نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال چهارم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹٤

ISSN 2251-7480

تأثیر نوع خاک و وضعیت تراکم بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک

منصوره بایرام[1*] و امید بهمنی[2]

۱*) کارشناسی ارشد؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه بوعلی سینا؛ همدان؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: mansure.bayram@gmail.com

۲) استادیار؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه بوعلی سینا؛ همدان؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰٦/۳۱

چکیده

ارزیابی کمی تراکم خاک به‌منظور بهبود روش‌های مدیریتی کشاورزی و کاهش مشکلات ناشی از تراکم در محیط زیست و تولید محصول ضروری است و عواملی از قبیل میزان تراکم، نوع خاک (درصد رس و پلاستیسیته) و وضعیت رطوبت تأثیر به سزایی در تراکم خاک دارند. این پژوهش، به‌منظور بررسی تأثیر نوع خاک و تراکم بر روی منحنی مشخصه رطوبتی در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه بلوک کاملاً تصادفی به اجرا درآمد و ۲۷ تیمار تهیه گردید. تیمارها شامل سه نوع خاک رسی، لوم رسی، لوم شنی که تحت سه نوع تراکم اصلاح‌شده، استاندارد و کاهشی قرار گرفتند و این تراکم‌ها در سه شرایط رطوبتی ۲ درصد رطوبت کم‌تر از رطوبت بهینه (خشک)، رطوبت بهینه و ۲ درصد رطوبت بیش‌تر از رطوبت بهینه (مرطوب) انجام شد و نمونه دست‌نخورده هم به‌عنوان شاهد تهیه گردید. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن صورت گرفت و تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. نتایج نشان داد که در تمامی پتانسیل‌ها تأثیر نوع خاک بر نگه‌داشت آب در خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد که نشان‌دهندهٔ تأثیر نوع خاک و افزایش رس و پلاستیسته بر میزان نگه‌داشت آب می‌باشد. هم‌چنین بر اساس نتایج نوع خاک، رطوبت و شرایط تراکم موجب افزایش اثر تراکم و همچنین افزایش تراکم به طور میانگین موجب افزایش مقدار آب نگه‌داری شده در خاک و تغییر خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک گردید. در مجموع منحنی مشخصه رطوبتی به‌طور معنی‌داری با افزایش تراکم تغییر کرد.

کلیدواژه‌ها: پلاستیسیته؛ رطوبت؛ مکش؛ نگه‌داشت آب در خاک

مقدمه

با پیشرفت و توسعه تکنولوژی در سال‌های اخیر، کشاورزان به استفاده مفیدتر از نیروی کارگری، کاهش هزینه‌های تولید در هکتار و افزایش ظرفیت کاری ادوات ترغیب شده‌اند. افزایش ظرفیت ماشین‌های کشاورزی، اگر چه مزیت‌هایی را به دنبال داشته است اما باعث فشردگی و افزایش گسترده تراکم خاک شده است (درویش پسند و همکاران، ۱۳۹۲). همین موضوع سبب شده که تراکم به یک مشکل جهانی تبدیل شود و بسیاری از اراضی دنیا را در برگیرد، با توجه به این مسئله شناخت و آگاهی بر روی عوامل افزایش‌دهندهٔ تراکم از اهمیت بالایی برخوردار است (Alakukku, 1996). تراکم خاک، اثرات منفی بر روی کیفیت خاک و تولید محصول دارد و باعث کاهش خلل و فرج خاک، کاهش سرعت نفوذ آب در خاک، کاهش نفوذ میزان آب به منطقه ریشه در خاک، اشباع شدن سطح خاک و فرسایش خاک، کاهش توانایی خاک برای نگه‌داری آب و هوا، کاهش رشد ریشه گیاه و کاهش پتانسیل عملکرد محصول می‌شود (McKenzie, 2010). هم‌چنین تراکم خاک به عواملی چون میزان تراکم، نوع خاک، وضعیت رطوبت و سیستم زراعی بستگی دارد

et al., 2004; Sillon *et al.,*2003;Radford *et al.,*2000; Tarawally Miller *et al.,*2002; Green *et al.,* 2003).

تعیین مشخصات خاک غیراشباع به‌منظور بررسی رفتار این‌گونه خاک‌ها، مستلزم انجام آزمایش‌های نسبتاً وقت‌گیر و پرهزینه است. در اغلب موارد تخمین این پارامترها به‌صورت غیرمستقیم از دقت کافی برخوردار است. منحنی مشخصه آب خاک (swcc[1]) در تخمین رفتار خاک‌های غیراشباع، اهمیت و کاربردی ویژه دارد (پیشه پشنگ و همکاران،۱۳۸۵؛ بابائیان و همکاران، ۱۳۹۲). منحنی مشخصه رطوبتی خاک رابطه‌ی مقدار رطوبت و مکش خاک را می‌دهد که برای شرح رفتار خاک‌های اشباع و غیراشباع اهمیت و کاربرد دارد بیش‌تر خصوصیات خاک ازجمله نفوذپذیری، حجم فشار و توزیع اندازه منافذ را می‌توان از آن به دست آورد (Jian lin and Jian, 2005). منحنی مشخصه رطوبتی در تخمین خصوصیات خاک‌های غیراشباع کاربرد دارد (Fredlund *et al.,* 2000). رمضانی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی اثر تراکم بر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی یک خاک لوم پرداختند و بیان کردند: منحنی مشخصه رطوبتی به‌طور معنی‌داری با افزایش تراکم تغییر می‌کند و با افزایش سطح فشردگی، مقدار آب نگه‌داری شده در خاک کاهش می‌یابد. کاهش تعداد منافذ و درصد جریان عبوری از آن‌ها و هم‌چنین تخلخل مؤثر با افزایش نیروی وارد شده بر خاک نشان‌دهنده‌ی اثر تراکم بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک است . Summer و Hill (۱۹٦۷) منحنی مشخصه رطوبتی را برای خاک فشرده‌شده در چگالی ظاهری متفاوت موردمطالعه قراردادند و دریافتند که تراکم خاک فرم منحنی رطوبتی را در طبقات مختلف بافت خاک تغییر می‌دهد. نتایج پژوهش Reeder و Hakanson(۱۹۹٤) که در ۷ کشور اروپایی و آمریکای شمالی انجام شد نشان داد که قابلیت تراکم‌پذیری خاک‌ها وابسته به درصد رس می‌باشد. Abdul Kareem و Mahmood (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای که بر روی رفتار منحنی مشخصه رطوبتی انجام دادند به نتیجه رسیدند شاخص پلاستیسیته خاک بیش‌ترین اثر را بر روی منحنی مشخصه رطوبتی خاک دارد.).

