اثر رطوبت خاک و کود دامی بر تراکم پذیری خاک مزرعه لورک

محمدرضا مصدقی، محمدعلی حاج عباسی**، عباس همت*** و مجید افیونی****

چکیده

مطالعه حاضر به جهت بررسی تاثیر رطوبت خاک و کود دامی بر تراکم پذیری خاک به صورت نوارهای خرد شده، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه آموزشی - پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان (لورک) اجرا شد. خاک مورد مطالعه از نظر رده‌بندی تیپیک هاپل آرجید می‌باشد. کود دامی یک سال مانده، شامل سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار تا عمق شخم (۲۰ سانتیمتر) توسط دیسک سنگین با خاک مخلوط شد. پس از گذشت ۵ ماه (تیر تا آبان ماه) در رطوبتهای حد خمیری (PL) ، ۸۰ درصد حد خمیری (۰/۸PL) و ۶۰ درصد حد خمیری (۰/۶ PL) توسط یک تراکتور دو چرخ متحرک مدل اونیورسال U-۶۵۰، با یک عبور (P_1) و دو عبور (P_2) تحت تیمار تراکم قرار گرفت و جرم مخصوص ظاهری (BD) ، شاخص مخروطی (CI) تا عمق ۴۰ سانتیمتر و نشست خاک به عنوان شاخصهای تراکم پذیری و تردد پذیری اندازه‌گیری شد.

افزودن کود سبب کاهش قابل توجه تاثیر بارگذاری و رطوبت در زمان بارگذاری بر BD و CI شد. تفاوت معنی دار بین تاثیر دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار بر BD دیده شد، ولی در مورد CI این تفاوت معنی دار نبود. مواد آلی در رطوبتهای زیاد سبب کاهش و در رطوبتهای پایین سبب افزایش نشست خاک شد. همچنین کود دامی سبب کاهش BD و CI خاک تحت الارضی گردید. در رطوبت PL ۰/۶ افزایش معنی دار در درجه تراکم خاک ایجاد نشد. بنابراین در تیمار بدون کود، رطوبت PL ۰/۶ مناسب تردد پذیری شناخته شد. در حالی که در تیمارهای کودی این حد به PL ۰/۸ رسید. عبور مجدد (P_2) سبب افزایش معنی دار درجه تراکم خاک شد. مطالعه حاضر نشان داد اضافه نمودن کود دامی در مقادیر حدود ۵۰ تن در هکتار سبب کاهش قابل توجه تراکم پذیری و افزایش دامنه رطوبتی تردد پذیری این خاک می‌گردد.

واژه‌های کلیدی - تراکم پذیری، رطوبت خاک، کود دامی و خاک ورزی

مقدمه

از جمله شاخصهای نشان دهنده تخریب فیزیکی خاک، تعیین تراکم می‌باشد. اگرچه از زمانهای بسیار قدیم انسان به علت استفاده از حیوانات در کشیدن ابزار کار و عملیات خاک‌ورزی با مسأله تراکم مواجه بوده است، ولی از اواسط قرن بیستم و به

*- دانشجوی دکترای خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
**- استادیار خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
***- دانشیار ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]

خصوص در طی سی سال گذشته، به دلیل مکانیزه شدن و افزایش وزن ماشین‌های کشاورزی، تراکم خاک به صورت یک مشکل چند بعدی در مقابل کشاورزی پایدار شناخته شده و شامل اثرات متقابل ماشین، خاک، گیاه و اقلیم است (۲۶).

تراکم پذیری خاک از نظر تعریف، عبارتست از بیان کمی رفتار خاک تحت تاثیر تنش و فشارهای مشخص، که معمولاً این رفتار با تغییر جرم مخصوص ظاهری[1] (BD)، درجه پوکی، تخلخل کل، تخلخل تهویه‌ای، نفوذ پذیری آب به خاک و مقاومت خاک بیان می‌شود (۲۳ و ۲۶). تراکم خاک باعث حساسیت بیش از حد گیاه به خشکی، تهویه ناکافی، کاهش جذب آب، کاهش بازده عناصر غذایی، رشد غیر یکنواخت گیاهان، کند شدن جوانه زنی و سیستم ریشه‌ای بد شکل وضعیف و نهایتاً سبب کاهش محصول می‌گردد (۲۶ و ۳۵).

راهکارهای مقابله با تراکم شامل ۱) کنترل رطوبت خاک در موقع خاک‌ورزی و تردد در مزرعه، ۲) کنترل تردد وسایط نقلیه بر روی خاک، ۳) کاهش وزن و فشار تماسی وسایط نقلیه با خاک و ۴) تغییر ساختمان خاک با اضافه کردن ماده آلی می‌باشد. سه روش اول با روشهای معمولی کشت و کار توأم بوده و اغلب وقت گیر و غیر موثر هستند. ولی اضافه نمودن مواد آلی، علاوه بر کاهش تراکم پذیری خاک، اثرات متعدد مفید دیگری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک دارد (۱۹).

مهم‌ترین عامل موثر بر تراکم پذیری خاکها، رطوبت در موقع خاک‌ورزی و تردد (انجام دیگر عملیات ماشینی) در مزرعه است (۱ و ۲۶). به اعتقاد اسپور و گادوین (۲۷) رطوبت مطلوب برای خاک‌ورزی پایین تر از حد خمیری[2] (PL) می‌باشد. آلماراس و همکاران (۷) اظهار می‌دارند این رطوبت در سه بافت خاک لوم رسی سیلتی، لوم رسی و لومی در دامنه رطوبتی PL-PL ۰/۹ است. ولی به اعتقاد پلیوسنین (۲۰) این رطوبت تقریباً معادل ۴۰ درصد تخلخل می‌باشد.

گومن و لال (۱۷) گزارش کردند که رطوبت خاک حتی در زمان برداشت بقایای گیاهی عامل مهمی در رابطه با تراکم است، به طوری که در رطوبت حجمی ۱۱ درصد، BD خاک در عمق ۱۰-۰ سانتیمتری در اثر تردد $1/36\ Mg\ m^{-3}$ و شدت نفوذ $62\ cmhr^{-1}$ بوده است. در حالی که در رطوبت ۱۶ درصد خواص مذکور به ترتیب به $1/44\ Mg\ m^{-3}$ افزایش و به $2/2\ cm\ hr^{-1}$ کاهش یافت. با افزایش زیادتر رطوبت (۲۰ درصد حجمی)، BD در همین عمق به $1/49\ Mg\ m^{-3}$ و شدت نفوذ به $3/2\ cm\ hr^{-1}$ افزایش یافت. بنابراین افزایش رطوبت خاک تا حد مشخصی سبب افزایش تراکم پذیری می‌شود.

