اثر اختلاط سه نوع ماده آلی با خاک بر حداکثر چگالی ویژهٔ ظاهری خشک و گنجایش رطوبت بحرانی خاک در طول فشردگی

بیرامعلی عزیزی آق‌قلعه[1]

چکیده

تأثیر سه نوع ماده آلی بر حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک (MDBD) و گنجایش رطوبت بحرانی (CMC) دو خاک بررسی گردید. خاک‌های مورد آزمایش (Coarse Loamy, Mesic, Typic Xerofluvents and Fine Mixed, Calcixerollic, Xerochrepts) از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری شده و درصد ماده آلی و بافت آنها تعیین گردید. سه نوع ماده آلی شامل خاک‌برگ، کود دامی و تفاله ضایعات سیب با خاک‌های مورد آزمایش به نسبت‌های صفر، ۴، ۸ و ۱۲ درصد مخلوط شد. مخلوط‌های خاک و ماده آلی تا مقادیر متفاوتی مرطوب، و سپس با کمک یک پراکتورمتر چکش‌دار در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ضربه، فشرده شدند. آزمایش با استفاده از طرح فاکتوریل در چارچوب بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد.

نتایج آزمایش گویای کاهش چگالی مخصوص ظاهری (MDBD) از ۱/۵۳ تا $1/28\ g.cm^{-3}$ و افزایش میانگین گنجایش رطوبت بحرانی (CMC) از ۲۳/۳۲ تا ۳۳/۲۸ درصد وزنی، در اثر کاربرد مقادیر مختلف ماده آلی (از صفر تا ۱۲ درصد) است. در تمامی نتایج کاهش گنجایش رطوبتی خاک‌ها با افزایش فشردگی همراه بود. هم‌چنین، کاهش MDBD در اثر اختلاط خاک با ماده آلی به ترتیب در خاک‌برگ، کود دامی و تفاله سیب مشاهده شد. در این آزمایش، خاک لوم رسی دارای چگالی ظاهری خشک کمتر، ولی در عین حال گنجایش رطوبتی بیشتری نسبت به خاک لوم شنی بود. اثر هم‌بستگی خاک با سه نوع ماده آلی در آزمایش فشردگی و عوامل مورد بررسی معنی‌دار بود، و معادله‌ای از رابطه MDBD و CMC، برای ترکیبی از خاک و سه نوع ماده آلی پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: *حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک، گنجایش رطوبت بحرانی خاک، ماده آلی، فشردگی*

مقدمه

خاک از جمله منابع کشاورزی دیر تجدید شونده است. حفاظت خاک بستگی به نحوه استفاده از آن دارد. تخریب و فرسایش خاک سطحی، باعث کاهش جذب، ذخیره آب و مواد غذایی، تهویه، رشد ریشه گیاهان و... می‌شود. فشرده شدن خاک‌ها در کشاورزی عملی نامطلوب به شمار می‌رود (۴۰)، زیرا سبب کاهش تهویه در خاک شده، آب قابل مصرف برای گیاه را کاهش

۱. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

با کمال تأسف در آخرین روزهای انتشار این شماره با خبر شدیم که جناب آقای دکتر عزیزی آق‌قلعه به رحمت ایزدی پیوسته‌اند. هیئت تحریریه مجله ضمن عرض تسلیت به بازماندگان آن مرحوم، در صورت وجود کم و کاستی در این مقاله، از خوانندگان گرامی پوزش می‌طلبد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

می‌دهد، و نیز مانع رشد و گسترش فیزیکی ریشه در خاک می‌گردد. در آماده سازی زمین، از بین بردن علف‌های هرز، کاربرد ماده آلی و برداشت محصول اغلب از ماشین‌های سنگین استفاده می‌شود. رفت و آمد ماشین‌ها لایه‌های فشرده‌ای را درست زیر ناحیه شخم به وجود می‌آورد. به این گونه لایه‌های فشرده، سخت لایه (کفه) خاک‌ورزی گفته می‌شود. وجود همین سخت لایه‌های خاک‌ورزی است که موجب می‌شود نفوذ آب در جویچه‌های محل رفت و آمد ماشین‌ها کندتر گردد. هم‌چنین، بر اثر تهویه نامناسب و دخالت‌های مکانیکی، و یا هر دوی آنها، حرکت ریشه کند یا متوقف می‌شود. فشردگی خاک مشکل جدی است که تجمع آب و در نتیجه غرقاب شدن طولانی خاک، تهویه ضعیف و کاهش محصول را به همراه دارد (۲).

هنگامی که براثر اعمال فشار ذره‌های خاک تغییر جا می‌دهند، چگالی ظاهری آنها افزایش می‌یابد و خاک فشرده می‌شود. در این وضعیت حجم کل منافذ خاک کاهش می‌یابد. با این وجود، در چنین حالتی شمار منفذهای کوچک افزایش و شمار منفذهای بزرگ کاهش می‌یابد (۲). زوزل و همکاران (۴۴) گزارش دادند که افزایش چگالی ظاهری در خاک‌های سطحی رابطه مستقیمی با خاک‌ورزی دارد، و بیشتر میزان فشردگی را از روی چگالی ظاهری اندازه‌گیری می‌کنند. آشکارترین نشانه فشردگی خاک آن است که وقتی با بیل کنده می‌شود (حتی زمانی که خاک مرطوب است) سخت و شکننده است.

ارزان‌ترین و ساده‌ترین روش برای کاستن فشردگی، تغییر زمان انجام کارهایی است که به رفت و آمد ماشین‌ها در مزرعه نیاز دارد. مناسب‌ترین هنگام برای رفتن به مزرعه زمانی است که خاک نسبتاً خشک باشد، و این سطح رطوبتی برای خاک شنی چند روز پس از آبیاری به دست می‌آید، در حالی که برای خاک‌های رسی ممکن است چند هفته به طول انجامد (۲).

هر خاکی در مقدار معین از رطوبت بیشترین فشردگی را خواهد داشت. حد رطوبتی یاد شده تابعی از بافت خاک، نوع کانی‌های رسی و مقدار ماده آلی موجود در خاک است (۲۲ و ۳۳). مهم‌ترین عامل مؤثر بر فشردگی خاک، رطوبت آن در موقع خاک‌ورزی و رفت و آمد ماشین‌های کشاورزی در مزرعه می‌باشد (۵ و ۳۸). به اعتقاد رالندز و همکاران (۳۶)، رطوبت مطلوب برای خاک‌ورزی، پایین‌تر از گنجایش رطوبت بحرانی[1] (CMC) است، و از این رو نیاز به انجام آزمایش از مقادیر فشردگی و متقابلاً تعیین CMC است.

فشرده شدن خاک و سخت لایه‌های خاک‌ورزی به وجود آمده (۳۹)، بستگی به مقدار و نیروی فشردگی طبیعی، گنجایش رطوبتی، فشردگی اولیه، و ویژگی‌های خاک مانند بافت و محتوای ماده آلی دارد (۹). کشاورزان معمولاً به راحتی نمی‌توانند رطوبت و فشردگی خاک راکنترل کنند. بنابراین، تأثیر ماده آلی بر کاهش فشردگی خاک‌ها و افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها قابل توجه می‌باشد (۹، ۴۰ و ۴۳). ماده آلی سبب افزایش رطوبت خاک می‌شود، و مقاومت خاک را در برابر فشرده شدن افزایش می‌دهد (۳۴). با افزایش رطوبت خاک، چگالی ظاهری خاک در حالت فشرده شدن تا حداکثر افزایش یافته، سپس کاهش می‌یابد.

ذرات خاک خشک به سادگی روی هم نمی‌لغزند و سایش در بین آنها صورت می‌گیرد، اما وجود آب سایش راکاهش داده و چگالی ظاهری خاک را افزایش می‌دهد. این حالت تا یک حد معین امکان‌پذیر است، زیرا آب تراکم‌پذیر نیست، بنابراین فضا را اشغال می‌کند (۲ و ۳۴).