این پژوهش به منظور تعیین منحنی مشخصه رطوبتی در تراکم‌های مختلف صورت گرفته است. با توجه به اینکه تراکم خاک یکی از مشکلات مهم در کشاورزی است و عواملی چون رطوبت، نوع خاک و میزان تراکم موجب تشدید تراکم خاک می‌گردند و از آنجا که در کم‌تر تحقیقاتی تأثیر این عوامل به طور همزمان مورد بررسی قرارگرفته است. منحنی مشخصه رطوبتی نیز یکی از مهم‌ترین پارامترها در برنامه‌ریزی آبیاری و تولید محصول است. بنابراین ارزیابی اثرگذاری رطوبت، نوع خاک (درصد رس و پلاستیسیته) و میزان تراکم در تراکم خاک و نگه‌داشت آب در خاک به‌منظور جلوگیری از تخریب خاک و کاهش محصول از اهداف این مطالعه است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک

خاک مورداستفاده در این تحقیق، از مرکز تحقیقات کشاورزی همدان تهیه گردید. نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری و از ۳ نوع خاک لوم رسی، لوم، لوم شنی صورت گرفت. برای تعیین بافت خاک‌های موردمطالعه، درصد ذرات اولیه (شن، سیلت، رس) به روش هیدرومتری بر پایه قانون استوکز اندازه‌گیری گردید و سپس با استفاده از نرم‌افزار TAL for Windows 4.2 که براساس سیستم طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا و مثلث بافت خاک (USDA) می‌باشد، بافت خاک تعیین شد. مشخصات بافت خاک‌های موردمطالعه در جدول ۱ ارائه‌شده است از هر بافت خاک، ۹ نمونه دست‌خورده (سه نوع تراکم تحت سه شرایط رطوبتی) و یک نمونه دست‌نخورده و به‌طورکلی ۳۰ نمونه تهیه گردید. هر سه نوع خاک تحت سه نوع تراکم ازجمله تراکم اصلاح‌شده، تراکم استاندارد و تراکم کاهشی قرار گرفتند و تراکم‌ها در سه شرایط رطوبتی شامل ۲ درصد رطوبت کم‌تر از

[1] Soil Water Characteristic Curve

رطوبت بهینه (خشک)، رطوبت بهینه و ۲ درصد رطوبت بیش‌تر از رطوبت بهینه (مرطوب) صورت گرفت.

جدول ۱. مشخصات بافت خاک‌های موردمطالعه

بافت خاک	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)
رسی	۷۰/۳۵	۱۳/٤	۱٦/۲۵
لوم رسی	۲٦/٦۵	۳۲/۲	٤۱/۱۵
لوم شنی	۱۳/۷۵	۲۲/۰۵	٦٤/۲

تراکم خاک

آزمایش تراکم در قالبی به حجم ۹٤٤ سانتی‌متر مکعب و توسط وزنه ۲/۵ کیلوگرمی که از ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری رها می‌گردد، انجام شد. در آزمایش تراکم استاندارد سه لایه خاک به ضخامت ۳/۹ سانتی‌متر و هر لایه خاک با ۲۵ ضربه (۳)، در تراکم کاهشی ۳ لایه خاک و هر لایه خاک با ۱۵ ضربه (Miller *et al.*, 2002) و در تراکم اصلاح‌شده ۵ لایه خاک به ضخامت ۲/۳٤ سانتی‌متر و هر لایه خاک با ۲۵ ضربه (۲) متراکم شدند. برای آزمایش تراکم درصد رطوبت اولیه خاک بایستی بین ۳٪ تا ۵٪ باشد بعد از انجام تراکم، برای دفعات بعدی به‌اندازه ۲٪ وزن خاک، آب به آن اضافه می‌کنیم. بعد از اضافه کردن آب باید خاک کاملاً مخلوط شود تا رطوبت به‌طور کامل برای همه خاک‌ها یکسان باشد. این آزمایش را ۵ بار تکرار می‌کنیم.

سپس منحنی وزن مخصوص خشک و درصد رطوبت را رسم کرده و میزان رطوبت بهینه را از روی نمودار به دست آوردیم. رطوبت بهینه برابر است با میزان رطوبت در نقطه‌ی حداکثر وزن مخصوص خشک. ویژگی‌های خاک‌های متراکم در جدول ۲ ارائه‌شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های خاک‌های متراکم

خاک / تراکم	رسی		لوم رسی		لوم شنی	
	رطوبت بهینه (٪)	حداکثر وزن مخصوص خشک (kN/m^3)	رطوبت بهینه (٪)	حداکثر وزن مخصوص خشک (kN/m^3)	رطوبت بهینه (٪)	حداکثر وزن مخصوص خشک (kN/m^3)
اصلاح‌شده	۰/۱۲۵	۱٤/۵۷	۰/۱۰۱٤	۱۵/۹۸	۰/۰۵۷	۱۸/۸۳
استاندارد	۰/۱٦٤	۱۳/۹۱	۰/۱٤۲	۱٤/٦۸	۰/۰۹۵	۱٦/۹۵
کاهشی	۰/۲۲۵	۱۳/۰۸۵	۰/۱٦۷	۱۳/۹۷	۰/۱۳۸	۱۵/٦٤

سپس براساس رطوبت بهینه، خاک را تحت ۳ شرایط رطوبتی (خشک، بهینه و مرطوب) متراکم کرده و برای هر یک از خاک‌های موردمطالعه نمونه‌برداری انجام گردید.

حدود اتربرگ

پلاستیسیته PI میزان شکل‌پذیری یک خاک است و میزان مکش در یک درجه اشباع تا حد زیادی به سطح مخصوص ذرات بستگی دارد و از طرفی پلاستیسیته، نشانه مناسبی برای بیان میزان سطح ذرات خاک است. حد روانی توسط روش کاساگراند و حد خمیری به روش فتیله تعیین شد (ASTM D3385-03). پلاستیسیته خاک‌های مورد مطالعه از فرمول زیر محاسبه گردید و در جدول ۳ ارائه شد.

$$PI = LL - PL \qquad (۱)$$

در رابطه فوق LL حد روانی و PL حد خمیری و PI پلاستیسیته می‌باشد.

جدول ۳. پلاستیسیته خاک‌های مورد آزمایش

خاک	رسی (٪)	لوم رسی (٪)	لوم شنی (٪)
PI	۲۰/۸	۱۱/۳۵	۷/۰۳

جرم مخصوص ظاهری

جرم مخصوص ظاهری برابر با جرم دانه‌های خاک خشک به حجم کل خاک است که به روش سیلندر (ASTM D 1557) اندازه‌گیری گردید و در جدول ٤ ارائه گردید.

جدول ٤. جرم مخصوص ظاهری خاک‌های موردمطالعه

تراکم	اصلاح شده			استاندارد			کاهشی			شاهد
رطوبت / خاک	خشک	بهینه	مرطوب	خشک	بهینه	مرطوب	خشک	بهینه	مرطوب	
رسی	۱/۸۱	۱/٦۲	۱/٥۹	۱/٤٦	۱/٤۲	۱/۳٦	۱/۳٥	۱/۳	۱/۲۸	۱/۱
لوم رسی	۱/۳٥	۱/۳۲	۱/۳	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲٦	۱/۲٦	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۲۲
لوم شنی	۱/٦٤	۱/٦۷	۱/٦۸	۱/٥۷	۱/٥۸	۱/٦۱	۱/٥٤	۱/٥٥	۱/٥٦	۱/٥۱

هدایت هیدرولیکی اشباع

هدایت هیدرولیکی خاک لوم شنی به روش بار ثابت و خاک لوم رسی و رسی به روش بار افتان صورت گرفت (نشریه شماره ۳۲۲، دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیکی خاک به روش‌های مختلف).