کشاورزان معمولاً به راحتی نمی‌توانند رطوبت خاک را کنترل کنند، بنابراین تاثیر مواد آلی بر تراکم پذیری خاکها قابل توجه می‌باشد (۳۵). سوان (۲۳) شش ساز و کار برای توجیه اثر کاهشی مواد آلی بر تراکم پذیری ارائه کرد که عبارتند از ۱) تقویت پیوندهای داخلی و خارجی خاک‌دانه‌ها، ۲) افزایش قابلیت ارتجاع و آسایش تنش[3] خاک، ۳) اثر پوک‌کنندگی[4]، ۴) اثر رشته‌ای[5]، ۵) تغییر موضع در بار الکتریکی سطح ذرات خاک و ۶) تغییر در اصطکاک داخلی و ایجاد اثر نرم کنندگی[6] در خاک.

مواد آلی سبب افزایش حدود پایداری خاک شده، بنابراین سبب افزایش دامنه رطوبتی مطلوب برای تردد ماشین‌های کشاورزی می‌شوند. برای مثال، در یک خاک با ۷ درصد ماده آلی، رطوبت ۵۲/۲ درصد وزنی حداکثر رطوبت مطلوب برای خاک‌ورزی بوده، ولی پس از حذف مواد آلی، خاک در رطوبت ۲۷/۷ درصد به تراکم حساس شده است (۸). به عبارت دیگر مواد آلی سبب افزایش حد خمیری (PL) و حد سیلان[7] (LL) شده، نهایتاً سبب افزایش دامنه تردد پذیری می‌شوند (۱، ۱۴، ۱۵، ۱۹، ۲۸، ۲۹ و ۳۴). البته در این رابطه مواد آلی تازه و غیر هوموسی به طور متفاوتی عمل می‌نمایند (۶، ۳۴ و ۳۵). هولا[8] با اضافه نمودن سالانه کود مزرعه به میزان صفر، ۴۰ و ۸۰ تن در هکتار به مدت سه سال و اعمال تردد مزرعه‌ای با فشار تماسی حدود ۲۵۰ کیلوپاسکال، نتیجه

1. Bulk density
2. Plastic limit
3. Relaxation mode
4. Dillution effect
5. Filament effect
6. Lubrication effect
7. Liquid limit
8. Hula
9. Cone index

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]

گرفت که شاخص مخروطی[1] (CI) در تیمارهای کودی نسبت به تیمار شاهد بسیار کمتر است (به نقل از ۲۳). بچر و مارتین (۹) در دو خاک زراعی و علفزار عملیات خاک‌ورزی انجام دادند. به دلیل مواد آلی بالا و ساختمان مناسب در افقهای سطحی خاک علفزار که ۲۰ سال قدمت داشت، BD کمتر و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بیشتر از خاک زراعی بود. در تحقیقات تاییرک و همکاران (۳۰) برای بررسی اثر توام عمق شخم و میزان کود دامی، همبستگی خطی بین BD و میزان کود اضافه شده نشان داد که کود در تمام تیمارهای عمق شخم سبب کاهش BD خاک می‌شود.

باوجود تمام تحقیقات انجام شده، هنوز نتایج متفاوتی در مورد تاثیر مواد آلی برتراکم پذیری خاکها وجود دارد. به طور کلی تاثیر مواد آلی بر تراکم پذیری خاک در رطوبتهای بالا و فشارهای کم قابل توجه است (۲۳). اگرچه زانگ و همکاران (۳۵) معتقدند که اضافه نمودن پیت به خاکهای چسبنده در رطوبتهای کمتر از رطوبت بحرانی[2] (CMC) در روش پروکتور و در خاکهای شنی در رطوبت CMC حداکثر تاثیر را در کاهش تراکم پذیری دارد.

هدف از این تحقیق بررسی اثر دو عامل مقدار رطوبت خاک در موقع تراکم و مقدار کود دامی بر تراکم پذیری خاک مزرعه لورک بوده است. انتخاب مزرعه لورک برای این تحقیق به دلیل حساسیت خاک آن، به خاطر ماده آلی ناچیز، بافت سطحی لومی رسی سیلتی فاقد خاک‌دانه (جدول ۱ و ۲) و خاک‌ورزی مداوم و بی رویه بود. از طرفی وجود منبع کود دامی در مزرعه به عنوان عامل اصلاح خواص فیزیکی خاک اهمیت داشت.

مواد و روشها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در مزرعه لورک نجف آباد صورت گرفت. خاک مورد آزمایش براساس مطالعات گذشته، جزو زیر گروه تیپیک هاپل آرجید و در سری خاک خمینی شهر[3] می‌باشد (۲).

برخی از خصوصیات فیزیکی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها (MWD) با استفاده از روش غربال‌تر (وان باول)[4] تعیین شد (۳۲).

از طرح نوارهای خرد شده[5] در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده گردید. سطوح فاکتورهای رطوبت خاک و کود دامی به عنوان فاکتورهای اصلی و تعداد عبور تراکتور به عنوان فاکتور فرعی در چهار تکرار مورد آزمایش قرار گرفتند. تیمارهای رطوبتی شامل حد خمیری (PL)، ۸۰ درصد حد خمیری (۰/۸PL) و ۶۰ درصد حد خمیری (۰/۶ PL) و تیمارهای کودی شامل صفر (M۰)، ۵۰ (M۱) و ۱۰۰ (M۲) تن در هکتار بود. خصوصیات فیزیکی خاکهای تیمار شده باکود در جدول ۲ آمده است. افزودن کود (یک سال مانده و دارای جرم مخصوص ظاهری حدود $0/3\ Mg\ m^{-3}$ به خاک سبب افزایش درصد ماده آلی (OM)، درجه اشباع (SP)، ظرفیت زراعی (FC)، LL، PL، شاخص خمیری (PI) و هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks) خاک شده است.

در زمینی به ابعاد تقریبی ۲۰×۶۰ متر، کرتهایی برای پخش کود دامی به ابعاد ۶×۱۵ متر جدا گردید. تیمارهای رطوبتی و عبور تراکتور در جهت عمود بر تیمارهای کودی قرار داده شد. کود دامی پس از پخش برروی خاک شخم خورده، با استفاده از دیسک سنگین تا عمق ۲۰ سانتیمتری با خاک مخلوط شده، تیمارها به مدت ۵ ماه (تیرماه تا آبان ماه) به روش آبیاری غرقابی مرسوم در مزرعه به منظور تجزیه جزیی مواد آلی و نشست خاک، آبیاری شدند. برای انجام عملیات تراکم از تراکتور دوچرخ متحرک[6] مدل اونیورسال U-۶۵۰ استفاده شد. فشار باد لاستیک‌های جلو و عقب طبق توصیه کارخانه سازنده انتخاب شد (۱۸). به منظور شبیه سازی حرکت تراکتور در موقع کشت و کار و تردد در مزرعه، سرعت حرکت در ۴/۵ کیلومتر در ساعت تنظیم شد. به دلیل وجود پدیده انتقال وزن در عملیات خاک‌ورزی و دیگر عملیات ماشینی، گاو آهن برگردان دار به

1. Cone index
2. Critical moisture content
3. Fine-loamy, mixed, thermic Typic Haplargids
4. Wet sieving (Van Bavel) method
5. Split-block design
6. Two-wheel drive

