها دارد. در شکل ۱ داده‌های منحنی رطوبتی خاک و منحنی برازش یافته توسط برنامه RETC نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نرم‌افزار RETC برازش مناسبی برای خاک‌های تحت تیمارهای آزمایشی داشت.



لگاریتم مکش ماتریک (cm)

شکل ۱- داده‌های منحنی مشخص رطوبتی اندازه‌گیری شده (نقاط) در برابر لگاریتم مکش ماتریک و منحنی برآورد شده (خط) توسط برنامه ERTC در تیمارهای مختلف

گسترده‌ای از منافذ در خاک، مقدار n کاهش یافته است. همچنین در مقایسه بافت‌های خاک، خاک لومرسی دارای n کوچک‌تری نسبت به خاک لوم‌شنی می‌باشند. سیلرز و همکاران (۱۸) نیز مقدار n کوچک‌تری را برای خاک‌های رسی گزارش کردند.

ایجاد منافذ درشت و پیوسته به علت فرایندهای تر و خشک شدن و یخ‌زدن و ذوب شدن و حرکت کرم‌های خاکی، سبب افزایش ناگهانی سرعت حرکت آب و به وجود آمدن جریان ترجیحی گردید. به طوریکه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s)، در خاک‌های C به میزان ۵/۸۹ برابر و در خاک‌های W به میزان ۲/۱۸ برابر بیشتر از خاک‌های دست‌خورده به دست آمد (جدول ۳). بنابراین در این ستون‌های خاک، جریان به صورت ناپایدار می‌باشد و همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود، بین مقدار اندازه‌گیری شده با مقدار برآورد شده اختلاف زیادی وجود داشت و برازش مدل به خوبی صورت نگرفت. فلوری و همکاران (۴) جریان ترجیحی را به عنوان فرآیندی که آب و محلول‌ها را در مسیرهای معین با سرعت زیاد حرکت می‌دهند، تعریف کردند.

جریان‌های ترجیحی بدون استثنا در اکثر خاک‌های ساختمان‌دار ایجاد می‌شوند (۷). بجات و همکاران (۱) وجود جریان ترجیحی را از دلایل عدم موفقیت مدل‌ها در پیش‌بینی سرنوشت آلاینده‌ها گزارش کردند.

در جدول ۳ مقادیر برآورد شده پارامترهای هیدرولیکی خاک با استفاده از برنامه RETC و اندازه‌گیری شده به روش آزمایشگاهی آورده شده است. مقدار رطوبت اشباع (θ_s) در همه تیمارهای آزمایشی به خوبی برآورد شد. ولی مقدار رطوبت باقی‌مانده (θ_r) برآورد شده در تمامی تیمارها به جز تیمارهای SL-R و CL-R از مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده در مکش ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر بیشتر بود. گرونولت و گرنت (۱۰) معتقدند که در نظر گرفتن θ_r در مدل‌های منحنی مشخصه رطوبتی درست نمی‌باشد. چون اگرچه با افزایش مکش ماتریک، تغییرات مقدار رطوبت خاک کاهش می‌یابد ولی هیچ‌گاه در شرایط واقعی منحنی تغییرات مقدار رطوبت به صورت مجانب با محور مکش ماتریک در نمی‌آید.

پارامتر α اثری بر شکل منحنی رطوبتی خاک ندارد و تنها سبب جابجایی کل منحنی در امتداد مکش ماتریک می‌شود. در مقایسه دو بافت خاک (خاک لوم‌شنی و خاک لومرسی)، همان‌طور که دیده می‌شود، مقدار α در هر یک از تیمار W, R, C در خاک‌های رسی کوچک‌تر از خاک‌های شنی می‌باشد. در واقع در خاک‌های رسی نیروهای موئینه غالب بوده و α کوچک است در حالی که در خاک‌های شنی به دلیل ناچیز بودن نیروهای موئینه‌ای، مقدار α بزرگ است (۱۸).

پارامتر n بستگی به توزیع اندازه منافذ دارد و هرچه منافذ یکنواخت‌تر باشند، پارامتر n بزرگ‌تر است (۱۸). همان‌طور که دیده می‌شود با تشکیل ساختمان خاک طی اعمال تیمارها و ایجاد توزیع

جدول ۳- پارامترهای هیدرولیکی خاک شامل رطوبت اشباع خاک (θ_s)، رطوبت باقی‌مانده خاک (θ_r)، عکس مکش ماتریک در نقطه عطف منحنی (α)، پارامتر وابسته به توزیع اندازه منافذ (n)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) و هدایت هیدرولیکی غیراشباع (K_d) برآورد شده با برنامه RETC و