جدول ۵. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های مورد مطالعه برحسب (cm/s)

تراکم	اصلاح شده			استاندارد			کاهشی			شاهد
رطوبت / خاک	خشک	بهینه	مرطوب	خشک	بهینه	مرطوب	خشک	بهینه	مرطوب	
رسی	$۸/۸\times۱۰^{-۷}$	$۱/۳\times۱۰^{-٦}$	$۱/٥\times۱۰^{-٦}$	$۲/٥\times۱۰^{-٦}$	$۲/۹۹\times۱۰^{-٦}$	$٤/۳\times۱۰^{-٦}$	$٤/٤\times۱۰^{-٦}$	$٦/۱\times۱۰^{-٦}$	$٦/۹\times۱۰^{-٦}$	$٤/۹\times۱۰^{-٥}$
لوم رسی	$۱/۱\times۱۰^{-٤}$	$۱/٥\times۱۰^{-٤}$	$۱/٦\times۱۰^{-٤}$	$۱/۷\times۱۰^{-٤}$	$۱/۸\times۱۰^{-٤}$	$۲/۱\times۱۰^{-٤}$	$۲/۳\times۱۰^{-٤}$	$۲/٤\times۱۰^{-٤}$	$۲/۷\times۱۰^{-٤}$	$۳/٤\times۱۰^{-٤}$
لوم شنی	$۳/۸\times۱۰^{-٤}$	$٤/٤\times۱۰^{-٤}$	$٥/۲\times۱۰^{-٤}$	$٦/۱\times۱۰^{-٤}$	$۸/۲\times۱۰^{-٤}$	۱×۱۰^{-۳}	$۱/۳\times۱۰^{-۳}$	$۱/۸\times۱۰^{-۳}$	$۲/۸\times۱۰^{-۳}$	$۱/۸\times۱۰^{-۳}$

آزمایش صفحات فشاری

برای رسم منحنی مشخصه رطوبتی خاک، میزان رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک kpa ۳۳ -، ۱۰۰ -، ۳۰۰ -، ۵۰۰ -، ۱۰۰۰- توسط دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد (Lin and Cerato,2015). برای تعیین مقدار رطوبت اشباع، نمونه‌ها در آزمایشگاه اشباع شدند، سپس این نمونه‌ها وزن شده و سپس به مدت ۲٤ ساعت در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک‌شده و مجدداً وزن شدند و θs محاسبه گردید (Miller *et al.*, 2002).

نرمال بودن داده‌ها

برای بررسی نرمال بودن داده‌های رطوبت از آزمون کولموگراف اسمیرنف و نرم‌افزار SAS استفاده گردید. در این آزمون اگر p-value به‌دست‌آمده کم‌تر از ۰/۰۵ باشد داده‌ها غیر نرمال و اگر p-value به‌دست‌آمده بیش‌تر از ۰/۰۵ باشد داده‌ها نرمال می‌باشند. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌کنیم مقدار p-value بیش از ۰/۰۵ درصد می‌باشد و داده‌ها توزیع نرمال دارند.

جدول ٦. بررسی نرمال بودن داده‌ها

نوع آزمون	Statistic		value-p	
کولموگراف اسمیرنف	D	۰/۰۷۱	D<Pr	>۰/۱۵

که در رابطه فوق P_r احتمال ۰/۰۵ و D آماره آزمون است. آماره آزمون برابر است با:

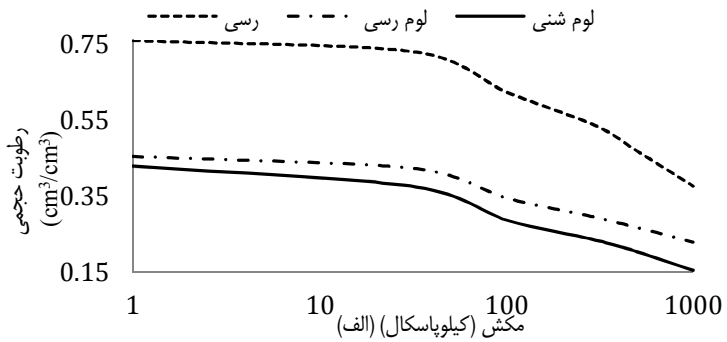
$$D = Maximum \left|F_e - F_o\right| \qquad (۲)$$

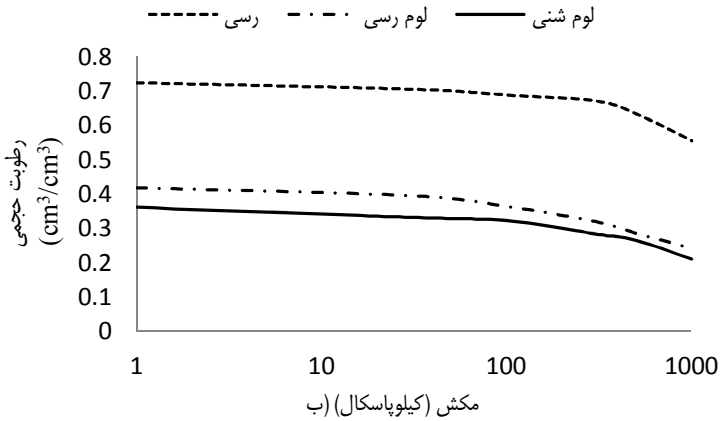
که در آن F_e و F_o به ترتیب فراوانی نظری نسبی تجمعی و فراوانی مشاهده‌شده نسبی تجمعی می‌باشد و در انتها مقایسه میانگین کلیه داده‌های مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SAS و توسط آزمون دانکن در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی انجام گرفت.

نتایج و بحث

اعداد به دست آمده از مقادیر جرم مخصوص ظاهری (جدول ٤) در خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در نمونه شاهد، خاک رسی مقدار جرم مخصوص ظاهری کم‌تری نسبت به خاک لوم رسی و لوم شنی دارد به طوری که میانگین افزایش جرم مخصوص ظاهری در تراکم‌های اصلاح شده، استاندارد و کاهشی خاک رسی به