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی خاک مورد مطالعه

عمق	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	PD[1] ($Mg\ m^{-3}$)	BD ($Mg\ m^{-3}$)	MWD[2] (mm)
۰-۲۰	۱۶	۴۷	۳۷	لوم رسی سیلتی	۲/۶۲	۱/۳۴	۰/۶۲
۲۰-۳۵	۱۳	۴۸	۳۹	لوم رسی‌سیلتی	۲/۶۶	۱/۴۷	-
۳۵-۵۰	۸	۴۶	۴۶	رس سیلتی	۲/۶۸	۱/۵۶	-

1. Particle Density 2. Mean Weight Diameter

جدول ۲- خصوصیات خاک سطحی (۲۰-۰cm) در تیمارهای مختلف کودی

تیمار کود	PD	درصد وزنی						Ks
$t\ ha^{-1}$	($Mg\ m^{-3}$)	OM	SP	FC	LL	PL	PI	($cm\ hr^{-1}$)
۰	۲/۶۲	۰/۷۳	۴۷	۲۴	۳۳/۳	۲۱/۲	۱۲/۱	۳/۸
۵۰	۲/۵۱	۲/۱۵	۵۱/۲	۲۶/۵	۳۷/۹	۲۳/۲	۱۴/۷	۸/۱
۱۰۰	۲/۴۳	۳/۸۶	۵۶/۵	۲۷/۸	۴۰/۱	۲۴	۱۶/۱	۱۱/۲

تراکتور متصل و در حین تراکم در وضعیت حمل و نقل قرار داده‌شد (۲۵ و ۳۳). تراکم با توجه به رطوبت بعد از آبیاری، در سه مرحله ابتدا در رطوبت PL (۲۰-۰ سانتیمتری) (۴ روز پس از آبیاری)، سپس در رطوبت PL ۰/۸ (۸ روز پس از آبیاری) و نهایتاً در رطوبت PL ۰/۶ (۱۵ روز پس از آبیاری) صورت گرفت. تیمارهای یک (P_1) و دو (P_2) مرتبه عبور در هر یک از رطوبتها گنجانیده شد.

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک اندازه‌گیری شده، قبل و بعد از عبور تراکتور

جرم مخصوص ظاهری (BD)

اندازه‌گیری BD با استفاده از سیلندرهای نمونه برداری صورت گرفت. این سیلندرها از جنس فولاد و دارای قطر وارتفاع تقریبی ۵ سانتیمتر بودند. نمونه‌های دست نخورده در تیمارهای مختلف و اعماق مختلف، با فواصل ۵ سانتیمتر تا عمق ۴۰ سانتیمتری تهیه شد.اندازه‌گیری در هر پلات ۲ بار تکرار شد و متوسط اعداد در هر عمق مورد تجزیه قرارگرفت.

مقاومت فروسنجی یا شاخص مخروطی (CI)

برای اندازه‌گیری مقاومت خاک از دستگاه فروسنج مدل SP۱۰۰۰ ساخت شرکت فیندلی ایروین استفاده شد. این دستگاه از نظر ساختمانی شامل سه قسمت اصلی ریزپردازنده، مبدل و میله نفوذ می‌باشد. با فشار دادن میله نفوذ به داخل خاک، همراه با آن صفحه تشخیص نوری نیز حرکت می‌کند و عمق را تشخیص می‌دهد. میزان نیروی وارده بر انتهای مخروطی میله نفوذ در هنگام حرکت، در هر عمق در سلول ذخیره دستگاه نگه داشته می‌شود. این داده‌ها در ریز پردازنده و سپس توسط کامپیوتر مورد پردازش قرار می‌گیرد. برای محاسبه مقاومت نقطه‌ای یا شاخص مخروطی از فرمول زیر استفاده می‌گردد:

$$CI = ۰/۰۹۸(F/A)$$

که در آن:

CI = شاخص مخروطی خاک برحسب مگاپاسکال (MPa)

F =نیروی عمودی وارده به مخروط برحسب کیلوگرم نیرو (kgf)

A = سطح مقطع مخروط برحسب سانتیمتر مربع (cm^2) (۳۱).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]

برای جلوگیری از ناهمگن بودن نتایج پس از تراکم، مقاومت فروسنجی در رطوبت PL ۱/۱ (cm ۲۰-۰) اندازه‌گیری شد. به دلیل تغییر پذیری قابل توجه این پارامتر، اندازه‌گیری در هر پلات ۱۰ بار تکرار گردید که نیمی از آنها از محل اثر عاجهای لاستیک و نیم دیگر از محل اثر بین عاجها برداشته شد. اندازه‌گیری در عمق، با فواصل ۲ سانتیمتر تا عمق ۴۰ سانتیمتری صورت گرفت و متوسط اعداد در هر عمق تجزیه گردید.

برای در نظر گرفتن بدترین شرایط تراکم، BD و CI در محل خط مرکزی شیار عبور اندازه‌گیری شد، که بیانگر حادترین حالت تراکم می‌باشد (۱۰، ۱۲ و ۱۳). به دلیل در هم فرورفتن اجزای خاک[1] و مشکل تعیین محلهای جدید، این اجزای در خاک تراکم یافته، از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک اولیه تیمارهای بدون تراکم برای BD و CI معدلگیری گردید. معدلگیری در تیمارهای تراکم از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری، منهای عمق نشست انجام شد (۲۴). به عبارت بهتر، خاک رویین به مقدار عمق نشست وارد خاک زیرین می‌شود. بنابراین برای تجزیه‌های آماری بایستی از داده‌های سطح خاک تا عمق تاثیر تراکم در هر یک از تیمارها معدلگیری شود. دلیل انتخاب عمق ۳۰ سانتیمتری این بود که حادترین شرایط تراکم که در رطوبت PL تیمار بدون کود و دو عبور بود، تا این عمق بر BD و CI تاثیر قابل توجه گذاشته بود (۳ و ۱۱). بنا به نظر آدام و ارباخ (۳) و کاسل (۱۱)، عمق تاثیر تراکم عمقی است که تفاوت BD یا CI خاک متراکم شده نسبت به خاک اولیه در همان عمق (ΔBD یا ΔCI) مساوی $0/05\ Mg\ m^{-3}$ یا ۰/۱ MPa باشد.

چون BD و CI در حالت بدون عبور (P_0) تنها به کود دامی بستگی دارد، برای مقایسه تیمارهای P_1 و P_2 با تیمار P_0، از روش مقایسه t- استیودنت غیر جفتی استفاده گردید و تیمار P_0 در طرح اصلی گنجانده نشد. مقایسه‌های میانگین طرح اصلی به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت (۲۲).