ترکیبی از ماده آلی در خاک به طور معمول ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها را بهبود می‌بخشد، و کاهش فشردگی را به همراه می‌آورد، به طوری که اضافه کردن ماده آلی از جنس پیت (۱۱)، کود دامی (۱۷)، کاه و کلش (۳۰)، ضایعات چغندرقند از کارخانه قند (۳۴)، و کود سبز (۲۹) بارها گزارش شده است.

از آن جایی که ماده‌های آلی دارای چگالی ظاهری مخصوص به خود می‌باشند، از این رو تأثیر هر ماده آلی در پایداری خاک‌دانه‌ها معنی‌دار است، و هر یک در کاهش فشردگی

1. Critical moisture content

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

خاک‌ها سهم بسزایی دارند. بنابراین، لازم است تأثیر هر یک از آنها مشخص شود (۱۴)، به ویژه تأثیر پیت در کاهش پایداری خاک دانه‌ها دیده شده است (۲۰). ژانگ و همکاران (۴۳) معتقدند افزودن پیت به خاک‌های چسبنده (رسی) و شنی، در رطوبت‌های کمتر از رطوبت بحرانی، حداکثر تأثیر را در کاهش فشردگی در آزمایش پراکتورمتر دارد. هر بار که خاک شخم می‌خورد، مقداری فشردگی رخ می‌دهد.

گسترش فشردگی به CMC خاک و چگالی ظاهری وابسته بوده، و مقادیر مطمئنی از چگالی ظاهری خشک و رطوبت بحرانی موجود است، که شخم زدن در این مقادیر احتمال فشردگی را کمتر می‌کند (۲ و ۲۲). در گزارش دیگری (۱) آمده است «عملیات آماده سازی بستر کشت (در صورتی که در دامنه محدودی از رطوبت خاک انجام شود) سبب بهبود ساختمان خاک می‌شود». افزایش میزان بقایای گیاهی معمولاً سبب کاهش چگالی ظاهری خاک می‌گردد (۲۳، ۲۵ و ۲۶). یکی از دلایل کاهش چگالی ظاهری بر اثر افزایش میزان مالچ، ازدیاد فعالیت کرم خاکی در کرت‌های دارای مالچ است (۲۷).

بررسی‌های کمی در زمینه تأثیر ماده آلی بر فشردگی خاک و مقایسه میان آنها انجام شده است. از این رو، هدف این پژوهش مشخص کردن آثار کیفی سه نوع ماده آلی (خاک‌برگ، کود دامی و ضایعات سیب) در فشردگی دو نوع خاک است، که در آنها حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک[1] (MDBD) و گنجایش رطوبت بحرانی (CMC) تعیین می‌شود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر نسبت‌هایی از سه نوع ماده آلی با دو سری از خاک‌های منطقه‌ای میاندوآب بر فشردگی، و مقادیر MDBD و CMC، آزمایشی در سال ۱۳۷۷ در آزمایشگاه انجام شد. در این مطالعه نمونه خاک‌های به هم خورده‌ای از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری دو سری از خاک‌های دشت میاندوآب آذربایجان غربی (۵) تهیه شد (سری قره گل و باروق Coarse Loamy, Mesic Typic Xerofluvents and Fine Mixed, Calcixerollic Xerochrepts).

پس از خشک کردن در هوای آزاد و کوبیدن، نمونه‌های خاک از الک دو میلی‌متری عبور داده شد، و برای تعیین درصد ذرات تشکیل دهنده و بافت خاک‌ها روش هیدرومتری (۱۹) به کار رفت، و مقدار ماده آلی این سری خاک‌ها با روش واکلی و بلاک (۴۲) تعیین گردید (جدول ۱).

در این آزمایش از سه نوع ماده آلی (خاک‌برگ، کود دامی و ضایعات سیب) استفاده شد. چگالی ظاهری خشک هر یک از این مواد، به کمک استوانه‌ای با حجم مشخص، از روی وزن خشک آنها تعیین گردید (۹). هم‌چنین، این ماده‌های آلی مقدار زیادی خار و خاشاک در ترکیب خود داشتند. درصد خار و خاشاکی که قطرشان از ۰/۱ میلی‌متر بیشتر بود از روی وزن خشک تعیین شد (۱۵ و ۱۶) (جدول ۲). ضایعات سیب، که تفاله‌ای نرم و مرطوب بود، از کارخانه کنسانتره سیب ارومیه تهیه گردید. این ضایعات احتمالاً محتوی کلسیم، فسفر، پتاسیم، موم، ازت، سلولز، پکتین و... بود. چنین محتویاتی را پال (۳۴) هم در بررسی‌های خود گزارش کرده است.

خاک‌های مورد آزمایش، پس از آن که با نسبت‌های صفر، ۴، ۸ و ۱۲ درصد ماده آلی مخلوط شد، در لوله‌های ته بسته PVC با قطر ۱۹ سانتی‌متر و طول ۴۲ سانتی‌متر قرار گرفت، و به طور مکانیکی متراکم شد. فشردگی با ضربات کوبنده‌ای بود که از یک ارتفاع و با یک شدت مشخص و معین بر خاک‌ها وارد می‌شد. این فشردگی در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ضربه (۴ و ۲۸)، و در مقادیر مختلف رطوبتی ۵-۵۰ درصد انجام شد. برای کنترل تراکم و رطوبت، به کمک یک استوانه فلزی به قطر پنج و ارتفاع پنج سانتی‌متر، نمونه‌برداری از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری صورت گرفت، و چگالی ظاهری خشک و درصد رطوبت وزنی و حجمی مخلوط مواد آلی و خاک تعیین گردید (۴، ۹ و ۲۸).

آزمایش‌ها با طرح فاکتوریل در چارچوب بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید، و میانگین‌های اعداد با استفاده

1. Maximum dry bulk density

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار درصد ماده آلی و درصد ذرات خاک‌های مورد آزمایش

سری خاک‌ها	درصد ماده آلی	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک
قره‌گل	۱/۵۳±۰/۱	۵۹/۶±۰/۱	۲۴/۶±۰/۱	۱۵/۸±۰/۳	لوم شنی
باروق	۱/۱۳±۰/۱	۲۱/۰±۰/۵	۴۶/۴±۰/۲	۳۲/۶±۰/۳	لوم رسی

جدول ۲. درصد خار و خاشاک ماده‌های آلی و چگالی ظاهری خشک آنها

ماده آلی	چگالی ظاهری خشک ($g.cm^{-3}$)	درصد خار و خاشاک
خاک‌برگ	۰/۰۸	۸۵
کود دامی	۰/۳۸	۸۲
ضایعات سیب	۰/۴۲	۵۵

از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح یک درصد احتمالات مقایسه شد.

شاخص پایداری خاک‌دانه‌ها با روش غربال تر (۱۶ و ۴۱) تعیین گردید. در این روش ذرات خاک و مواد آلی افزوده شده، پس از خشک شدن در هوای آزاد و کوبیدن آنها، از الک هشت میلی‌متری عبور داده شد، و سپس آزمایش روی انواع خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از هشت میلی‌متر انجام گرفت. در این آزمایش از دسته الک‌های ۳، ۴ و ۵ میلی‌متری استفاده شد. از روی میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌های باقی مانده در الک، شاخص پایداری تعیین گردید (جدول ۵).

خمیرایی خاک به روش کاسه گراندا انجام شد (۷)، و شاخص حد سیلان و خمیرایی خاک‌های مورد آزمایش و مواد آلی افزوده شده در جدول (۶) ارائه گردید.