ترتیب ۵۱، ۲۱ و ۱۹ درصد و در خاک لوم رسی به ترتیب ۸/۳، ٤/٤، ۱/۵ درصد و در خاک لوم شنی نیز به ترتیب ۹/۹، ۵/۲ و ۲/۵ مشاهده گردید و در پژوهش آزادگان (۱۳۸۸) جرم مخصوص ظاهری از ۱/۳٤ در خاک غیرمتراکم به ۱/۷۹ مگا گرم بر مترمکعب و به میزان ۳۳٪ در خاک با تراکم زیاد، افزایش یافته است، میزان رس خاک‌های مورد مطالعه در پژوهش ایشان در حدود ۳٦-۳۰ درصد بود درحالی‌که در پژوهش حاضر خاک رسی به میزان ۷۰/۳۵ درصد حاوی رس و پلاستیسیته ۲۰/۸، میزان تغییرات جرم مخصوص ظاهری در بالاترین اثر تراکمی ۵۱٪ بود و باید توجه داشت اثرات تراکم بر روی جرم مخصوص ظاهری به پلاستیسیته و درصد رس وابسته است. درصورتی‌که اثر تراکم افزایش یابد، تغییرات بیش‌تری در جرم مخصوص ظاهری مشاهده می‌گردد به‌طوری‌که در تراکم اصلاح‌شده، خاک رسی بیش‌ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری را دارد و البته در شرایط مرطوب نیز اثر تراکم افزایش یافته و جرم مخصوص ظاهری نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین تراکم خاک به نوع تراکم، شرایط رطوبتی، درصد رس و پلاستیسیته خاک بستگی دارد و افزایش این عوامل موجب افزایش بیش-تری در جرم مخصوص ظاهری می‌گردد (که با نتایج درویش‌پسند و همکاران (۱۳۹۲)؛ Radford و همکاران (۲۰۰۰)؛Raza و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد) و با افزایش تراکم و افزایش جرم مخصوص ظاهری، بدیهی است که تعداد منافذ خاک هم کاهش یابد. تراکم به دو دلیل موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری می‌شود یکی تغییر پیوستگی و توزیع اندازه منافذ و دیگری کاهش حجم منافذ درشت خاک است (Bertolino *et al.*, 2010). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌کنیم چنانچه خاک-های درشت‌دانه با چگالی ظاهری بیش‌تری متراکم شوند، Swcc آن‌ها در یک مکش معین دارای رطوبت حجمی کم‌تری است یعنی منحنی به سمت چپ میل می‌کند و هم‌چنین هرچقدر با رطوبت بیش‌تری خاک متراکم شود، Swcc آن در یک مکش معین دارای رطوبت حجمی بیش‌تری می‌باشد، یعنی منحنی به سمت راست میل می-کند که با نتایج باقری و زمردیان (۱۳۹۲) مطابقت دارد. تراکم زیاد خاک موجب فروپاشی ذرات از یکدیگر، باعث کاهش قطر خلل و فرج شده، در نتیجه تخلخل، نفوذپذیری، پخشیدگی آب‌وهوا و ضریب آبگذری اشباع خاک کاهش می‌یابد، باعث کاهش سرعت نفوذ و کندی حرکت آب در خاک گردیده که این مسئله، موجب کاهش ظرفیت نگهداری آب، ذخیره رطوبتی خاک و آب قابل‌استفاده می‌گردد و در اثر تداوم شرایط کمبود آب، رشد گیاه کند و ممکن است متوقف شود. با افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش نفوذپذیری، چون رشد گیاه کم می‌شود مقدار محصول هم کاهش می‌یابد (آزادگان، ۱۳۸۸).



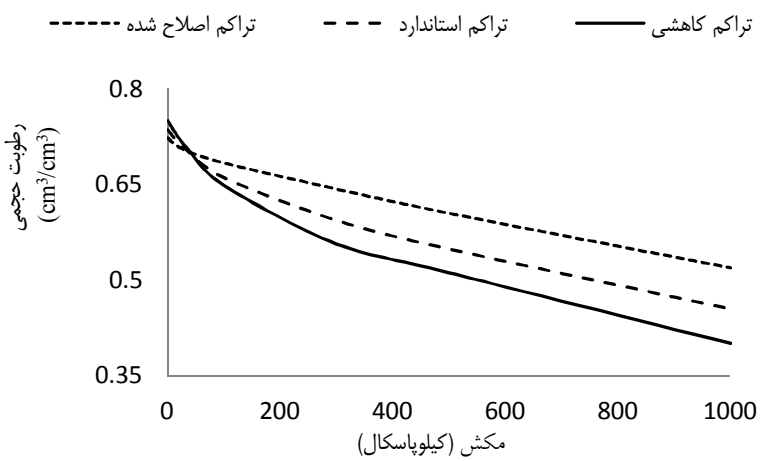


شکل ۱. منحنی مشخصه رطوبتی (الف) نمونه دست‌نخورده (ب) تراکم اصلاح شده-مرطوب

در هر دو نمونه شکل ۱، خاک رسی بالاتر از خاک لوم رسی و خاک لوم رسی بالاتر از خاک لوم شنی قرارگرفته است و میزان نگه‌داشت رطوبتی در خاک رسی بیش‌تر از دو خاک دیگر است، این مسئله به دلیل مقدار رس و پلاستیسیته خاک (بافت خاک) است که با افزایش مقدار رس و پلاستیسیته خاک، رطوبت خاک در مکش مشخص افزایش می‌یابد. Johari و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی که بر روی ۱٤ نمونه خاک با درصد رس متفاوت در دشت شیراز انجام دادند نشان دادند که Swcc خاک با درصد رس متفاوت بالاتر از سایر نمونه خاک-هاست.Miller و همکاران (۲۰۰۲) در خاک‌های ۱،۲،۳، ٤ با درصد رس به ترتیب ۱۷، ۵۹، ٦٤، ٤۲ درصد و پلاستیسیته متفاوت به ترتیب ۷، ۱۷، ٦۰، ۱٤ تحت شرایط تراکمی اصلاح‌شده، استاندارد و کاهشی را مورد تجزیه‌وتحلیل قراردادند و بیان کردند که منحنی Swcc در خاک از پلاستیسیته خاک و رطوبت رس پیروی می‌کند و منحنی خاک ۳ بالاتر از خاک ۲ و سپس خاک ٤ و ۱ قرار می‌گیرد. هم‌چنین Elkady و همکاران (۲۰۱۳) اثر مقدار رس خاک متراکم شنی منطقه القطیف را مورد ارزیابی قراردادند و نتایج آن‌ها نشان داد هم‌چنان که رس افزایش می‌یابد شکل منحنی از تک مدل به دو مدل تغییر می‌یابد که البته با توجه به شکل ۱ (ب) منحنی Swcc در خاک رسی، دو مدله و در خاک لوم شنی و لوم رسی تک مدله می‌باشد.

شیب ابتدایی منحنی خاک لوم شنی در هر دو شکل بیش از خاک رسی و لوم رسی می‌باشد که به دلیل حذف ناگهانی رطوبت از منافذ درشت خاک می‌باشد. در شکل (ب) شیب Swcc در اثر تراکم و به دلیل کاهش منافذ درشت خاک، افزایش پیداکرده است. تراکم موجب کاهش رطوبت نگه‌داری شده در خاک در مکش ۰ تا ۳۳ کیلوپاسکال می‌شود و علت کاهش نگه‌داشت آب در خاک در این پتانسیل را می‌توان خروج رطوبت از منافذ درشت و هم‌چنین از بین رفتن و کوچک‌تر شدن شعاع منافذ دانست. در مکش بالاتر از ۳۳ کیلوپاسکال نیز تراکم خاک موجب افزایش میزان نگه‌داشت آب در خاک می-شود که علت آن افزایش سطح تماس بین خاکدانه‌ها به دلیل شکسته شدن خاکدانه‌ها، کاهش حجم منافذ درشت و افزایش منافذ ریز می‌باشد که به دنبال آن موجب پیوستگی بین منافذ دربرگیرنده آب در خاک متراکم نسبت به خاک غیرمتراکم می‌شود. به‌طور میانگین، تراکم موجب افزایش نگه‌داشت آب در خاک می‌گردد و این افزایش در خاک رسی بیش از دو خاک دیگر است زیرا بافت خاک نیز نقش مهمی در تراکم خاک دارد. خاک با ذرات هم‌اندازه، کم‌تر از خاکی با ذرات متفاوت متراکم می‌شود، زیرا ذرات کوچک خاک فضای خالی بین ذرات بزرگ را