اندازه‌گیری شده به روش آزمایشگاهی

تیمار						پارامتر
CL-C	SL-C	CL-W	SL-W	CL-R	SL-R	
برآورد شده با نرم‌افزار RETC						
۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳۱	θ_s
۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۳	θ_r
۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۲۷	α
۱/۲۸	۱/۳۱	۱/۳۵	۱/۴۲	۱/۴۶	۱/۵۸	N
۹/۴۸۷	۴/۸۴۶	۳/۳۹۹	۱/۹۰۵	۰/۸۸۷	۱/۵۲۳	K_s
اندازه‌گیری شده به روش آزمایشگاهی						
۰/۶۳	۰/۴۲	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۳۲	θ_s
۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۷	θ_r
۹/۶۷۲	۴/۷۰۱	۳/۴۵۶	۱/۸۶۸	۰/۹۵۳	۱/۴۸۸	K_s
۴/۶۲۹	۱/۸۵۸	۱/۵۳۴	۰/۹۶۵	۰/۵۱۹	۰/۷۲۳	K_d

اندازه منافذ خاک شده و در نتیجه شکل و شیب منحنی مشخصه رطوبتی (SWCC) که تابعی از منافذ است را تغییر کرد. همچنین در طی این تغییرات شیب منحنی مشخصه رطوبتی افزایش یافت. در واقع این فرآیندها با ایجاد درز و ترک و منافذ درشت سبب افزایش رطوبت اشباع در خاکها گردیدند.

۲- با افزایش رس خاک میزان رطوبت نگهداری شده در مکش‌های ماتریک بالا، به علت افزایش آب نگهداری شده در منافذ ریز و آب جذب سطحی شده افزایش یافت. همچنین اثرات تیمارهای اعمال شده بر ویژگی‌های هیدرولیکی، در خاک لومرسی شدیدتر از خاک لومشنی بود؛ که بیانگر تأثیر مثبت رس در خاکدانه‌سازی و ایجاد منافذ می‌باشد. در واقع وجود رس بیش‌تر در خاک لومرسی سبب ایجاد درز و ترک‌های ریز و درشت بیش‌تر در این خاکها در طی فرآیندهای هوازدگی شد.

۳- به علت ایجاد درز و ترک‌های بزرگ و منافذ درشت طی تر و خشک شدن، انقباض و انبساط غیریکنواخت خاک در اثر یخ زدن و ذوب شدن و همچنین کانال‌ها و معابر ایجاد شده در اثر حرکت کرم‌های خاکی در ستون‌های هوازیده فیزیکی+بیولوژیکی، سبب ایجاد جریان ناپایدار در این ستون‌ها گردیده؛ و در نتیجه هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده با مقدار برآورد شده آن اختلاف زیادی داشت و برازش مدل به خوبی صورت نگرفت.

۴- نتایج نشان داد که در شرایطی که اندازه‌گیری تمامی نقاط منحنی رطوبتی، به علت زمان‌بر بودن و همچنین پرهزینه بودن آن امکان‌پذیر نمی‌باشد، استفاده از مدل‌های ریاضی برای تخمین منحنی مشخصه رطوبتی، برآورد قابل قبولی را ارائه می‌دهد.

در خاک‌های لومرسی، به علت ویژگی انقباض و انبساط بیشتر رس‌ها و در نتیجه تشکیل درز و ترک بیشتر، مقدار K_s ، در خاک‌های هوازیده (C و W)، بیشتر از خاک‌های لومشنی بود. در حالیکه در خاک‌های دست‌خورده به دلیل وجود منافذ درشت‌تر در خاک لومشنی، مقدار K_s در این خاک بزرگ‌تر بود (جدول ۳).

بنابر دلایل ذکر شده هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک (K_m) نیز در خاک‌های مورد بررسی به صورت $CL-C > SL-C > CL-W > SL-R$ به دست آمد.

گی و همکاران (۹) نشان دادند که با توجه به هدایت هیدرولیکی بسیار پایین خاک در رطوبت‌های کم (در مدت زمان اندازه‌گیری) هیچ‌گاه تعادل کامل ایجاد نمی‌شود و گاهی زمان تعادل ممکن است به بیش از ۱۰ سال نیز طول بکشد. بنابراین امروزه استفاده از مدل‌های ریاضی برای تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک بسیار متداول شده است. به واقع این‌که کدام‌یک از پارامترهای تعیین شده درست باشد، جای سوال است ولی همان‌طور که منحنی‌های برازش شده نشان می‌دهد، در شرایطی که اندازه‌گیری تمامی نقاط منحنی رطوبتی امکان‌پذیر نمی‌باشد، با اندازه‌گیری چند نقطه از منحنی رطوبتی می‌توان برآورد قابل قبولی از منحنی مشخصه رطوبتی خاک داشت.