نتایج و بحث

عوامل مؤثر در MDBD و CMC

چگالی ظاهری خشک و مقدار رطوبت خاک‌ها در تمامی مقادیر فشردگی، و مقدار و نوع ماده آلی اندازه‌گیری و معین شد. چگالی ظاهری خشک خاک لوم شنی، در میزان فشردگی ۳۰ ضربه با مقادیر رطوبت ۵-۵۰ درصد وزنی در شکل ۱ نشان داده شده است. در شکل، ابتدا افزایش ظرفیت رطوبت خاک با افزایش چگالی ظاهری خشک خاک همراه بوده، و افزایش تا یک حد معین ادامه پیدا کرده، و حداکثر MDBD و CMC به دست آمده است. سپس با افزایش مقدار رطوبت خاک، چگالی ظاهری خشک خاک کاهش چشم‌گیری را نشان می‌دهد. به مقدار رطوبت خاک که در آن MDBD رخ می‌دهد، در مهندسی مکانیک خاک «رطوبت بهینه خاک» گفته می‌شود (۳۱ و ۳۷). از آن جایی که فشرده و متراکم شدن خاک‌ها در عملیات کشاورزی یک امر غیرطبیعی و غیرمطلوب به شمار می‌رود، در چنین مواقعی حداکثر مقدار رطوبت خاک را نه به نام رطوبت بهینه، بلکه به نام «ظرفیت رطوبت بحرانی (CMC)» می‌شناسند (۳۱ و ۳۷).

در این بررسی نتایج تمامی نمونه‌ها مانند شکل ۱ بوده است. ولی حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک و مقدار رطوبت بحرانی آنها متفاوت، و تفاوت میان آنها معنی‌دار بود. حداکثر چگالی ظاهری خشک و درصد رطوبت بحرانی خاک‌ها، و برای انواع ماده آلی و مقادیر فشردگی آنها در جدول ۳ آورده شده است. هم‌چنین، میانگین مقادیر MDBD و درصد CMC در دو خاک مورد آزمایش، با مقادیر و انواعی از مواد آلی و مقادیر فشردگی، در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری دارند (جدول ۴).

مقادیر کاهش چگالی ظاهری خشک، همراه با افزایش رطوبت خاک و افزایش مقدار ماده آلی افزوده شده، در جداول ۳ و ۴ آمده است. افزایش مقدار ماده آلی در خاک با کاهش چگالی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

جدول ۳. تأثیر مقدار انواع ماده آلی افزوده شده و میزان فشردگی بر شاخص حداکثر چگالی ظاهری خشک ($g.cm^{-3}$) و درصد وزنی رطوبت بحرانی در دو سری از خاک‌ها

نوع خاک		مقدار فشردگی	خاک	ماده آلی ۴ درصد			ماده آلی ۸ درصد			ماده آلی ۱۲ درصد		
		(ضربه)	شاهد	خاک برگ	کود دامی	ضایعات سیب	خاک برگ	کود دامی	ضایعات سیب	خاک برگ	کود دامی	ضایعات سیب
سری	۱۰	MDBD	۱/۵۹	۱/۲۵	۱/۵۱	۱/۵۵	۱/۱۱	۱/۴۸	۱/۵۱	۰/۹۸	۱/۴۲	۱/۴۵
قره‌گل		CMC	۱۹/۱	۳۰/۱۰	۲۳/۱۵	۱۲/۰۱	۳۴/۹۵	۲۴/۱۰	۲۲/۰۰	۴۲/۳۰	۲۷/۰۱	۲۶/۰۵
	۲۰	MDBD	۱/۶۹	۱/۳۹	۱/۶۳	۱/۶۴	۱/۱۹	۱/۵۸	۱/۵۹	۱/۱۱	۱/۵۱	۱/۵۳
(لوم شنی)		CMC	۱۴/۹۸	۲۲/۵۰	۱۷/۸۰	۱۶/۹۰	۳۴/۴۱	۱۹/۴۰	۱۹/۸۷	۴۰/۰۱	۲۳/۵۰	۲۲/۰۰
	۳۰	MDBD	۱/۷۴	۱/۴۷	۱/۷۱	۱/۷۱	۱/۲۳	۱/۶۴	۱/۶۲	۱/۱۹	۱/۵۵	۱/۵۸
		CMC	۱۳/۹۱	۲۱/۹۸	۱۵/۸۱	۱۵/۸۰	۳۱/۰۰	۱۸/۹۵	۱۶/۴۴	۳۵/۹۱	۲۳/۰۰	۲۱/۸۹
سری	۱۰	MDBD	۱/۲۹	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۲۳	۱/۹۷	۱/۲۲	۱/۲۲	۰/۹۶	۱/۱۸	۱/۲۲
باروق		CMC	۳۵/۹۸	۳۸/۱۰	۳۴/۹۸	۳۴/۵۰	۴۱/۹۰	۳۸/۹۶	۳۶/۳۴	۴۶/۰۰	۴۱/۱۰	۳۷/۹۱
	۲۰	MDBD	۱/۴۰	۱/۱۸	۱/۳۵	۱/۳۷	۱/۰۷	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۰۲	۱/۳۱	۱/۳۴
(لوم رسی)		CMC	۲۸/۸۵	۳۶/۰۰	۳۳/۴۵	۳۰/۰۰	۴۰/۰۰	۳۲/۹۶	۳۱/۵۱	۴۴/۵۰	۳۲/۴۵	۳۱/۲۵
	۳۰	MDBD	۱/۴۶	۱/۲۵	۱/۴۲	۱/۴۳	۱/۱۰	۱/۴۰	۱/۴۰	۱/۰۹	۱/۳۵	۱/۳۸
		CMC	۲۷/۰۷	۳۳/۰۰	۲۹/۰۰	۲۸/۰۰	۳۹/۹۰	۳۰/۹۰	۲۹/۴۴	۴۲/۱۰	۳۱/۶۵	۳۰/۵۱

MDBD = حداکثر چگال خشک خاک برحسب گرم در سانتی‌مترمکعب

CMC = گنجایش رطوبت بحرانی برحسب درصد

دامنهٔ تغییرات انحراف معیار برای چگالی ظاهری خشک خاک‌ها ۰/۰۲-۰/۰۸، و برای رطوبت بحرانی خاک ۰/۴-۴ درصد می‌باشد.

جدول ۴. مقایسه میانگین حداکثر چگالی ظاهری خشک و مقدار رطوبت بحرانی

سطح فاکتورها ماده آلی افزوده شده (%)	میانگین حداکثر چگالی ظاهری خشک (gcm^{-3})	میانگین مقدار رطوبت بحرانی (%)
صفر	۱/۵۳^{d}	۲۳/۳۲^{d}
۴	۱/۴۱^{c}	۲۶/۷۸^{c}
۸	۱/۳۳^{b}	۳۰/۱۴^{b}
۱۲	۱/۲۸^{a}	۳۳/۲۸^{a}
انواع ماده آلی		
خاک‌برگ	۱/۱۴^{a}	۳۶/۳۶^{a}
کود دامی	۱/۴۴^{b}	۲۷/۹۵^{b}
ضایعات سیب	۱/۴۴^{b}	۲۶/۱۰^{c}
انواع خاک		
سری قره‌گل	۱/۵۳^{b}	۲۱/۸^{b}
لوم شنی		
سری باروق	۱/۲۸^{a}	۳۲/۷^{a}
لوم رسی		
سطح فشردگی		
۱۰	۱/۲۸^{a}	۳۲/۸^{a}
۲۰	۱/۳۷^{b}	۲۸/۹^{b}
۳۰	۱/۴۳^{c}	۲۶/۷^{c}

اعداد هر گروه در هر ستون که در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری بر پایهٔ آزمون LSD در سطح یک درصد می‌باشند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

جدول ۵. شاخص پایداری خاک دانه‌ای خاک‌ها در مقادیر مختلف مواد آلی

نوع خاک	ماده آلی	سطح ماده آلی افزوده شده (%)			
		صفر	۴	۸	۱۲
سری	خاک برگ	۲۱/۹±۳	۱۶/۶±۲	۱۵/۷±۱	۱۱/۲±۲
قره‌گل	کود دامی	۲۱/۹±۳	۲۷/۳±۴	۳۳/۵±۴	۳۵/۱±۴
لوم شنی	ضایعات سیب	۲۱/۹±۳	۳۲/۷±۳	۳۳/۵±۴	۳۵/۱±۲
سری	خاک برگ	۶۱/۷±۶	۶۶/۷±۸	۶۴/۶±۵	۳۳/۹±۹
باروق	کود دامی	۶۹/۱±۶	۷۱/۱±۶	۸۵/۶±۷	۹۳/۹±۸
لوم رسی	ضایعات سیب	۶۹/۷±۶	۷۶/۳±۸	۹۰/۰±۹	۹۵/۴±۸