پر می‌کنند و چگالی ظاهری خاک را افزایش می‌دهند (Gottelannd and Benoit, 2006). Richard و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند کاهش میزان نگه‌داشت آب در پتانسیل بین ۵- تا ۲۰- کیلو پاسکال وابسته به کاهش منافذ با قطر ۱۵ تا ٦۰ میکرون بوده و در مقابل افزایش میزان نگه‌داشت در پتانسیل ۲۰- تا ۸۰- کیلو پاسکال وابسته به افزایش منافذ با قطر ٤ تا ۱۵ میکرون است. با مقایسه‌ی شکل (الف) و (ب) می‌توان دریافت تراکم خاک موجب کاهش رطوبت اشباع و افزایش رطوبت باقی‌مانده می‌گردد. کاهش رطوبت اشباع در خاک‌های رسی، لوم رسی و لوم شنی به ترتیب ٤/۸، ۸/۵ و ۲/ ۱۹ درصد است. در پژوهش Miller و همکاران (۲۰۰۲) کاهش رطوبت اشباع و افزایش رطوبت باقی‌مانده در بیش‌ترین اثر تراکمی در خاک با ٦۳٪ درصد رس به میزان یکسان و ۵/۱٪ بود. کاهش رطوبت اشباع خاک‌های مورد مطالعه به دلیل خروج رطوبت از منافذ درشت خاک در پتانسیل کم-تر از ۳۳ کیلوپاسکال است و به همین دلیل در خاک لوم شنی، بیش‌ترین کاهش در رطوبت اشباع مشاهده می‌گردد. افزایش میزان رطوبت باقی‌مانده رسی نسبت به دو خاک دیگر به دلیل پلاستیسیته بالا تغییرات بیش‌تری داشته است که علت آن وابستگی قابلیت تراکم‌پذیری خاک‌ها به درصد رس و پلاستیسیته در پتانسیل بیش از ۳۳ کیلوپاسکال است.Heshmati و Motahari(۲۰۱۲) در پژوهشی که به شناسایی پارامترهای کلیدی Swcc پرداختند، دریافتند با افزایش مکش میزان رطوبت به نسبت‌های متفاوتی تغییر می‌کند.



شکل ۲. منحنی مشخصه رطوبتی خاک رسی-مرطوب

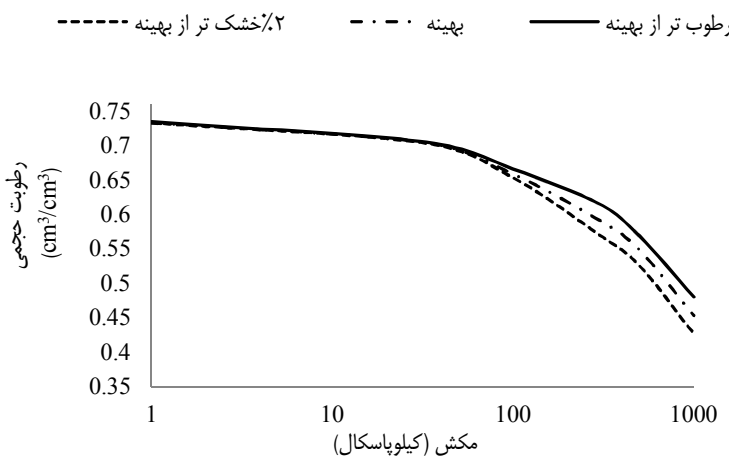
جدول ۷. مقایسه میانگین نگه‌داشت آب در خاک در تراکم‌های مختلف

تیمار شاهد	تراکم کاهشی	تراکم استاندارد	تراکم اصلاح‌شده
۰/٤۰۱B	۰/٤۰۷ B	۰/٤۱۵ AB	۰/٤۲٤ A

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند باهم اختلاف معنی‌داری ندارند

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۲، در پتانسیل کم‌تر از ۳۳ کیلو پاسکال به دلیل خروج رطوبت از منافذ درشت Swcc تراکم کاهشی بالاتر از Swcc تراکم اصلاح-شده خاک قرارداد و در پتانسیل ۳۳ کیلوپاسکال و بالاتر، Swcc با تراکم اصلاح‌شده معمولاً بالاتر از Swcc با تراکم کاهشی قرار می‌گیرد که علت آن افزایش سطح تماس بین خاکدانه‌ها به دلیل شکسته شدن خاکدانه‌ها، کاهش حجم منافذ درشت و افزایش منافذ ریز می‌باشد زیرا تراکم اصلاح‌شده نسبت به تراکم کاهشی و استاندارد به دلیل اثر تراکمی بالاتر باعث کاهش بیش‌تر منافذ درشت‌دانه و

افزایش منافذ ریزدانه می‌گردد. مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ٦ نیز نشان داد که تراکم اصلاح‌شده به دلیل اثر تراکمی بالا نسبت به دو اثر تراکم دیگر، ذرات ریزدانه بیش‌تری در خاک ایجاد کرده و تأثیر بالایی بر روی نگه-داشت آب در خاک دارد، تراکم استاندارد تفاوت معنی‌داری با تراکم اصلاح‌شده ندارد و هم‌چنین تراکم کاهشی و تیمار شاهد کم‌ترین اثر را در نگه‌داشت آب در خاک دارند. در نقطه تقاطع منحنی‌ها در شکل ۲، موقعیت نسبی منحنی معکوس شد که این تقاطع در حدود ۳۳ کیلوپاسکال رخ می‌دهد و مقدار آن به‌طور تقریبی برابر ورود هواست. این تقاطع به دلیل افزایش تخلخل است که خاک با کم‌ترین اثر تراکم، بیش‌ترین مقدار تخلخل را دارد. مکش ورود هوا در پژوهش محققان مختلف حدود ۱۰۰- ۳۳ کیلوپاسکال است (Miller *et al.*,2002؛ Vanaplli *et al.*,1999؛ Johari *et al.*,2011).