نتیجه‌گیری

۱- در طی چرخه‌های تر و خشک شدن و یخ زدن و ذوب شدن، منافذ خاک با آب پر می‌شوند و ذرات خاک بطور تغییرناپذیر دوباره چیده و آراسته می‌گردند؛ که این تغییرات سبب تغییر درصد و توزیع

منابع

- 1- Bejat L., Perfect E., Quisenberry V.L., Coyne M.S., and Haslzer G.R. 2000. Solute transport as related to soil structure in unsaturated intact soil blocks. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 818–826.
- 2- Black G.R. 1986. Bulk density. In: Kelute, A. (ED) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Soil Sci. Soc. Am. Agronomy Monograph 9. 2nd Ed, pp. 374–380.
- 3- Clement C.R. 1966. A simple and reliable tension table. *J. Soil Sci.* 17, 133–135.
- 4- Clothier B.E. 2004. Soil pores. In: Chesworth, W., (Ed). *Encyclopaedia of Soil Science.* Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 693–699.
- 5- Dexter A.R. 2004. Soil physical quality. Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma* 120: 215–225.
- 6- Epstein E. 1975. effect of sewage sludge on soil physical properties. *J. Environ. Qual.* 4: 139- 142.
- 7- Flury M., Fluhler H., Jury W.A., and Lauenberger J. 1994. Susceptibility of soils to preferential flow. *Water Resour. Res.* 30: 1945–1954.
- 8- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particles size analysis. In: Kelute, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Soil Sci. Soc. Am. Agronomy Monograph 9. 2nd Ed, pp. 383–411.
- 9- Gee G.W., Ward A.L., Zhang Z.F., Campbell G.S., and Mathison J. 2002. The influence of hydraulic non-equilibrium on pressure plate data. *Vadose Zone J.* 1: 172–178.
- 10- Groenvelt P.H., and Grant C.D. 2004. A new model for the soil-water retention curve that solve the problem of residual water contents. *Eur. J. Soil Sci.* 55: 479–485.
- 11- Jarvis N.J., and Leeds-Harrison P.J. 1987. Modeling water movement in drained clay soil. *J. Soil Sci.*, 38: 487–498.

- 12- Kay B.D., and Angers D.A. 1999. Soil structure. In handbook of Soil Science. Chap. 7. CRC Press, Boca Raton, pp:A229–A276.
- 13- Klute A. 1986. Water retention: laboratory methods. In: Klute A (Ed.) Methods of Soil Analysis: Part I. Physics and Mineralogy Methods, 2nd ed. Agronomy Monograph, ASA, WI, pp. 635– 662.
- 14- Klute A., and Dirksen C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods". In: Kelute, A. (ED) Methods of Soil Analysis. Part 1. SSSA/ASA. Madison, WI. Pp. 678–732.
- 15- Telfair D., Gardner M.R., and Miars D. 1957. The restoration of a structurally degenerated soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 21: 131–134.
- 16- Mualem Y. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res.12: 593–622.
- 17- Newman A.C.D., and Thomasson A.J. 1979. Rothamsted studies of soil structure. III. Pore size distributions and shrinkage processes. J. Soil Sci. 30: 415–439.
- 18- Sillers W.M., Fredlund D.G., and Zakerzadeh N. 2001. Mathematical attributes of some soil-water characteristic curves models. Geotech. Geolog. Eng. 19:243–283.
- 19- Sims J.T. 1996. Lime requirement methods of soil analysis. In: Klute, A. (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical Methods. SSSA/ASA. Madison, Wisconsin, USA. pp. 491.
- 20- Unc A., and Goss M.J. 2003. Movement of faecal bacteria through the vadose zone. Water Air Soil Pollut. 149: 327–337.
- 21- Van Genuchten M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892- 898.
- 22- Walkly A., and Black I.A. 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration. Soil Sci. 37: 29–38.

Effects of Wetting/Drying, Freezing/Thawing and Earth Worm Activities on Soil Hydraulic Properties

A. Safadoust^{1*}- M.R. Mosaddeghi²- A.A. Mahboubi³- G. Yousefi⁴

Received:16-4-2011

Accepted:4-12-2011

Abstract

The purpose of this study was to assess the potential impact of physical and biological changes on soil hydraulic properties in the prepared soil columns. A clay loam (CL) and a sandy loam (SL) soil, were used for the two types of repacked and repaired soil columns. For this purpose the soil was passed through a 8-mm sieve and poured into large cylinder. In total, 24 columns were prepared out of which 8 columns were used as repacked columns and the rest (16 columns) were installed in the field under effects of wetting/drying and freezing/thawing cycles (physical changes). Of the physically changed columns 8 columns were subjected to earth worm activity (biological changes). All experiments were conducted with four replicates. Applied experimental treatments (averaged over physical and biological changes and soil texture) caused a decrease in bulk density (6.5%) and an increase in macropore (39.8%), mesopore (32.8%), micropore (20.0%), field capacity (28.4%), wilting point (7.5%), available water content (43.3%) and the volumetric water content at 5 cm matric suction (28.1%) through soil columns. The greater values of these properties were shown in clay loam soil which confirms the greater affinity of clay in regeneration of soil structure and soil pore improvement. These changes verify the effects of wetting and drying and freezing and thawing cycles in modification of soil structure.

Keywords: Hydraulic properties, Physical changes, Repaired soil, Wetting and drying, Freezing and thawing

1,3,4- Assistant Professor, Professor and MSc of Soil Science Department, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Respectively

(* - Corresponding Author Email: safadoust@basu.ac.ir)

2 - Associate Professor of Soil Science Department, College Agriculture, Isfahan University of Technology