جدول ۶. تأثیر مقدار ماده آلی افزوده شده به خاک بر درصد حد سیلان و خمیرایی

نوع خاک	ماده آلی	حد سیلان و خمیرایی	سطح ماده الی افزوده شده (%)			
			صفر	۴	۸	۱۲
سری	خاک برگ	PL	۱۸/۲	۲۲/۵	۱۸/۱	۳۶/۶
قره‌گل		LL	۲۰/۳	۲۳/۸	۲۹/۲	۳۸/۱
لوم شنی	کود دامی	PL	۱۸/۱	۱۹/۹	۲۰/۰	۲۴/۰
		LL	۲۰/۳	۲۲/۹	۲۳/۸	۲۷/۰
	ضایعات سیب	PL	۱۸/۲	۱۹/۲	۲۱/۹	۲۱/۸
		LL	۲۰/۲	۲۱/۹	۲۷/۱	۲۸/۰
سری	خاک برگ	PL	۳۳/۱	۳۹/۹	۴۴/۰	۵۰/۰
باروق		LL	۵۵/۹	۶۶/۱	۷۵/۹	۷۴/۲
لوم رسی	کود دامی	PL	۳۱/۸	۳۱/۰	۳۴/۴	۳۷/۴
		LL	۵۵/۹	۵۸/۲	۶۰/۷	۶۱/۷
	ضایعات سیب	PL	۳۱/۸	۳۳/۰	۳۲/۳	۳۲/۴
		LL	۵۵/۸	۵۶/۰	۵۸/۰	۵۹/۷

ظاهری و افزایش رطوبت خاک همراه است، و این هم به ترتیب در خاک برگ، کود دامی و ضایعات سیب دیده می‌شود. در این بررسی خاک‌های لوم رسی نسبت به خاک‌های لوم شنی دارای چگالی ظاهری خشک کمتر و رطوبت بیشتر می‌باشند. با افزایش چگالی ظاهری خشک و میزان فشردگی در خاک‌های مورد آزمایش، کاهشی در مقدار رطوبت بحرانی پدید آمده است (جدول ۴).

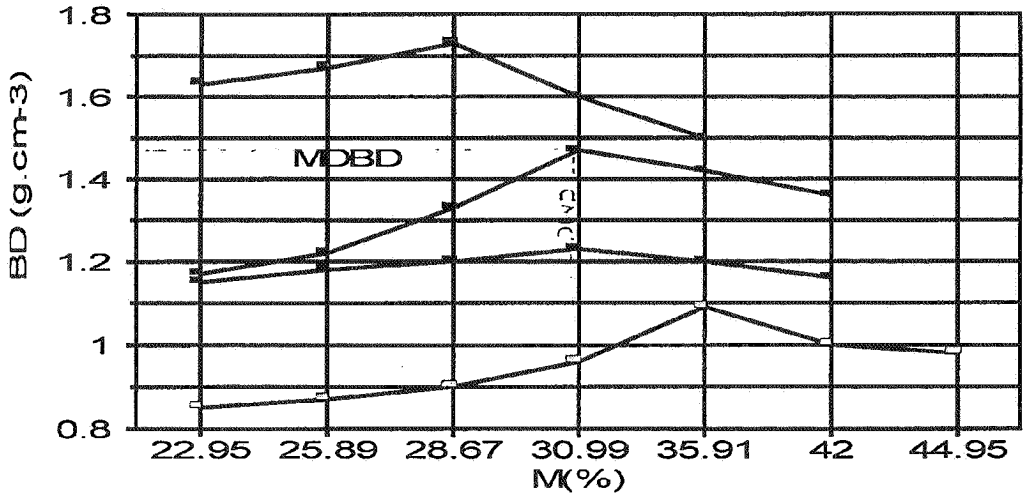
اثر مقدار و نوع ماده آلی افزوده شده به خاک

آثار انواع ماده‌های آلی بر کاهش MDBD و افزایش CMC، در سه مقدار مختلف فشردگی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند (جدول ۴). کاهش MDBD کمتر به چگالی مواد آلی نسبت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

به ترتیب خاک شاهد خاک‌برگ (۴٪) خاک‌برگ (۸٪) خاک‌برگ (۱۲٪)



شکل ۱. رابطه چگالی ظاهری خشک، درصد رطوبت وزنی در خاک لوم شنی در فشردگی ۳۰ ضربه

داده شده، و بیشتر مربوط به گنجایش رطوبتی آنها است. افزایش مواد آلی به خاک سبب کاهش فشردگی و افزایش گنجایش رطوبتی و کاهش چگالی ظاهری می‌شود (۱۱ و ۳۲). در این آزمایش، از آن جایی که خاک برگ دارای چگالی ظاهری خشک کمتری (gcm^{-3} ۰/۰۸) نسبت به کود دامی و ضایعات سیب است، سبب به وجود آمدن خاک‌هایی با چگالی ظاهری خشک کمتر شده است. این تفاوت هر چند در کود دامی و ضایعات سیب دیده می‌شود، ولی از نظر آماری معنی‌دار نیست (جدول ۴). افزودن ماده آلی به خاک به مقدار زیاد، می‌تواند حجم خاک را افزایش داده، ساختمان خاک‌دانه‌ای اسفنجی خاک را بهبود بخشد و چگالی ظاهری آن را به مقدار چشم‌گیری کاهش دهد (۲۱).

اثر مقدار سه نوع ماده آلی در دو نوع خاک، بر شاخص پایداری خاک‌دانه‌ای، در جدول ۵ دیده می‌شود. با افزایش مقدار کود دامی و ضایعات سیب به خاک، پایداری خاک‌دانه‌ها افزایش، و با افزایش خاک برگ پایداری کاهش می‌یابد. کاهش شاخص پایداری خاک‌دانه‌ای خاک در اثر افزایش خاک برگ در بررسی‌های برخی از پژوهشگران هم گزارش شده است (۱۳ و ۲۰). این نتیجه هم به تجزیه‌پذیری کم خاک برگ، و هم به واکنش‌های شیمیایی ضعیف آن در خاک نسبت داده می‌شود. افزودن مقدار زیادی خاک برگ با چگالی خیلی کم سبب کاهش بافت سنگین خاک شده و آن هم سبب کاهش چگالی ظاهری خشک خاک می‌شود. ولی آمیختن خاک برگ با خاک، همانند کود دامی و ضایعات سیب، در برابر فشردگی چندان تأثیری نداشت. هم‌چنین، به علت تجزیه پذیری کم و خاصیت چسبندگی کم خاک برگ، پایداری خاک‌دانه‌ای خاک را به مانند کود دامی اصلاح نمی‌کند.

گزارش شده است (۱) که مقادیر بیش از دو درصد ماده آلی تأثیر چندانی در افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها ندارد، و در مقادیر کمتر از یک درصد نیز فروسایی یا انهدام ساختمان خاک حتمی است. افزون بر آن، خاک‌های فشرده و مرطوب که همراه با خاک برگ هستند، سطح‌های کمی از ساختمان خاک‌دانه اسفنجی و نیز شکسته شدن ساختمان خاک‌دانه‌ای خاک را تحمل می‌کنند، و فقط چگالی کم آنها سبب کمتر شدن چگالی ظاهری خشک خاک می‌شود. اکوو (۱۲) از یافته‌های خود چنین گزارش می‌کند که به رغم این که خاک برگ سبب کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها و نیز کاهش حالت اسفنجی و شکسته شدن ساختمان خاک‌دانه‌ای می‌شود، ولی با حجم زیاد خود در خاک باعث جابه جایی و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

شکسته شدن خاک‌دانه‌ها، و آماده کردن آنها در برابر فرسایش آبی می‌گردد، که یک پاشمان یک طرفه[1] را در خاک به وجود می‌آورد.

نتایج آزمایش‌ها (جدول ۵) و گزارش اکی‌یو (۱۳)، گویای آن است که کود دامی پایداری خاک‌دانه‌ها را افزایش می‌دهد. آمیخته شدن خاک با کود دامی سبب کاهش مقادیر چگالی ظاهری خشک خاک می‌شود، و چگالی ظاهری خشک تیمار شاهد نسبت به خاک‌هایی که با کود دامی آمیخته‌اند، بیشتر است.