نشست خاک[2] در اثر عبور تراکتور

برای اندازه‌گیری نشست خاک که یکی از شاخصهای تراکم پذیری است (۱۳ و ۲۶)، در هر تیمار پس از عبور تراکتور، عمق محل عاجها و بین عاجها (به تعداد مساوی) از وسط مقطع نشست تا سطح خاک اولیه اندازه‌گیری و معدلگیری شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس جرم مخصوص ظاهری (BD) و شاخص مخروطی (CI) در جدول ۳ آورده شده است. تاثیر رطوبت، کود دامی و عبور بر BD در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده، ولی به دلیل تغییرات فاصله‌ای CI (ضریب تغییرات ۱۷/۵ درصد)، تنها اثر کود در سطح ۱ درصد و عبور در سطح ۵ درصد برآن معنی‌دار بود (۴ و ۵). تاثیر متقابل رطوبت و کود بر BD با احتمال ۹۰ درصد معنی‌دار بود، که بیانگر رفتار متفاوت مواد آلی در رطوبتهای مختلف فشردگی می‌باشد (۲۳). اثر متقابل رطوبت و عبور بر BD در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. این موضوع از رفتار متفاوت خاک در سطوح مختلف رطوبتی در عبور مجدد حکایت می‌کند (۲۵). تاثیر متقابل کود و عبور برای BD با احتمال ۹۵ درصد معنی دار بود، که بیانگر اثر متفاوت کود دامی بر خاک در عبور مجدد نسبت به عبور اول است (۲۳).

برای مطالعه جزیی دو عامل مهم مورد بررسی (یعنی رطوبت خاک در موقع تراکم و کود دامی)، تاثیر این عوامل به طور جداگانه مورد بحث قرار می‌گیرد. در رسم نمودارهای تغییرات BD و CI با عمق در خاکهای متراکم شده، منحنیها به اندازه نشست خاک از سطح خاک اولیه پایین کشیده شده است (۲۴).

تاثیر رطوبت بر تراکم پذیری خاک

اثر رطوبت در زمان تراکم بر جرم مخصوص ظاهری (BD)

مقادیر BD در سه سطح رطوبتی، در همه سطوح کودی (M) و عبور (P) با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارد (ستونها در جدول ۴).

1. Soil elements
2. Soil sinkage

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس جرم مخصوص ظاهری (BD) و شاخص مخروطی (CI)

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		BD	CI
بلوک	۳	۰/۰۰۰۴۷	۰/۰۰۲۶
رطوبت خاک (W)	۲	۰/۱۲۶**	۰/۳۴
خطای W	۶	۰/۰۰۱۳	۰/۱۷
مقدار کود (M)	۲	۰/۰۵۳**	۰/۱۳+
خطای M	۶	۰/۰۰۲	۰/۰۴
W × M	۴	۰/۰۰۳+	۰/۰۲
خطای W × M	۱۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۳۱
تعداد عبور (P)	۱	۰/۰۲۹۹**	۰/۱۷۱*
W × P	۲	۰/۰۰۲۸**	۰/۰۱۲۶
M × P	۲	۰/۰۰۰۹*	۰/۰۰۸۸
W × M × P	۴	۰/۰۰۰۵+	۰/۰۰۸۶
خطای باقی‌مانده	۲۷	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۲۸۱

+، * و ** به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطوح آماری ۱۰، ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

چون BD حدود $1/43\ Mg\ m^{-3}$ در خاکهای با بافت متوسط حد بحرانی برای رشد اکثر گیاهان زراعی است (۲۱)، در رطوبت PL در همه تیمارهای کودی، BD به این حد رسیده است (جدول ۴). نتایج بررسی تغییرات BD پس از تراکم در هر یک از سطوح رطوبتی، در جدول ۵ ارائه شده است. به غیر از رطوبت PL ۰/۶، سایر رطوبتها تغییر فاحشی در BD نسبت به قبل از تراکم (P_0) ایجاد کرده‌اند. اگرچه تاثیر رطوبتهای PL و PL ۰/۸ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است، لیکن اعداد t مربوط به رطوبت PL نسبت به PL ۰/۸ بزرگ‌تر است و به این معنی است که در رطوبتهای زیاد (PL) در حضور مولکول‌های آب، جهت یابی ذرات[1] تحت فشار به راحتی صورت گرفته و این عمل سبب افزایش شدیدی در BD می‌شود (۱۲). تراکم در رطوبت PL ۰/۶ تغییر معنی‌داری در BD خاک ایجاد نکرده است (جدول ۵). تغییرات BD با عمق خاک در تیمار بدون کود (M_0) در شکل ۱ نشان داده شده است. با افزایش رطوبت، تاثیر و عمق تاثیر تراکم بر BD افزایش می‌یابد (۸). افزایش BD در اثر عبور مجدد (P_2) نیز در نمودار مشهود است. در رطوبت PL به دلیل وجود آب زیاد، خاک سطحی زیر لاستیک (۵cm-۰) مقاومت کمی در مقابل فشار دارد و به اطراف جریان یافته، کمتر فشرده می‌شود. ولی در عمق کمی پایین‌تر (۱۰cm-۵)، به دلیل محدود

1. Particle orientation

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]

جدول ۴- میانگین جرم مخصوص ظاهری ($Mg\ m^{-3}$) در لایه ۳۰-۰ سانتیمتری خاک در سطوح مختلف رطوبت خاک در حین عبور تراکتور*

تیمار	P_1			P_2		
	M_0	M_1	M_2	M_0	M_1	M_2
PL	۱/۵۳^{aA}	۱/۴۷^{aB}	۱/۴۱^{aC}	۱/۵۹^{aA}	۱/۵۱^{aB}	۱/۴۶^{aC}
۰/۸PL	۱/۴۲^{bA}	۱/۳۷^{bB}	۱/۳۶^{bB}	۱/۴۸^{bA}	۱/۴۳^{bB}	۱/۴۰^{bB}
۰/۶PL	۱/۳۸^{cA}	۱/۳۲^{cB}	۱/۲۸^{cC}	۱/۴۱^{cA}	۱/۳۵^{cB}	۱/۳۱^{cC}

* - در هر ستون میانگینهایی که حداقل دارای یک حرف کوچک مشابه، و در هر ردیف و هر گروه میانگینهایی که حداقل دارای یک حرف بزرگ مشابه می‌باشند اختلاف معنی داری ندارند (دانکن ۱۰٪).

جدول ۵- مقادیر t برای مقایسه میانگینهای جرم مخصوص ظاهری در لایه ۳۰-۰ سانتیمتری خاک در تیمارهای مختلف نسبت به تیمار بدون عبور (P_0) با استفاده از آزمون t غیرجفتی یک طرفه

تیمار	M_0		M_1		M_2	
	P_1	P_2	P_1	P_2	P_1	P_2
PL	۱۰/۵**	۱۰/۱**	۹/۰۱**	۹/۹۷**	۷/۲۹**	۸/۸۴**
۰/۸PL	۳/۰۴*	۹/۰۵**	۵/۷۵**	۹/۶۵**	۵/۸۹**	۷/۴۲**
۰/۶PL	۰/۳۶	۳/۴۹*	۲/۰۶+	۳/۰۷*	۰/۵۹	۱/۸۳

+، * و ** به ترتیب نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار در سطوح آماری ۱۰، ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

شدن[2] محیط، فشردگی تحت فشار ذرات اطراف به حداکثر خود می‌رسد (۸ و ۲۴). همچنین به دلیل اعمال نیروی برشی توسط لغزش و آجهای لاستیک، مقداری از فشردگی خاک سطحی کاسته می‌شود (۲۶).