شکل ۳. منحنی مشخصه رطوبتی خاک رسی در تراکم استاندارد

جدول ۸. مقایسه میانگین نگه‌داشت آب در خاک در رطوبت‌های مختلف

تیمار شاهد	خشک	بهینه	مرطوب
۰/٤۰۱ B	۰/٤۰۸ AB	۰/٤۱٥ AB	۰/٤۲۲ A

با توجه به شکل ۳، Swcc در خاک مرطوب بالاتر از خاک با شرایط رطوبتی بهینه و خشک قرار می‌گیرد. در حالت مرطوب معمولاً خاک بیش‌تر متراکم می‌شود زیرا رطوبت به‌صورت ماده روان کننده بین ذرات خاک عمل کرده و به ذرات خاک کمک می‌کند به‌راحتی متراکم شوند و هر چه رطوبت خاک بیش‌تر باشد عمل تراکم راحت‌تر صورت می‌گیرد و مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۷ نیز نشان داد که شرایط مرطوب بیش‌ترین تأثیر را بر روی تراکم و نگه‌داشت آب در خاک دارد، رطوبت بهینه تفاوت معنی‌داری با شرایط مرطوب ندارد زیرا در رطوبت بهینه ذرات خاک به‌راحتی بر روی یکدیگر لغزیده و تغییر شکل زیادی را به وجود می‌آورند. شرایط خشک و تیمار شاهد کم‌ترین اثر را در نگه‌داشت آب در خاک دارد. در پژوهشی که ون اپلی و همکاران (۱۹۹٦) انجام دادند در شرایط تراکمی یکسان، نمونه مرطوب (با رطوبت ۱۹.۲٪) بالاتر از نمونه با رطوبت بهینه (رطوبت ۱٦.۳) و نمونه خشک (رطوبت ۱۳٪) قرار گرفت که علت آن کم‌تر بودن تأثیر رطوبت بر روی تراکم و نگه‌داشت آب در خاک در خاک خشک نسبت به خاک‌های مرطوب و بهینه است که ناشی از ساختمان خاک (ساختار ماکرو و میکرو) است

(Osinubi and Bello,2011). هم‌چنین Elkady و همکاران (۲۰۱۳) Swcc در خاک رسی-شنی را با درصد رطوبت ۰، ۵، ۱۰،۱۵ درصد به دست اوردند و نتایج آن‌ها نشان داد هر چه رطوبت افزایش یابد، نگه‌داشت آب در خاک نیز افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج Fredlund و همکاران (۲۰۱۱) نیز مطابقت دارد. میزان رطوبت اولیه خاک رسی به دلیل پلاستیسیته بالا معمولاً بیش‌تر از دو نوع خاک دیگر می‌باشد و به همین دلیل میزان تراکم اثرگذاری بیش‌تری بر روی خاک‌های رسی دارد. میزان رطوبت بالای خاک قبل از تراکم، موجب افزایش اثر تراکم و کاهش بیش‌تر تخلخل خاک می‌گردد که موجب افزایش نگه‌داشت آب در این شرایط است؛ Barzegar و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند، هر نوع خاک در مقدار معینی از رطوبت (رطوبت بهینه)، مقاومت نفوذ، جرم مخصوص ظاهری، فشردگی و تراکم مناسب و مطلوب را دارد. در رطوبت‌های کم‌تر از رطوبت بهینه، اغلب خاک‌ها سفت می‌باشند زیرا برای تشکیل لایه‌ی دوگانه‌ی پخشیده‌ی ذرات رس (بر طبق نظریه گوی-چاپمن (لایه دوگانه پخشیده)، کاتیون‌های اطراف ذره به آن نچسبیده و به‌صورت پخشیده اطراف آن قرار دارند به‌طوری‌که هر چه از سطح ذره دور شویم غلظت کاتیون-ها کاهش می‌یابد)، رطوبت خاک کافی نیست و عمل تراکم‌پذیری با دشواری صورت می‌گیرد. هنگامی‌که رطوبت خاک بیش از رطوبت بهینه باشد، ضخامت لایه‌ی دوگانه‌ی پخشیده افزایش‌یافته که باعث کاهش اصطکاک و فضای بین ذرات می‌گردد و در این حالت، ذرات از پهلو روی هم قرارگرفته و توده‌ی متراکمی را تشکیل می دهند و در نتیجه تراکم‌پذیری خاک بیش‌تر گردیده و آسان‌تر انجام می‌شود.

جدول ۹. مقایسه میانگین نگه‌داشت آب در خاک در تراکم و رطوبت‌های مختلف

تیمار شاهد	تراکم کاهشی			تراکم استاندارد			تراکم اصلاح‌شده		
	مرطوب	بهینه	خشک	مرطوب	بهینه	خشک	مرطوب	بهینه	خشک
۰/٤۰۱۲ B	۰/٤۱۲ AB	۰/٤۰۱٤B	۰/٤۰۱۲ B	۰/٤۲۲ AB	۰/٤۱۵ AB	۰/٤۰۸ B	۰/٤۳۲ A	۰/٤۲۳ AB	٤۱٦AB/

با توجه به مقایسه میانگین نگه‌داشت آب در خاک در تراکم در شرایط رطوبتی مختلف جدول ۸ می‌توان دریافت که تراکم اصلاح شده-مرطوب به دلیل اثر تراکمی بالا و بالاترین میزان رطوبت بیش‌ترین تأثیر را بر روی نگه‌داشت آب در خاک دارد. خاک متراکم شده در شرایط رطوبتی یکسان به اثر تراکم بستگی دارد و هر چه اثر تراکم بالاتر باشد، اثرگذاری بیش‌تری بر روی خاک و نگه‌داشت دارد. تراکم اصلاح شده-رطوبت بهینه، تراکم استاندارد-مرطوب، تراکم اصلاح شده-خشک، تراکم استاندارد با رطوبت بهینه و تراکم کاهشی-مرطوب تفاوت معنی‌داری با تراکم اصلاح شده-مرطوب ندارد. تراکم استاندارد با رطوبت-خشک و تراکم کاهشی-رطوبت بهینه و خشک و تیمار شاهد کم‌ترین اثر را در نگه‌داشت آب در خاک دارد. هم‌چنین تراکم اصلاح شده-مرطوب موجب افزایش نگه‌داشت آب در خاک‌های رسی، لوم رسی و لوم شنی به ترتیب به میزان ۵۳/۹٪، ۲۸/۲۵٪، ۱۲/٦٪ گردید. به‌طورکلی نتایج نشان داد که تراکم موجب افزایش میزان نگه‌داشت آب در خاک‌های رسی، لوم رسی و لوم شنی به‌ترتیب به میزان ۲۸/٤٪، ۱۵/۳٪، ۱۲/۸٪ می‌گردد.

نتایج آماری تجزیه واریانس جدول ۹ نشان داد که نوع خاک، پتانسیل و اثر متقابل تراکم و پتانسیل بر میزان نگه‌داشت آب در خاک در سطح یک درصد و اثر تراکم، رطوبت و اثر متقابل آن‌ها بر نگه‌داشت آب در سطح پنج درصد معنی‌دار است این در حالی است در پژوهش رمضانی و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر تراکم نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شد و علت این تفاوت می‌تواند به دلیل تفاوت در نوع خاک باشد زیرا درصد رس در خاک‌های

مورد مطالعه بین ۲۹-۱۵٪ است. طبق جدول ۱۰ در تمامی پتانسیل‌ها تأثیر نوع خاک بر نگه‌داشت آب در خاک معنی‌دار شد که نشان‌دهنده‌ی تأثیر نوع خاک و افزایش رس و پلاستیسته بر میزان نگه‌داشت آب در خاک می‌باشد. هم‌چنین در تمام پتانسیل‌ها به‌جز ۱۰۰۰ کیلو پاسکال تراکم خاک اثر معنی‌داری بر نگه‌داشت آب در خاک دارد زیرا نگه‌داشت آب در پتانسیل ۱۰۰۰ به ماتریکس خاک بستگی دارد. Richard و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که تراکم بر ویژگی‌های نگه‌داشت آب در پتانسیل بین ۵- تا ۸۰- کیلوپاسکال اثر می‌گذارد. هم‌چنین بیان کردند که کاهش میزان نگه‌داشت آب در پتانسیل بین ۵- تا ۲۰- کیلوپاسکال وابسته به کاهش منافذ با قطر ۱۵ تا ۱۶ میکرون می‌باشد. در پتانسیل ۱۰۰ اثر شرایط رطوبتی در تراکم معنی‌دار شد. رطوبت نگه‌داری شده در این پتانسیل به ماتریکس خاک برمی‌گردد و میزان آب نگه‌داری شده در پتانسیل‌های بالا، تحت تأثیر بافت و ویژگی‌های منطقه می‌باشد (Zhang *et al*,2006). در مکش کم، تخلخل نسبی اولیه، تنش قائم و رطوبت بر روی منحنی مشخصه رطوبتی مؤثرند (Jian lin and Jian, 2005).