ضایعات سیب نسبت به کود دامی پایداری خاک‌دانه‌ای بیشتری در هر دو سری خاک فراهم کرده (جدول ۵)، ولی میانگین مقادیر چگالی ظاهری خشک خاک‌ها را نسبت به کود دامی، در هر دو سری خاک نسبتاً افزایش داده است.

در این آزمایش، مقادیری از CMC برای فشردگی خاک در مورد حداکثر چگالی، با افزایش مقدار ماده آلی تعیین گردید. از آن جایی که ماده آلی استحکام و قوام خاک‌ها را افزایش می‌دهد، خمیرایی خاک‌های مورد آزمایش با مقادیر افزوده شده ماده آلی اندازه‌گیری گردید (جدول ۶).

خمیرایی خاک نشان دهنده توانایی خاک برای تغییر شکل مداوم در برابر نیروهای خارجی، و حفظ شکل جدید پس از برکناری نیروها می‌باشد (۱). در خاک ذرات رس، ماده آلی و گاهی سیلت ویژگی‌های خمیرایی را بروز می‌دهند. تیمار شاهد، و خاک‌هایی که با ماده آلی کمی ترکیب شده بودند، در مقدار رطوبتی کمتر، از خود حد سیلان نشان دادند، ولی خاک‌هایی که با مقدار بیشتری ماده آلی ترکیب شدند، توان تراکمشان افزایش یافته، و در رطوبت‌های زیاد از خود حد سیلان نشان دادند (جدول ۶). پس افزایش مقدار زیادی ماده آلی به خاک، مقادیر CMC را در حد سیلان افزایش می‌دهد، و در خاک‌های مورد بررسی، ترکیب خاک برگ با این خاک‌ها سبب افزایش حد سیلان آنها شده، به گونه‌ای که این افزایش سیلان نسبت به کود دامی و ضایعات سیب، در تمامی مقادیر، بیشتر است. از این رو، مقادیر CMC خاک‌هایی که با خاک برگ آمیخته شده‌اند، نسبت به کود دامی و ضایعات سیب بیشتر بوده و از نظر آماری معنی‌دارتر از آنها می‌باشد (جداول ۳ و ۴).

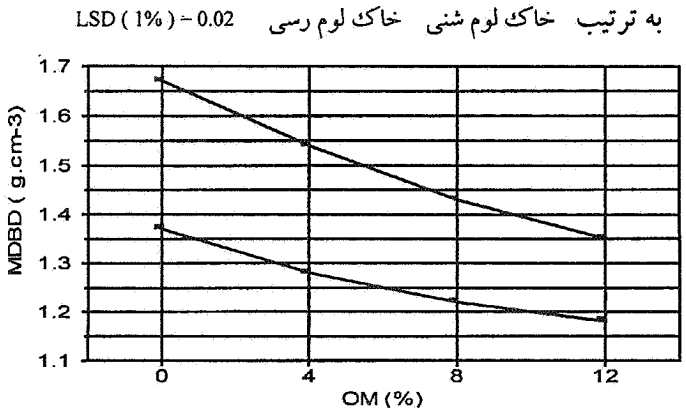
میانگین مقادیر چگالی ظاهری خشک خاک‌های آمیخته با کود دامی و ضایعات سیب خیلی نزدیک به هم هستند، ولی در میانگین مقادیر CMC آنها تفاوت معنی‌دار دیده می‌شود (جدول ۴)، به گونه‌ای که میانگین مقادیر در کود دامی معنی‌دارتر از ضایعات سیب است. این تفاوت آماری میان کود دامی و ضایعات سیب را می‌توان به مقدار خار و خاشاک بیشتر نسبت داد (جدول ۲). حافظ (۲۱) گزارش داد که خار و خاشاک کود دامی، که دارای زبری و درشتی زیادی است، سبب جذب رطوبت بیشتر خاک، همراه با افزایش سطح ویژه آن به حداکثر می‌گردد.

شکل‌های ۲ و ۳ نمایانگر اثر متقابل نوع خاک و سطح مواد آلی افزوده شده به آن می‌باشد. همان گونه که از منحنی‌ها برمی‌آید، MDBD خاک‌های لوم شنی، نسبت به لوم رسی، با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد. در حالی که CMC در خاک لوم رسی نسبت به لوم شنی با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد. این آثار متقابل نشان می‌دهد که ترکیبی از ماده‌های آلی، فشردگی خاک را، به ویژه در خاک‌هایی که درصد شن کمی دارند، بیشتر کاهش می‌دهد. هم‌چنین، اهمیت اختلاف MDBD و CMC در میان ماده‌های آلی افزوده شده دیده می‌شود. این افزایش، با اضافه شدن سطح ماده آلی، به وسیله اثر متقابل نوع و سطح ماده آلی در شکل‌های ۳ و ۶ به چشم می‌خورد. هم‌چنین، میانگین‌های مقادیر چگالی ظاهری خشک خاک برای کود دامی و ضایعات سیب، با توجه به منحنی شکل ۳، خیلی نزدیک به هم است. در خاک لوم شنی، نسبت به خاک لوم رسی، اختلاف معنی‌دارتری در مقادیر MDBD و CMC دیده می‌شود (شکل‌های ۳ و ۶). این اختلاف معنی‌دار در میان مواد آلی به ترتیب در خاک برگ، کود دامی و ضایعات سیب دیده می‌شود. در واقع این ماده آلی است که موجب کاهش MDBD و افزایش

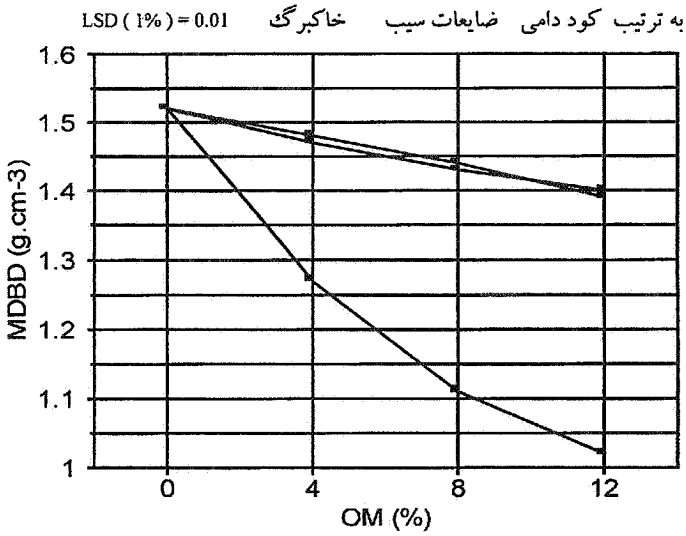
1. Splash detachment

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

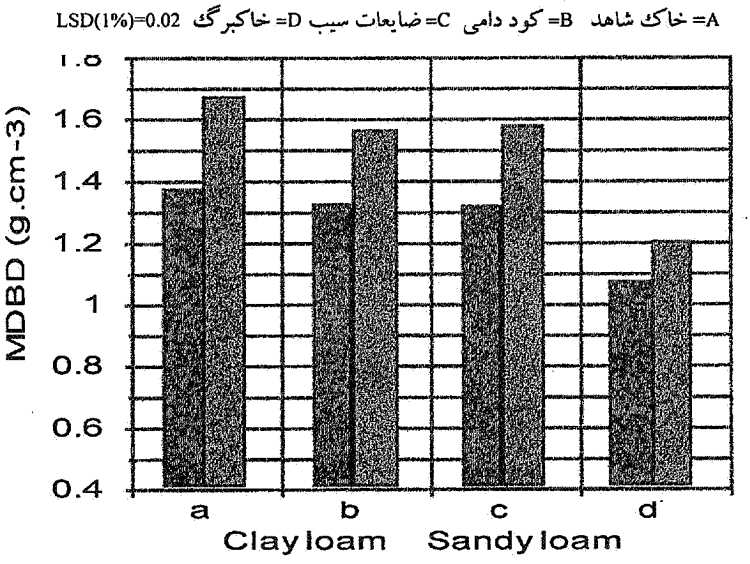
[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]