اثر رطوبت در زمان تراکم بر شاخص مخروطی (CI)

در تیمار بدون کود و دو عبور تفاوت معنی‌دار (در سطح ۱۰٪) بین سطوح رطوبتی PL و ۰/۶ PL وجود دارد، ولی در بقیه تیمارها، تفاوتی بین سطوح رطوبتی دیده نمی‌شود (ستونها در جدول ۶). روند تغییرات CI نسبت به تیمار شاهد (P_0) در رطوبتهای مختلف شبیه به BD می‌باشد (جدول ۷). یعنی با افزایش رطوبت در موقع تراکم، مقاومت خاک افزایش یافته است (۸ و ۲۶). تردد در رطوبت PL ۰/۶ تغییری در مقاومت خاک ایجاد نکرده‌است.

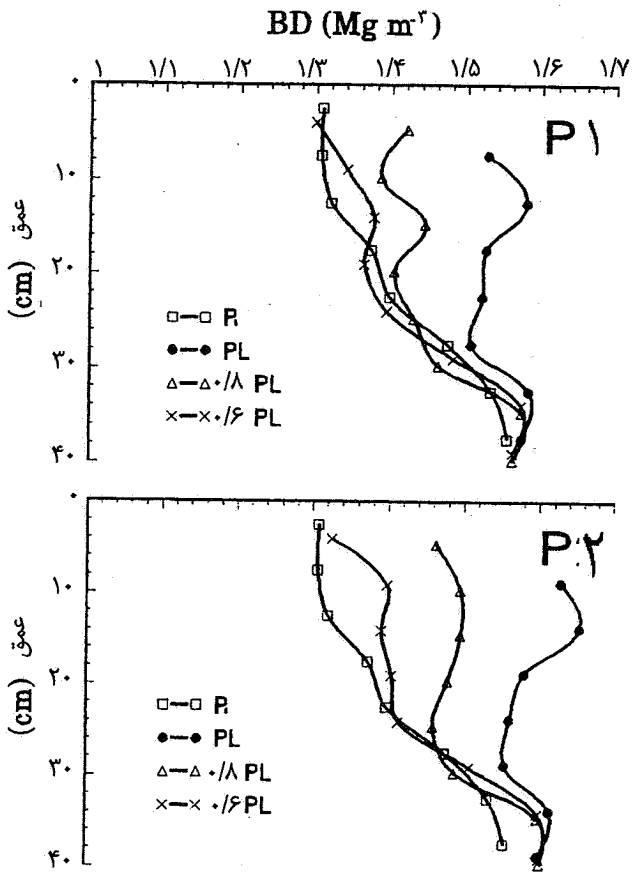
روند تغییرات شاخص مخروطی با عمق خاک در تیمار بدون کود (M_0)، در سطوح مختلف رطوبتی و عبور در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش رطوبت، تاثیر و عمق تاثیر تراکم بر CI افزایش می‌یابد (۸). در تیمار کودی M_1 این افزایش کمتر بود، ولی در تیمار M_2 که مقدار زیادی مواد آلی به خاک اضافه شد و در یک عبور تراکتور، افزایش CI در رطوبتهای PL و ۰/۸ PL موقع تراکم قابل توجه است. دلیل این امر احتمالاً چسبندگی بین مواد آلی و ذرات خاک و جلوگیری از حرکت جریانی خاک به اطراف محل عبور و در نتیجه افزایش مقاومت خاک می‌باشد (۲۳). این نتیجه در مقایسه میانگینهای جدول ۷ نیز مشهود است.

در عمق حدود ۲۸ سانتیمتری، تغییر ناگهانی و زیادی

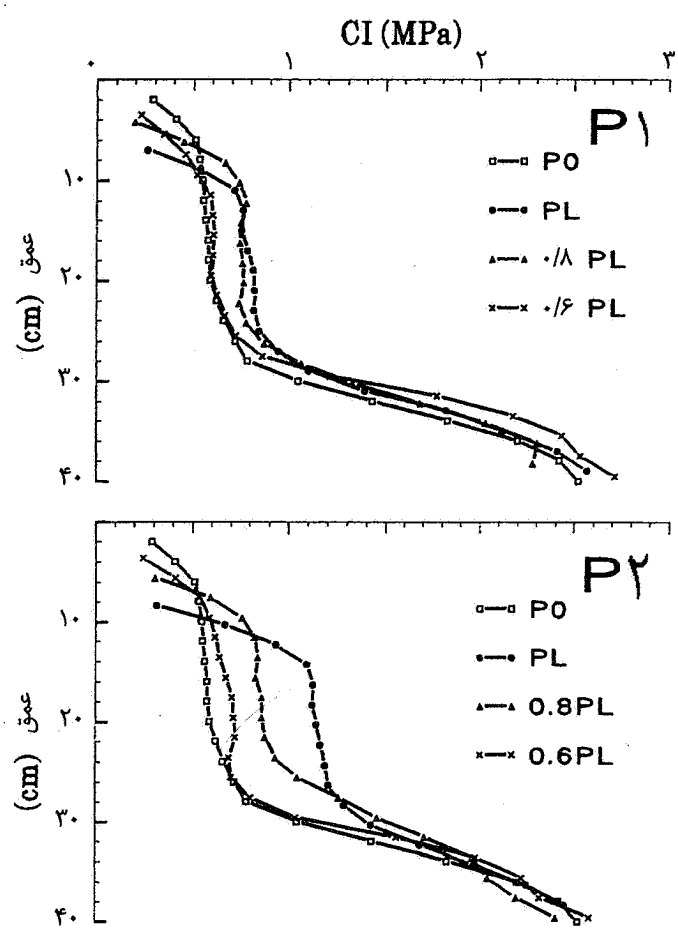
1. Confined

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف رطوبتی در تیمار بدون کود(M_0)، با یک عبور (P_1) و دو عبور (P_2) تراکتور بر BD و مقایسه آنها با شاهد (P_0)



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف رطوبتی در تیمار بدون کود(M_0)، با یک عبور (P_1) و دو عبور (P_2)تراکتور بر CI و مقایسه آنها با شاهد (P_0)

در CI ایجاد شده است، که بیانگر وجود یک لایه سخت (کفه شخم) همراه با افق آرجیلیک در این عمق می‌باشد (۱۰). این موضوع توسط لکزیان نیز اثبات شده است (۲).

تاثیر مواد آلی بر تراکم پذیری خاک

اثر مواد آلی برجرم مخصوص ظاهری (BD)

کود سبب کاهش معنی‌داری در BD در تمامی تیمارهای‌رطوبتی شده است (ردیفها در جدول ۴). اعداد t در جدول ۵ نیز موید آن است که تغییرات BD(ΔBD) با افزایش مقدار کود، به خصوص در رطوبتهای زیاد (PL) و عبور مجدد کاهش می‌یابد (۲۳).