جدول ۱۰. نتایج تجزیه واریانس میزان نگه‌داشت آب در خاک در تیمارهای مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربع
خاک	۲	۱/۵**
تراکم	۲	۰/۰۰۱۵*
رطوبت	۲	۰/۰۰۱۲*
پتانسیل	۵	۰/۱۷**
تراکم ×رطوبت	٤	۰/۰۰۱*
تراکم ×پتانسیل	۱۰	۰/۰۲۳**
رطوبت×پتانسیل	۱۰	۰/۰۰۰٤ns
تراکم ×رطوبت×پتانسیل	۲۰	۰ns
Coeff var		٤/۸۳

nsاختلاف معنی‌دار نیست،** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ و* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

جدول ۱۱. نتایج آنالیز واریانس میزان نگه‌داشت آب در خاک در پتانسیل‌های ۰، ۳۳، ۱۰۰، ۱۰۰۰،۵۰۰،۳۰۰ کیلوپاسکال

منابع تغییر	پتانسیل	خاک	تراکم	رطوبت	تراکم ×رطوبت	Coeff Var
درجه آزادی		۲	۲	۲	٤	
میانگین مربع	۰	۰/۳۷۸**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۰۲٤ns	۰/۰۰۰۰۲ns	۱/۹٦
	۳۳	۰/۳٤۵**	۰/۰۰۰۷**	۰/۰۰۰۰۹ns	۰/۰۰۰۰۱۵ns	۱/۵۹
	۱۰۰	۰/۳۳۸**	۰/۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۲**	۰/۰۰۰۰۰۵ns	۱/۰۱۸
	۳۰۰	۰/۲۸٦**	۰/۰۰٤**	۰/۰۰۰۰٦ns	۰/۰۰۰۰۰۹ns	۵/۲۵
	۵۰۰	۰/۲٤۵**	۰/۰۰٤**	۰/۰۰۰۰۷ns	۰/۰۰۰۰۱ns	۵/٤٤
	۱۰۰۰	۰/۱٦۹**	۰/۰۰٤ns	۰/۰۰۰۸ns	۰/۰۰۰۰۰۹ns	۱۰/۵

nsاختلاف معنی‌دار نیست،** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ و* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

براساس جدول ۵ با افزایش تراکم و کاهش رطوبت، میزان هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش می‌یابد، در اثر تراکم، به دلیل افزایش منافذ ریز و کاهش منافذ درشت، هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش می‌یابد. طبق قانون پوازی هدایت هیدرولیکی با توان دوم شعاع منافذ خاک رابطه مستقیم دارد و ازآنجایی که اثر عمده تراکم بر منافذ

درشت خاک می‌باشد در نتیجه با ایجاد تراکم شعاع منافذ درشت کاهش یافته و هدایت هیدرولیکی کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ٤ میزان هدایت هیدرولیکی اشباع در تراکم اصلاح شده-خشک نسبت به تیمار شاهد کم‌ترین مقدار را داراست و تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع در اثر تراکم در خاک رسی بیش از سایر خاک‌هاست. به طور کلی هر چه پلاسیتسیته خاک افزایش می‌یابد، میزان کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع به دلیل ریزدانه بودن ذرات خاک، افزایش می‌یابد. Rab و همکاران (۲۰۰٤) بیان کردند که با افزایش تراکم و کاهش تعداد منافذ درشت در اثر تراکم ایجاد شده توسط عبور و مرور ادوات کشاورزی، هدایت هیدرولیکی اشباع به صورت تابعی از میزان آب خاک کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل بیان‌گر این بود که افزایش تراکم موجب افزایش مقدار آب نگه‌داری شده در خاک می‌گردد کاهش تعداد منافذ و درصد جریان عبوری از آن‌ها و هم‌چنین تقلیل تخلخل مؤثر با افزایش نیروی وارد شده بر سطح خاک نشان‌دهنده اثر تراکم بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک بود. در مجموع نتایج نشان دادند پلاستیسیته و درصد رس خاک، رطوبت خاک و میزان تراکم اثر به سزایی در تراکم خاک دارند و افزایش توأمان عوامل فوق موجب افزایش در تراکم و نگه‌داشت آب در خاک می‌گردد و منحنی مشخصه رطوبتی به‌طور معنی‌داری با افزایش تراکم تغییر خواهد کرد. خاک‌های با بافت ریز و رطوبت بالا در کشاورزی در معرض خطر فشردگی بیش-تری قرار دارند و تراکم موجب افزایش نگه‌داشت آب در خاک، کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع، کاهش آب قابل‌دسترس گیاه و کاهش محصول می‌گردد لذا بایستی به منظور اجتناب از متراکم شدن بخصوص در خاک‌های ریزبافت (حاوی درصد رس و پلاستیسیته بالا)، اعمال مدیریتی بیش‌تری صورت بگیرد.

فهرست منابع

آزادگان، بهزاد.۱۳۸۸. تأثیر تراکم خاک‌های زراعی بر نفوذپذیری و کارایی مصرف آب در منطقه پاکدشت. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۳ (۲): ۷۰-٦۰.

بابائیان، ا.، همایی، م. و نوروزی، ع. ۱۳۹۲. ارزیابی توابع انتقالی طیفی و توابع انتقالی خاک در پیش‌بینی نگهداشت آب در خاک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۳ (۲): ۲۵-٤۳.

باقری، پ. و زمردیان، س. م. ع. ۱۳۹۲. تخمین منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک در تراکم‌های مختلف دو نمونه خاک با بافت متفاوت. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک، ۱۷ (۱) (پیاپی٦۳): ۱۹۰-۱۷۹.

پیشه پشنگ، ی.، میر محمدحسینی، س. م. و گنجیان، ن.۱۳۸۵. روش پیشنهادی تخمین منحنی مشخصه آب خاک برای خاک‌های چسبنده. فصلنامه علمی و پژوهشی شریف، ۳۳: ۸۳-۷۷.

درویش پسند، ز.، صیاد، غ.ع.، شریعتی، م. و منصوری، ی. ۱۳۹۲. اثر تردد ماشین‌آلات کشاورزی بر ویژگی‌های متوسط و درشت هدایت کننده آب در خاک با استفاده از نفوذسنج صفحه‌ای. نشریه پژوهش‌های آب و خاک. ۲۰(۵): ۲۲۰-۲۰۷.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 4318-98.2000. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils. annual book of ASTM standard.pp 546-556.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 698.2007.Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbs/ft3 (600 KN-m/m3)).annual book of ASTM standard.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 1557.2000. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbs/ft3 (2,700 KN-m/m3)).annual book of ASTM standard.