شکل ۲. تأثیر متقابل سطوح ماده آلی و میانگین حداکثر چگالی ظاهری خشک در خاک‌های مورد آزمایش



شکل ۳. تأثیر متقابل سطوح ماده آلی و میانگین حداکثر چگالی ظاهری خشک در انواع ماده آلی

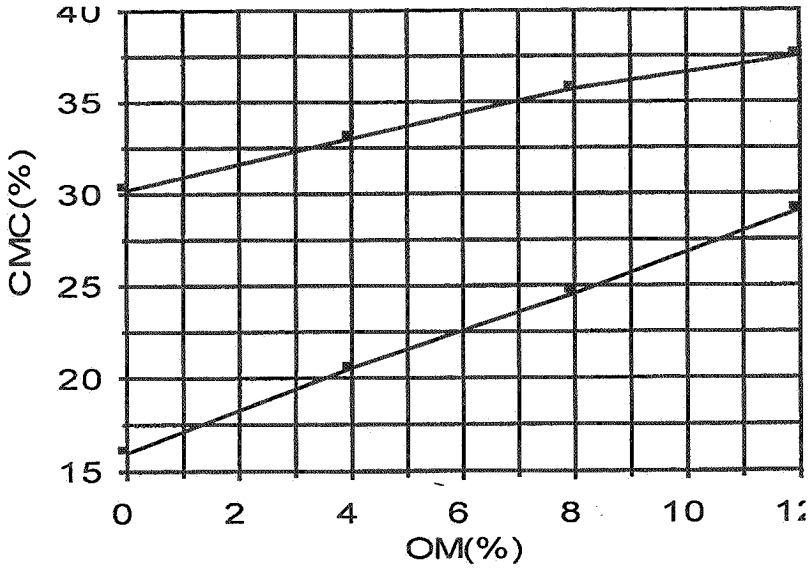


شکل ۴. تأثیر متقابل ماده آلی و میانگین حداکثر چگالی ظاهری خشک در خاک‌های مورد آزمایش

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

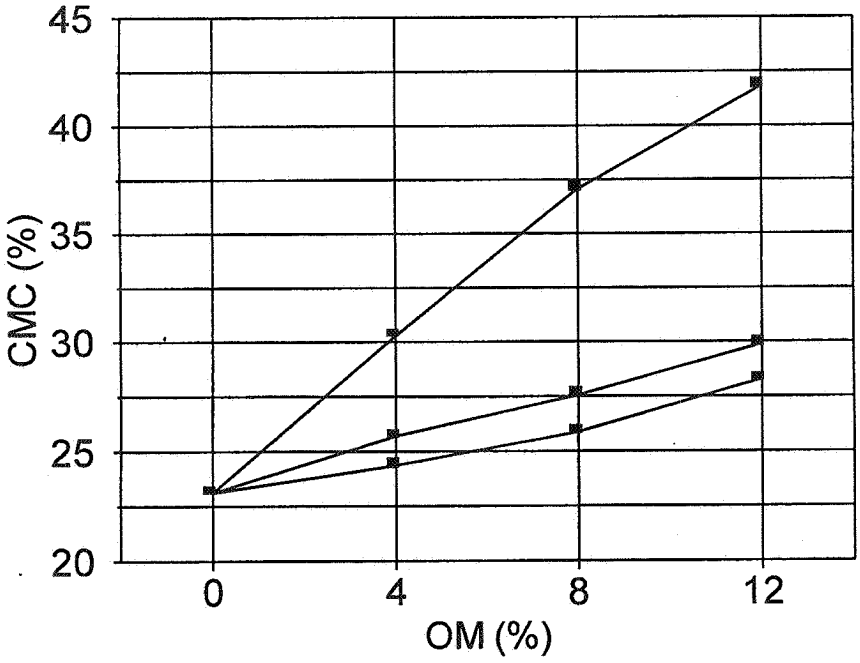
[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

به ترتیب خاک لوم رسی خاک لوم شنی LSD (!%)= 0.51



شکل ۵. تأثیر متقابل سطوح ماده آلی و میانگین گنجایش رطوبت بحرانی در خاک‌های مورد آزمایش

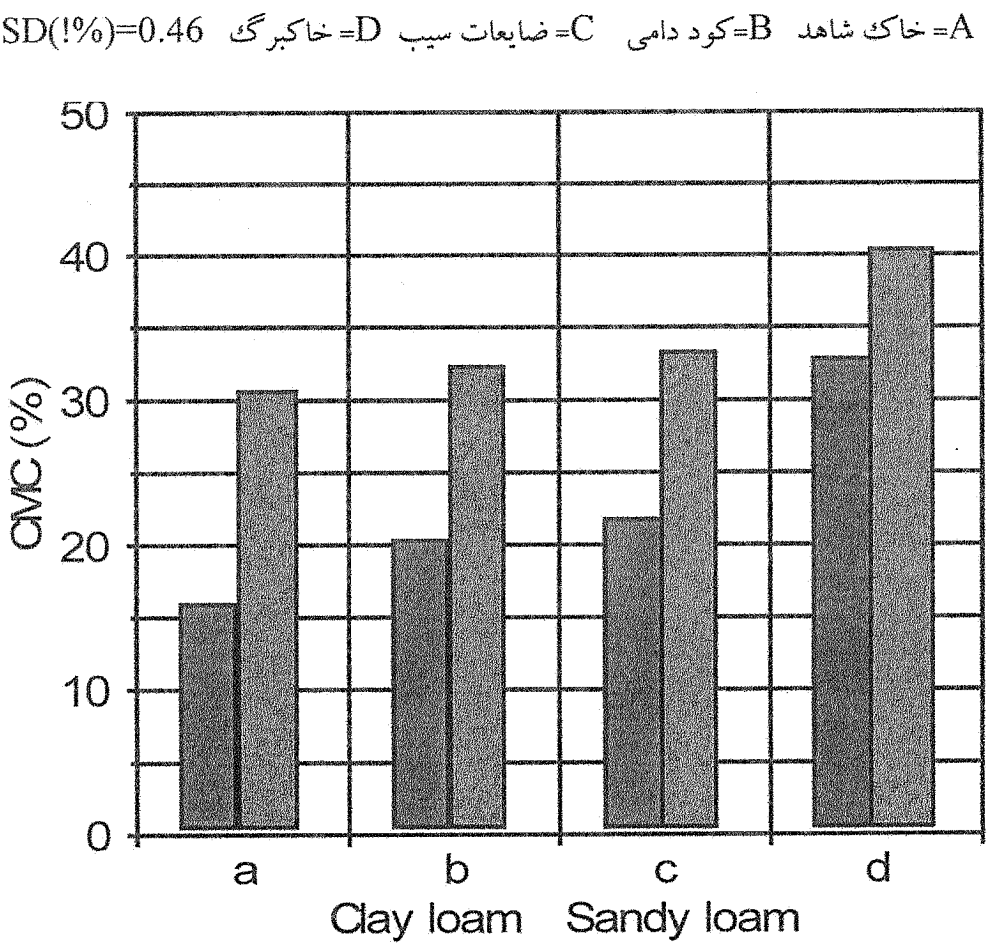
به ترتیب خاکبرگ کود دامی ضایعات سیب LSD (1%)= 0.63



شکل ۶. تأثیر متقابل سطوح ماده آلی و میانگین رطوبت بحرانی در انواع ماده آلی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]



شکل ۷. تأثیر متقابل ماده آلی و گنجایش رطوبت بحرانی در خاک‌های مورد آزمایش

CMC در جریان فشردگی خاک می‌شود.

این آزمایش نشان می‌دهد که حتی نسبت‌های کمی از ماده آلی در خاک، می‌تواند فشردگی را کاهش دهد، و ممکن است این مقدار کم در میان انواع ماده آلی هم متفاوت باشد. هر چند که تأثیر ترکیب‌های مواد آلی خاک فشرده شده به بافت خاک هم بستگی دارد.