در شکل ۳ تاثیر کود دامی در رطوبت PL بر افزایش BD نسبت به شاهد (P_0) نشان داده شده است. در تیمارهای کودی، فاصله منحنیهای قبل و بعد از تراکم کمتر از تیمار M_0 است. به عبارت بهتر، مواد آلی سبب کاهش تراکم پذیری خاک می‌شوند. همچنین تیمارهای کودی سبب افزایش عمق BD بیشینه می‌گردند. بنابراین خاک سطحی در تیمارهای کودی مقاومت کمتری در مقابل خروج جوانه از خود نشان می‌دهد. در تیمار P_2، عمق اثر تراکم در M_0 حدود ۳۵ cm ولی در M_1 و M_2 حدود ۲۵cm است ($\Delta BD \geq 0/05 Mg\,cm^{-3}$) (۳). نتیجه این

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]

جدول ۶- میانگین شاخص مخروطی (MPa)در لایه ۳۰-۰ سانتیمتری خاک در سطوح مختلف رطوبت خاک پس از عبور تراکتور*

تیمار	P_1			P_2		
	M_0	M_1	M_2	M_0	M_1	M_2
PL	۰/۸۱^{aA}	۰/۷۳^{aA}	۰/۷۸^{aA}	۱/۰۵^{aA}	۰/۸۸^{aB}	۰/۸۱^{aB}
۰/۸PL	۰/۷۶^{aA}	۰/۷۴^{aA}	۰/۵۶^{aA}	۰/۸۸^{aA}	۰/۸۱^{aA}	۰/۶۶^{aA}
۰/۶PL	۰/۶۲^{aA}	۰/۶۲^{aA}	۰/۵۱^{aA}	۰/۶۵^{aB}	۰/۷۰^{aA}	۰/۵۵^{aB}

* - در هر ستون میانگینهایی که حداقل دارای یک حرف کوچک مشابه، و در هر ردیف و هر گروه میانگینهایی که حداقل دارای یک حرف بزرگ مشابه می‌باشند اختلاف معنی داری ندارند (دانکن ۱۰٪).

جدول ۷- مقادیر t برای مقایسه میانگینهای شاخص مخروطی در لایه ۳۰-۰ سانتیمتری خاک در تیمارهای مختلف نسبت به تیمار بدون عبور (P_0) با استفاده از آزمون t غیرجفتی یک طرفه

تیمار	M_0		M_1		M_2	
	P_1	P_2	P_1	P_2	P_1	P_2
PL	۱/۳۸	۲/۱۴$^{+}$	۱/۴۳	۴/۱**	۴/۲۹**	۱/۹۸*
۰/۸PL	۱/۱	۲/۳۱$^{+}$	۱/۳۲	۲/۸۷*	۰/۸۶	۲/۹۴*
۰/۶PL	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۵۲	-۰/۱۲۶	۰/۴۸

+، * و ** به ترتیب نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار در سطوح آماری ۱۰، ۵ و ۱ درصد می باشند.

که افزایش مواد آلی به خاک در رطوبتهای بالا (PL) و عبور مجدد، سبب کاهش تراکم خاک تحت الارضی می‌شود زیرا مواد آلی به صورت بالشتک عمل کرده، از انتقال تنش به خاک زیرین جلوگیری می‌کنند (۲۳). در رطوبتهای PL ۰/۸ و PL ۰/۶ نیز مواد آلی تا حدودی سبب کاهش تراکم پذیری شدند.

اثر مواد آلی بر شاخص مخروطی (CI)

در رطوبت PL و دو عبور، تفاوت معنی‌دار بین تیمار M_0 و M_1 وجود دارد ولی تفاوت معنی‌داری بین M_1 و M_2 مشاهده نمی‌شود (ردیفها در جدول ۶). برای ترسیم منحنیهای CI از متوسط آن در تیمارهای کودی قبل از تراکم در هر عمق به عنوان منحنی شاخص اولیه (P_0) استفاده شد. دلیل این معدل‌گیری آن است که شاخصهای مخروطی در تیمارهای کودی قبل از تراکم با همدیگر تفاوت معنی‌دار نداشتند. در شکل ۴ در یک عبور، تیمارهای کودی تفاوتی ندارند ولی در دو عبور مشاهده می‌شود که CI در سطوح کودی M_2 و سپس M_1 افزایش اندکی داشته است. ولی در تیمار بدون کود (M_0)، CI تقریباً دو برابر یک عبور، نسبت به شاهد (P_0) افزایش یافته است. بنابراین در رطوبتهای زیاد (PL)، خاک تا حد خاصی متراکم می‌شود و در عبور مجدد (P_2)، وجود مواد آلی از تراکم اضافی جلوگیری می‌کند.

اثر مواد آلی بر عمق تاثیر فشردگی

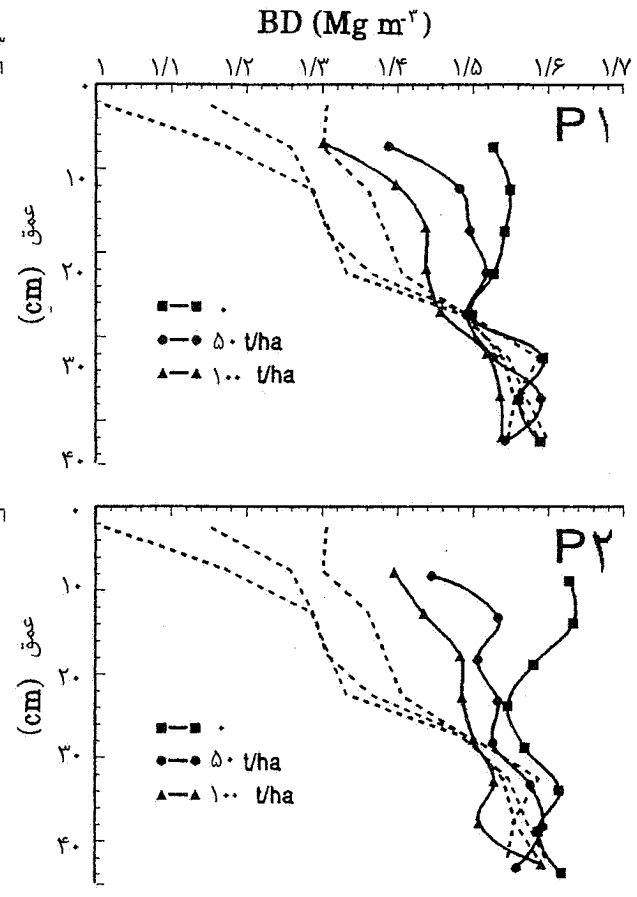
عمق تاثیر فشردگی در تیمارهای مختلف در جدول ۸ آورده شده است. با افزایش کود دامی عمق تاثیر تراکم کاهش یافته است. این کاهش در رطوبت PL و دو عبور قابل توجه می‌باشد. عمق تاثیر فشردگی در تیمارهای کودی M_1 و M_2 تفاوت چندانی ندارد. همچنین با کاهش رطوبت در موقع تردد تراکتور، عمق تاثیر فشردگی کاهش یافته است. در رطوبت PL ۰/۶ تراکم تقریباً تاثیری برخواص فیزیکی مورد بررسی نداشته است و عمق تاثیر فشردگی ناچیز است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