American Society for Testing and Materials (ASTM.) D3385-03 .2003. Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer. Annual Book of ASTM Standards 04,08.

Alakukku, L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils. Soil and Tillage Research, 37:211–222.

Barzegar, A.R., Asoodar, M.A. and Ansari, M. 2000. Effectiveness of sugarcane residue incorporation at different water contents and the Proctor compaction loads in reducing soil compactibility. Soil & Till, Res: 57:167-172.

Bertolino, A.V.F.A. Fernandes, N. Miranda, B. And Andrea, P. 2010. Effects of plough pan development on surface hydrology and on soil physical properties in Southeastern Brazilian plateau. Journal of Hydrology, 393:94–104.

Elkady, T. Y., Dafalla, M. A., Al-Mahbashi, A. M. and Al Shamrani, M. 2013. Evaluation of Soil Water Characteristic Curves of Sand-Clay Mixtures. Int. J. of GEOMATE, June, 2013, Vol. 4, No. 2 (Sl. No. 8), pp. 528-532.

Fredlund, D.G. 2000. The 1999 R.M. Hardy Lecture: The implementation of unsaturated soil mechanics into geotechnical engineering.Canadian Geotechnical Journal, 37(5): 963–986. doi:10.1139/cgj-37-5-963.

Fredlund, D.G., Sheng, D. and Zaho. J.2011 .Estimation of soil suction from the soil water characteristic curve. Can. Geotech, J 48:186–198.

Gottelannd, P. H. and Benoit, O. 2006. Sinkage tests for mobility study, modeling and experimental validation. Journal of Terramechanics. 43: 451-467.

Green, TR. Ahuja, LR. and Benjamin, JG. 2003. Advances and challenges in redicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. Geoderma, 116:3–27.

Hakanson, I. and Reeder, R.C. 1994. subsoil compaction by vehicles with high axel load extent, persistence and crop response. Soil Till, Res: 29,277-304.

Heshmati, A.A. and Motahari, M.R.2012. Identification of key parameters on Soil Water Characteristic Curve. Life Science Journal 9(3).1532-1537.

Hill, JNS. And Sumner, ME. 1967. Effect of bulk density on moisture characteristics of soils. Soil Sci, 103: 234–238.

Jian, z. Jian lin, Y. 2005 .Influences affecting the soil-water characteristic curve. Zhejiang Univ SCI, 6A(8):797-804

Johari, A., Habibagahib, G. and Ghahramanib A. 2011. Prediction of SWCC using artificial intelligent systems: A comparative study. Scientia Iranica, A (2011) 18 (5), 1002–1008.

Lin, b. Cerato, a.b.2012. Investigation on Soil–Water Characteristic Curves of Untreated and Stabilized Highly Clayey Expansive Soils. Geotech Geol Eng, 30:803–812. DOI 10.1007/s10706-012-9499-0

Lowery, B. and Schuler, R.T. 1991. Temporal effects of subsoil compaction on soil strength and plant growth. Soil Science Society of American Journal, 55: 216–223.

Mahmood, Kh.R. and Abdul Kareem, A.H.2010. Nature of Soil-Water Characteristics Curves (SWCC) for Soils from Anbar Governorate. Anbar Journal of Engineering Sciences, Vol.3, No.1.61-80.

McKenzie, R. H. 2010. Agricultural Soil Compaction: Causes and Management. Agriculture Research Division. Agdex 510-1.

Miller, C. J. ASCE M. Yesiller, N. ASCE, A.M. Yaldo, K. And Merayyan, S. 2002. Impact of Soil Type and Compaction Conditions on Soil Water Characteristic. Journal of geoetechnical and geoenvironmental engineering, 733-742.

Osinubi, K. J. Bello, A.A.2011. Soil-Water Characteristics Curves for Reddish Brown Tropical Soil. Electronic Journal of Geotech, Vol, 16 Bund. A.

Rab, M.A. 2004. Recovery of soil physical properties from compaction and soil profile disturbance caused by logging of native forest in Victorian Central Highlands, Australia. Forest Ecology and Management, 19:329–340.

Radford, BJ. Bridge, BJ. Davis, RJ. Mcgarry, D. Pillai, UP. Rickman, JF. Walsh, PA. And Yule, DF. 2000. Changes in the properties of a vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic. Soil Till, Res: 54: 155–170.

Raza, W. Yousaf, S. Niaz, A. Rashed, M. Kh. And Hussain, I. 2005. Subsoil compaction effects on soil properties, nutrient uptake and yield of maize fodder. Pakistan Journal of Botany, 37:933–940.

Richard, G. Cousin, I. Sillon, J.F. Brund, A. And Guearif, J. 2001. Effect of compaction on the porosity of a silty soil infuence on unsaturated hydraulic properties. European Journal of Soil Science, 52:49–58.

Sillon, JF. Richard, G. and Cousin, I. 2003. Tillage and traffic effects on soil hydraulic properties and evaporation. Geoderma, 116: 29–46.

Tarawally, MA. Medina, H. Frometa, ME. And Itza, CA. 2004. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferrasol in Western Cuba. Soil Till, Res 76: 95–103.

Vanapalli, S. K. Fredlund, D.G. and Pufahl, D.E. 1999. The influence of soil structure and stress history on the soil-water characteristics of a compacted till. Geotechnique, 49 (2): 143-159.

Zhang, Sh. Grip, H. And Lovdahl, L. 2006. Effect of soil compaction on hydraulic properties of two loess soils in China. Soil and Tillage Research, 90:117–125.

ISSN 2251-7480

The effect of soil type and compaction conditions on soil water characteristic curve

Mansure Bayram[1*] and Omid Bahmani[2]

1*) MSc. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran
*Corresponding author email: mansure.bayram@gmail.com
2) Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Received: 14-04-2015 Accepted: 22-09-2015

Abstract

Quantitative evaluation of soil compaction to improve agricultural management practices and reduce the problems caused by compaction in the environment and production is essential, and such factors as compaction effort, soil type (%clay and soil plasticity) and water content condition have a significant impact on soil compaction. This research was conducted to study the effect of soil type and compaction on soil water characteristic curve with factorial experiment using randomized complete block design and 27 treatments were provided. Treatments consisted of three soil types: clay, clay loam and sandy loam under three compaction conditions: reduced, standard, and modified were performed. The compactions were performed in the three moisture conditions: dry, optimum and wet and undisturbed samples were provided as control. Mean comparison was conducted using Duncan's test and statistical analysis was performed by SAS statistical. The results showed that at all potentials, the influence of soil type on soil water retention was significant at the $p<0.01$ that is demonstrate the influence of soil type and increasing soil plasticity and clay content on water retention. Also based on the results, soil type, and water content and compaction condition increases compaction effort and increasing compaction on average increases the amount of soil water retention and changes in soil hydraulic and physical properties. In general soil water characteristic curve changed significantly with increasing compaction.

Keywords: soil plasticity, soil water retention, suction, water content