اثر نوع خاک در MDBD و CMC

MDBD خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی خیلی معنی‌دار بوده (در سطح یک درصد)، ولی CMC آن نسبت به لوم رسی کمتر است. آیرز و پرومپرال (۸)، و اوهو و همکاران (۳۱) از درجه بالای پایداری خاک‌دانه‌ای خاک‌های لوم رسی در میان خاک‌ها گزارش می‌کنند. خاک‌های لوم رسی مورد بررسی در پژوهش حاضر پایداری خاک‌دانه‌ای بیشتری نسبت به لوم شنی، در تمامی ترکیبات سطوح ماده‌های آلی داشتند (جدول ۵).

اختلاف کاهش در چگالی ظاهری خشک خاک و گنجایش رطوبت بحرانی، در میان دو خاک مورد آزمایش با افزایش ماده آلی، دیده می‌شود (شکل‌های ۴ و ۷). این اختلافات در آثار مقادیر ماده آلی افزوده شده و نوع خاک هم دیده شد. هر چند که بافت خاک در فشردگی خاک بی‌تأثیر نمی‌باشد، ولی افزایش ماده آلی (۳۲) به خاک به نسبت قابل قبول، تأثیر بافت خاک را هم کم می‌کند.

سطح فشردگی

در این آزمایش، با این که افزایش مقدار MDBD با افزایش مقدار فشردگی همراه بود، ولی میانگین مقادیری از CMC

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

کاهش معنی‌داری را با افزایش فشردگی موجب گردید. چنین نتایجی توسط پژوهشگران دیگر (۱۸ و ۳۱) هم گزارش شده است.

رابطه MDBD و CMC و معادله رگرسیونی آنها

از تمامی آزمایش‌های انجام شده در زمینهٔ MDBD و CMC آنها یک رابطه خطی معین شد. در این آزمایش با توجه به شمار پارامترهای حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک (N=۷۲) و گنجایش رطوبت بحرانی (N=۷۲)، معادله رگرسیونی زیر با هم بستگی زیادی به دست آمد (معادله ۱، R^2=۰/۹۷).

= حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک

[۱] (گنجایش رطوبت بحرانی) × ۰/۰۲۳ - ۲/۰۵۹

در این معادله حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک برحسب gcm^{-3}، و گنجایش رطوبت بحرانی برحسب درصد وزنی است. این معادله تعیین شده در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. چنین معادله‌ای را هم پژوهشگرانی همچون دوکمپ و همکاران (۱۱) در سال ۱۹۸۲، رالندز و همکاران (۳۶) در سال ۱۹۸۴، و استون و اکوو (۳۹) در سال ۱۹۹۳ گزارش کرده‌اند. رالندز (۳۶) در بررسی که در خاک‌های مرکزی ایران انجام داد، رابطه حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک و گنجایش رطوبت بحرانی را با ثابت رگرسیونی ۲/۲۴۴ و ضریب ۰/۰۳۳- تعیین کرد. هم‌چنین، استون و اکوو (۳۹) در بررسی خود روی خاک‌های محلی هند، دربارهٔ MDBD و CMC توانستند ثابت رگرسیونی ۲/۱۸۹ و ضریب ۰/۰۳۳- را تعیین کنند. از معادله به دست آمده در این بررسی، نتیجه گرفته می‌شود که چنین معادله‌ای در تمامی خاک‌ها با بافت متناوب و با آمیختن با ماده آلی، و در تمامی مقادیر فشردگی صادق است.

در این آزمایش، فشردگی خاک‌ها را، که در مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ضربه فشرده شده بودند، می‌توان به کمک فروسنج برحسب کیلوپاسکال تعیین کرد. استون و اکوو (۳۹)، و راگاوان و اوهو (۳۵)، با در دست داشتن مقدار تراکم برحسب کیلوپاسکال (نه برحسب ضربه)، توانستند مقادیر MDBD و CMC را از معادلات زیر به دست آورند (۱۲).

$$MDBD=a+b+St=cM+dPc+eDm \quad [۲]$$

$$CMC=a+bCt+cM-eDm-dPc \quad [۳]$$

در معادله فوق مقادیر چگالی ظاهری خشک خاک و گنجایش رطوبت بحرانی بزرگ‌تر از یک است.

S = درصد شن خاک

Ct = درصد رس خاک

M = سطح ماده آلی افزوده شده به خاک (%)

Pc = مقدار فشردگی برحسب کیلوپاسکال

Dm = چگالی ظاهری ماده آلی برحسب گرم‌برسانتی‌مترمکعب

e، d، c، b و a = ضرایب تجربی (در جدول ۷ آورده شده است).

در این آزمایش به علت این که در آزمایشگاه مورد بررسی فروسنج مناسبی نبود، معادله ۲ و ۳ تعیین نشد.

نتیجه‌گیری

ماشین‌های کشاورزی که در رطوبت زیاد خاک‌ورزی می‌کنند موجب فشردگی خاک می‌شوند. این بررسی نشان می‌دهد که نخستین تأثیر ماده آلی در خاک، کاهش فشردگی در برابر خاک‌ورزی است. مواد آلی نه تنها سبب افزایش دامنه تردد پذیری و کاهش تراکم پذیری خاک می‌شوند، بلکه سبب کاهش فشردگی خاک لایه‌های زیرین (۰-۲۵ سانتی‌متری) نیز می‌گردند (۱۸).

از آن جایی که تجزیه خاک برگ در خاک خیلی آهسته صورت می‌گیرد (۲۴)، اثر آن تا مدت زیادی پس از تجزیه در خاک باقی می‌ماند. پس هرگونه نتیجه‌گیری از اثر خاک برگ در دراز مدت امکان‌پذیر است. هنگامی که کود دامی و ضایعات سیب در خاک تجزیه شود، پایداری و استحکام خاک‌دانه‌ای خاک را افزایش می‌دهد. این پایداری و استحکام مقاومتی در برابر فشردگی ایجاد می‌کند که می‌توان نتایج زیر را از آن برداشت نمود:

۱. خاک برگ موجب کاهش مقادیر چگالی ظاهری خشک خاک می‌شود، و افزایش گنجایش رطوبت بحرانی در خاک را

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

جدول ۷. مقادیری از ضرایب رگرسیونی ۲ و ۳ در مورد MDBD و CMC

ماده آلی	a	b	c	d	e	R^2
MDBD (gcm^{-3})						
پیت	۱/۰۶۹	۰/۰۰۵۰	۰/۰۵۶	۰/۰۰۰۴۳	-	۰/۹۱۲
کود دامی	۱/۰۳۴	۰/۰۰۷۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۳۶	-	۰/۹۷۶
ضایعات چغندرقند	۱/۰۳۳	۰/۰۰۷۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۳۷	-	۰/۹۷۲
ضایعات چغندرقند و کود دامی	۱/۰۳۴	۰/۰۰۷۵	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۳۶	-	۰/۹۶۵
کل ماده آلی	۰/۷۸۱	۰/۰۰۶۷	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۳۸	۱/۱۳	۰/۸۴۳
CMC (%)						
پیت	۱۷/۰۷۸	۰/۳۴۹	۱/۷۴۳	۰/۰۱۶	-	۰/۸۷۶
کود دامی	۱۳/۹۸۵	۰/۴۶۸	۰/۵۰۶	۰/۰۱۵	-	۰/۹۷۳
ضایعات چغندرقند	۱۳/۶۸۹	۰/۴۵۳	۰/۳۴۳	۰/۰۱۴	-	۰/۹۷۴
کل ماده آلی	۲۱/۸۱۱	۰/۴۲۳	۰/۸۶۴	۰/۰۱۵	۲۹/۵۴	۰/۸۳۲

نسبت به کود دامی و ضایعات سیب به دنبال دارد.

۲. تأثیر متناسب ماده آلی مورد آزمایش بر حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک و گنجایش رطوبت بحرانی، بستگی زیادی به مقدار آمیختگی ماده آلی و نوع خاک دارد.