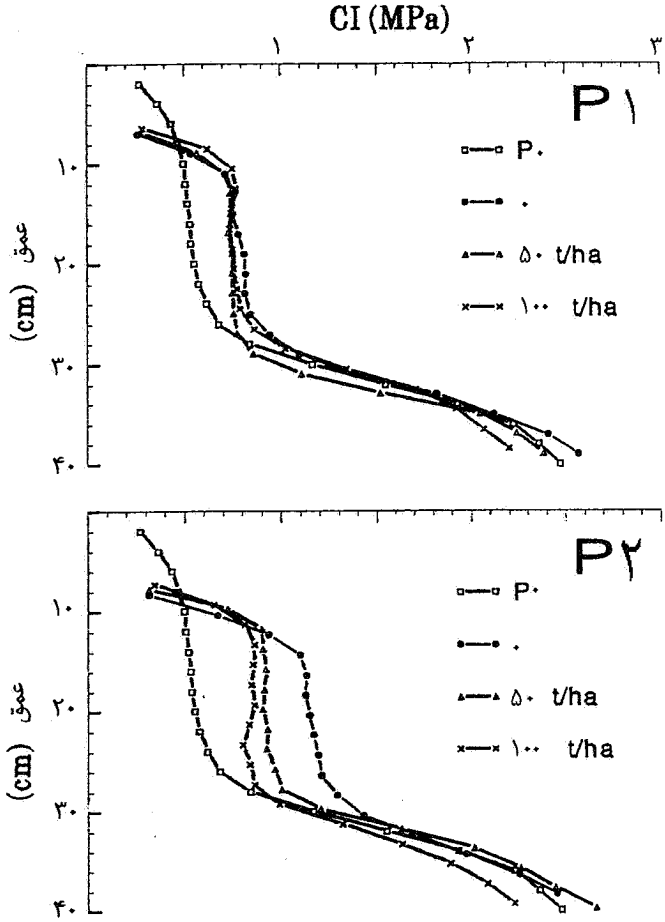
[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]

جدول ۸- عمق تاثیر فشردگی (cm) در تیمارهای مختلف رطوبت، کود و عبور

تیمار	P_1			P_2		
	M_0	M_1	M_2	M_0	M_1	M_2
$\Delta BD \geq 0/05 Mg\ m^{-3}$						
PL	۲۵	۲۵	۲۲	۳۵	۲۵	۲۵
۰/۸PL	۱۷	۲۰	۲۲	۲۳	۲۴	۲۴
۰/۶PL	۰	۰	۰	۱۳	۰	۰
$\Delta CI \geq 0/1 MPa$						
PL	۳۲	۲۲	۲۸	۳۴	۲۷	۲۷
۰/۸PL	۲۴	۰	۲۸	۳۴	۲۷	۲۷
۰/۶PL	۰	۰	۰	۲۰	۱۵	۰



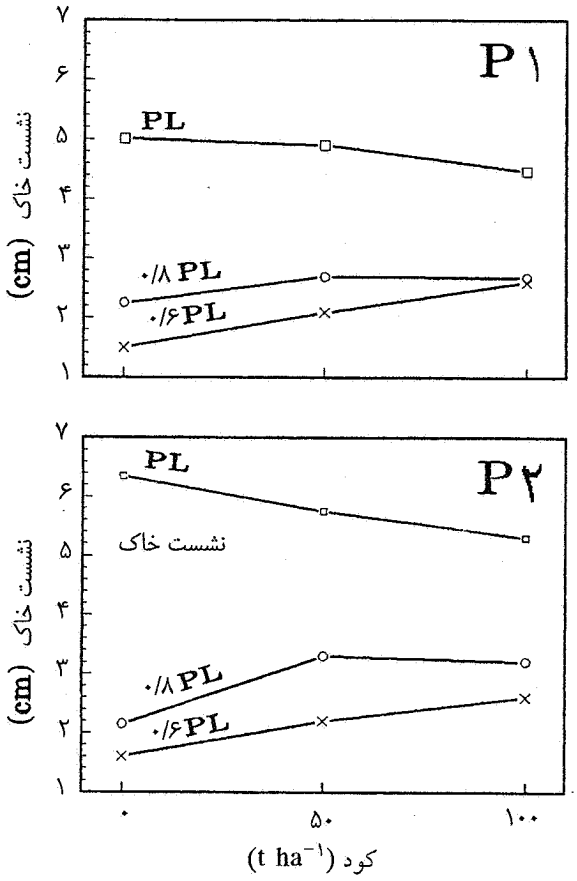
شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف کودی در رطوبت PL با یک عبور (P_1) و دو عبور (P_2)تراکتور بر BD و مقایسه نظیر به نظیر آنها با شاهدهای مربوطه (منحنیهای خط چین)



شکل ۴- تأثیر سطوح مختلف کودی در رطوبت PL با یک عبور (P_1) و دو عبور (P_2)تراکتور بر CI و مقایسه نظیر به نظیر آنها با شاهدهای مربوطه (منحنیهای خط چین)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]



شکل ۵- تأثیر سطوح مختلف کودی و رطوبتی در یک (P_1) و دو (P_2) عبور تراکتور بر نشست خاک

اثر مواد آلی بر نشست خاک در اثر تراکم

نشست خاک در تیمارهای مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. با افزایش ماده آلی خاک در رطوبت PL و خصوصاً در دو عبور نسبت به یک عبور، نشست خاک کاهش می‌یابد. دلیل این امر خاصیت ارتجاعی مواد آلی در رطوبتهای زیاد است (۲۳). ولی در رطوبتهای PL ۰/۸ و PL ۰/۶ با افزایش کود دامی، نشست خاک افزایش و گیرایی لاستیک با خاک کاهش می‌یابد، که به دلیل پوک شدن خاک در رطوبتهای پایین در حضور مواد آلی می‌باشد (۲۳ و ۲۹). با کاهش رطوبت از PL به PL ۰/۸، نشست خاک کاهش قابل توجهی یافته است، ولی تفاوت زیادی بین نشست در رطوبت PL ۰/۸ و PL ۰/۶ دیده نمی‌شود. این روند بیانگر آن است که تراکم پذیری خاک با رطوبت رابطه خطی ندارد (۸).

نتیجه گیری

۱- تردد تراکتور در رطوبت حد خمیری (PL)، حتی با وجود مواد آلی در خاک سبب افزایش معنی دار BD و CI شد. چون در رطوبت PL تا عمق ۳۰ سانتیمتر، BD و CI تحت تاثیر قرار گرفته‌اند و عمق کار اکثر ادوات کشاورزی در خاک سطحی (۲۰cm) می‌باشد، لایه زیر ۲۰ cm تحت تاثیر آنها قرار نمی‌گیرد. بنابراین بایستی از تردد در مزرعه در این رطوبت جلوگیری کرد. در رطوبت PL ۰/۸ تردد در مزرعه سبب افزایش BD و CI شد ولی به حد بحرانی (به ترتیب $1/43\ Mg\ m^{-3}$ و ۰/۸ MPa) نرسید.

۲- مواد آلی نه تنها سبب افزایش دامنه تردد پذیری و کاهش تراکم پذیری خاک، بلکه سبب کاهش فشردگی خاک تحت الارضی (پایین‌تر از ۲۰ cm) نیز شد (۱۶). این موضوع خصوصاً در رطوبتهای زیاد و تکرار فشار وارده (عبور مجدد) قابل توجه بود. از نظر آماری تفاوتی بین تاثیر سطوح کودی ۵۰ و $100\ t\ ha^{-1}$ در رطوبت PL و عبور مجدد بر CI دیده نشد. به عبارت دیگر مواد آلی زیاد ($100\ t\ ha^{-1}$) ممکن است در رطوبتهای بالا از فرار خاک از زیر لاستیک ماشین‌های کشاورزی جلوگیری کرده، سبب افزایش مقاومت خاک شوند. به طور کلی تاثیر کود دامی در رطوبت PL و عبور مجدد (P_2) بر تراکم پذیری این خاک قابل توجه می‌باشد.

۳- عبور مجدد، برخلاف نظر منابع مختلف (۱۲، ۲۵ و ۲۶)، سبب افزایش قابل توجه درجه تراکم خاک (BD و CI) شد. نتیجه این که خاک مذکور حساسیت زیادی به تراکم دارد.

۴- رطوبت مطلوب برای تردد پذیری در این مزرعه PL ۰/۶ (۱۳ درصد وزنی) توصیه می‌گردد و در صورت افزودن کود دامی به میزان $50\ t\ ha^{-1}$ تا PL ۰/۸ (۱۸ درصد وزنی) نیز قابل قبول است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]

منابع مورد استفاده

۱- رفیع، م. ج. ۱۳۷۰. فیزیک خاک (ترجمه). چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۹۶ صفحه.

۲- لکزیان، ا. ۱۳۶۸. چگونگی تحول، تکامل و بررسی خصوصیات کانیهای رسی خاکهای سری خمینی شهر در مزرعه آزمایشی لورک نجف آباد. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

3. Adam, K. M. and D. C. Erbach. 1995. Relationship of tire sinkage depth to depth of soil compaction. Trans. ASAE. 34(4): 1011-1016.

4. Agus, F. and D. K. Cassel. 1992. Field scale bromide transport as affected by tillage. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 254-260.

5. Al-Adawi, S. S. and R. C. Reeder. 1996. Compation and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. Trans. ASAE. 39(5): 1641-1649.

6. 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 & Tillage Res. 37: 211-222.

7. Allmaras, R. R., R. E. Burwell and R. F. Holt. 1969. Plow layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 550-556.

8. Baver, L. D., W. H. Gardner and W. R. Gardner. 1972. Soil Physics. p. 498, John Wiley, New York.

9. Becher, H. H. and W. Martin. 1988. Mechanical consolodation in volcanic ash soils. *In*: J. Drescher, R. Horn and M. DeBoodt (Eds.), Impact of Water and External Forces on Soil Structure. Catena, Supplement 11, Catena. Cremlign-Destedt. pp. 87-92.

10. Bedard, Y., S. Tessier, C. Lague, Y. Chen and L. Chi. 1997. Soil compaction by manure spreaders equipped with standard and oversized tires and multiple axles. Trans. ASAE. 40(1): 37-43.

11. Cassel, D. K. 1982. Tillage effects on bulk density and mechanical impedance. *In*: Predicting tillage effect, physical properties and processes. ASA special publication No. 44: 45-68.

12. Davies, B. D., D. J. Eagle and J. B. Finney. 1993. Soil Management. Farming Press. p. 280.

13. Davies, B. D., J. B. Finney and S. J. Richardson. 1973. Relative effect of tractor weight and wheel-slip in causing soil compaction. J. Soil Sci. 24: 399-409.

14. Ekwue, E. I. and R. J. Stone. 1994. Effect of peat on the compactibility of some Trinidadian soils. J. Agric. Eng. Res. 57: 129-136.

15. Ekwue, E. I. and R. J. Stone. 1995. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. Trans. ASAE. 38(2): 357-365.

16. Free, G. R., J. Lamb and E. A. Carleton. 1947. Compactibility of certain soils as related to organic matter and erosion. J. Am. Soc. Agron. 39: 1068-1076.

17. Ghuman, B. S. and R. Lal. 1992. Effects of soil wetness at the time of land clearing on physical properties and crop response on an Ultisol in southern Nigeria. Soil & Tillage Res. 22: 1-11.

18. Masumi Kolahloo, A. A. and M. Loghavi. 1994. Evaluation and comparison of traction performance of two common tractors in Iran. Iran Agric. Res. 13: 77-95.

19. Ohu, J. O, E. I. Ekwue and O. A. Folorunso. 1994. The effect of addition of organic matter on the compaction of a Vertisol from northern Nigeria. Soil Tech. 7: 155-162.

20. Pliusnin, I. I. 1970. Reclamative Soil Science. Sovient Socialist Republics. p. 399.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]

21. Robertson, L. S. and A. E. Erickson. 1978. Soil compaction, symptoms, causes, remedies. Crops & Soils Mag. Jan., Feb., Mar.: 1-5.
22. SAS Institute. 1985. SAS User's Guide: Statistics. Version 5, SAS Inst., Cary, NC.
23. Soane, B. D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. Soil & Tillage Res. 16: 179-201.
24. Soane, B. D., P. S. Blackwell, J. W. Dickson and D. J. Painter. 1980/1981. Compaction by agricultural vehicles: A review. Soil & Tillage Res. 1: 207-237.
25. Soane, B. D., P. S. Blackwell, J. W. Dickson and D. J. Painter. 1980/1981. Compaction under tyres and other running gear. Soil & Tillage Res. 1: 373-400.
26. Soane, B. D. and C. Van Ouwerkerk. 1994. Soil Compaction in Crop Production. Elsevier, p. 662.
27. Spoor, G. and R. J. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. J. Agric. Eng. Res. 23: 243-258.
28. Stone, R. J. and E. I. Ekwue. 1993. Maximum bulk density achieved during soil compaction as affected by the incorporation of three organic materials. Trans. ASAE. 36(6): 1713-1719.
29. Stone, R. J. and E. I. Ekwue. 1995. Compressibility of some Trinidadian soils as affected by the incorporation of peat. J. Agric. Eng. Res. 60: 15-24.
30. Tairk, A. E., A. P. Mazurak and L. Chesnin. 1974. Physical and chemical properties of soil associated with heavy application of manure from cattle feedlots. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 826-830.
31. Taylor, J. H. and E. C. Burt. 1987. Total axle load effects on soil compaction. J. Terramech. 24(3): 179-186.
32 Van Bavel, C. H. M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 14: 20-23.
33. Wood, R. K., M. T. Morgan, R. G. Holmes, K. N. Brodbeck, T. G. Carpenter and R. C. Reeder. 1991. Soil physical properties as affected by traffic: single, dual and floatation tires. Trans. ASAE. 34: 2357-2363.
34. Zhang, H. 1994. Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates. Soil & Tillage Res. 31: 263-275.
35. Zhang, H., H. Hartge and H. Ringe. 1997. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. Soil Sci. Soc. Am. J. 61(1): 239-245.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1378.3.4.3.5]