۳. رابطه خطی که میان حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک و گنجایش رطوبت بحرانی در معادلهٔ ۱ تعیین شد، و نیز معادله‌هایی که توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده، همگی متأثر از نوع ماده آلی می‌باشد، یعنی با هر نوع ماده آلی می‌توان معادله‌هایی همانند معادلهٔ ۱ تعیین کرد.

۴. افزایش حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک همراه با افزایش فشردگی و کاهش گنجایش رطوبت بحرانی است. خاک لوم رسی دارای حداکثر چگالی ظاهری خشک خاک کمتر و گنجایش رطوبت بحرانی بیشتری نسبت به خاک لوم شنی است. کاهش این اختلاف همراه با افزایش مقادیر ماده آلی ممکن است.

منابع مورد استفاده

۱. بای بوردی. م. ۱۳۷۲. *فیزیک خاک*. انتشارات دانشگاه تهران.

۲. حق‌نیا. غ. ح. ۱۳۷۴. *دشواری‌های نفوذ آب در خاک*. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۳. حق‌نیا. غ. ح. ۱۳۷۵. *خاک شناخت* (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۴. عزیزی آق‌قلعه. ب. ۱۳۷۲. بررسی زه‌کشی زمین‌های چمن در ورزشگاه. پژوهش و سازندگی.

۵. رفیع، م، ج. ۱۳۷۰. *فیزیک خاک* (ترجمه). چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.

۶. فرامرزنیا. ن. ۱۳۷۳. مطالعات خاک‌شناسی نیمه تفصیلی دقیق دشت‌های رحیم‌خان و باروق میاندوآب (استان آذربایجان غربی). نشریه شماره ۸۸۰ مؤسسه تحقیقات خاک و آب، وزارت کشاورزی.

۷. وفاییان. م. ۱۳۶۷. *آزمایش‌های مکانیک خاک* (مستند به استاندارد ۱۳۷۷-۱۹۷۵ BS). جلد اول.

8. Ayers, P. D. and J. V. Perumpral. 1982. Moisture and density effect on cone index. Trans. ASAE 25(5): 1169-1172.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

9. Blake, G. R. and K. H. Hartage. 1986. Bulk density determination. PP. 363-375. *In*: Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agron. Monog.
10. Datta, S. K. and S. S. Hundal. 1984. Effects of organic matter management on land preparation and structural regeneration in rice-based cropping systems. Inorganic matter and rice. PP. 399-416. Internat. Rice Res. Instit., Manila, Phillipines.
11. De Kimpe, C. R., M. Bernier-Cardou and P. Jolicoerur. 1982. Compaction and settling of Quebec soils in relation to their soil-water properties. Canad. J. Soil Sci. 62(1): 165-175.
12. Ekwue, E. I. 1990. Effect of organic matter on splash detachment and the processes involved. Earth Surface Processes 15(2): 175-181.
13. Ekwue, E. I. 1992. Effect of organic and fertilizer treatments on soil physical properties and readability. Soil Tillage Res. 22(3): 199-209.
14. Ekwue, E. I., J. O. Ohu and I. H. Wakawa. 1993. Effect of incorporating two organic materials at varying level on splash detachment. Earth Surface Processes 18(5): 399-406.
15. Farmham, R. S. and H. R. Finney. 1965. Classification and properties of organic soils. Adv. in Agron. 17(1): 115-162.
16. Farres, P. J. and S. M. Cousen. 1985. An improved method of aggregate stability measurement. Earth Surface Processes 10(4): 321-329.
17. Felton, G. K. and M. Ali. 1992. Hydraulic parameter response to incorporated organic matter in the B-horizon. Trans. ASAE 35(4): 1153-1160.
18. Free, G. R., J. Lamb and E. A. Carleton. 1974. Compatibility of certain soils as related to organic matter and erosion. J. Am. Soc. Agron. 39(12): 1068-1076.
19. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Physical and mineralogical methods. PP. 404-410. *In*: Methods of Soil Analysis. Agron. Mono.
20. Greenland, D. J., D. Rimmer and D. Payne. 1975. Determination of the structural stability class of English and Welsh soils. J. Soil Sci. 26(3): 294-303.
21. Hafez, A. A. A. 1974. Comparative changes in soil physical properties induced by admixtures of manure from various domestic animals. Soil Sci. 118(1): 53-59.
22. Haward, R. F. 1975. Factors affecting compaction of 14 California upland soils. MSc. Thesis, Dept. of Land Air and water Res., Univ. of Calif., Davis.
23. Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics. Academic Press, New York.
24. Juo, A. S. R. and R. Lal. 1977. The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of altisol in western Nigeria. Plant and Soil 47: 567-584.
25. Johnston, A. E. and P. C. Brookes. 1979. Yields of and Ca, Mg uptakes by, crop grown in an experiment testing the effect of adding peat to a sandy loam soil at Wobum. Rothamsted Exp. Stat. Report, 1978, Part 2, 83-98.
26. Koshi, P. T. and D. W. Pryrear. 1973. Effect of tractor traffic surface mulch and seedbed configuration on soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 37: 758-762.
27. Lal, R., D. Devleeschauwer and R. M. Nani. 1980. Changes in properties of a newly cleared tropical altisol affected by mulching. Soil Sci. Am. J. 44: 827-833.
28. Lambe, T. W. 1951. Soil Testing for Engineers. John Wiley, New York.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]

29. MacRae. R. J. and G. R. Mehuys. 1985. The effect of green manuring on the physical properties of temperate-area soils. PP. 71-94. *In*: B. A. Stewart (Ed.), Advances in Soils Sci. Springer, New York.
30. Miller, D. E. and J. S. Aerstad. 1971. Furrow infiltration rates as affected by incorporation of straw. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35(3): 492-495.
31. Ohu, J. O., A. Folorunso, F. A. Adeniji and G. S. V. Raghavan. 1989. Critical moisture content as index of compactibility of agricultural soils in Born State of Nigeria. Soil Technol. 2(2): 211-219.
32. Ohu, J. O., G. S. V. Raghavan and E. Mckyes. 1985. Peat moss effect on the physical and hydraulic characteristics of compacted soils. Trans. ASAE 28(5): 420-424.
33. Ohu, J. O., E. I. Ekwue and O. A. Folorunso. 1994. The effects of addition of organic matter on the compaction of a vertisol from northern Nigeria. Soil Technol. 7: 155-162.
34. Paul, C. L. 1974. Effects of filter-press mud on the soil physical conditions in a sandy soil. Tropical Agric. (Trinidad) 51(2): 288-292.
35. Raghavan, G. S. V. and J. O. Ohu. 1985. Prediction of static equivalent pressure of tractor compaction blows. Trans. ASAE 28(5): 1398-1400.
36. Rowlands, G. O., R. Delpak and Ghaem-Maghami. 1984. The engineering properties of saline soils of great kavir in central Iran. PP. 337-341. *In*: J. R. Boyce, W. R. Mackechnie and K. Schwartz (Eds.), Proc. 8th. Annual Soil Mechanics and Foundation Engineering for Africa Conference. Harare Balkema.
37. Saini, G. R., T. L. Chow and I. Ghanem. 1984. Compactibility indexes of some agricultural soils of New Brunswick, Canad. Soil Sci. 137(1): 33-38.
38. Soane, B. D. and Van Ouwerkerk. 1994. Soil Compaction in Crop Production. Elsevier, Amsterdam.
39. Stone, R. J. and E. I. Ekwue. 1993. Maximum bulk density achieved during soil compaction as affected by the incorporation of two organic materials. Am. Soc. Agric. Eng. 36(6): 1713-1719.
40. Thompson, P. J., I. J. Jansen and C. L. Hooks. 1987. Penetrometer predicting root system resistance and bulk density as parameters for performance in mine soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 51(5): 1288-1293.
41. Van Bavel, C. M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 14: 20-23.
42. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the effect of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37(1): 29-38.
43. Zhang, H., H. Harge and H. Ringe. 1997. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil. Soil and Tillage Res. 31: 263-275.
44. Zuzel, J. F., J. L. Pikul. Jr. and P. E. Rasmussen. 1990. Tillage and fertilizer effects on water infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 205-208.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.4.3]