اثر تفاله‌های پسته بر برخی خواص فیزیکی و تراکم‌پذیری دو نوع خاک

حسین شیرانی[۱*]، الهام ریزه‌بندی[۱]، حسین دشتی[۲]، محمد رضا مصدقی[۳] و مجید افیونی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۲/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۲۶)

چکیده

عوامل مختلفی بر تراکم‌پذیری و خواص فیزیکی خاک تأثیر دارند که یکی از مهم‌ترین آنها مواد آلی است. هدف از این پژوهش، بررسی اثر تفاله‌های پسته بر برخی خواص فیزیکی دو نوع خاک، قبل و بعد از عمل تراکم و منحنی تراکم دو نوع خاک بود. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. تیمارهای اعمال شده شامل تفاله‌های پسته در ۴ سطح (صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد وزنی) و بافت خاک در دو سطح (لوم رسی سیلتی و شنی) بود. در این تحقیق از تفاله‌های پسته (پوست تازه پسته، خوشه‌های بدون دانه و مقداری برگ درخت) به‌عنوان ماده آلی استفاده شد. نتایج نشان داد که سطوح بالای تفاله قبل از عمل تراکم، موجب کاهش معنی‌دار جرم ویژه ظاهری خاک شنی شد، ولی بر جرم ویژه ظاهری خاک رسی تأثیری معنی‌دار نداشت. این در حالی بود که مقاومت فروپذیری هر دو خاک در اثر افزودن تفاله پسته به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. هم‌چنین، منحنی رطوبتی هر دو نوع بافت خاک با افزودن ماده آلی به سمت بالاتر انتقال یافت. بدین معنی که ظرفیت نگه‌داری رطوبت در خاک در یک مکش معین افزایش پیدا کرد. پس از عمل تراکم، با افزایش سطوح بقایا، جرم ویژه ظاهری خاک کاهش یافت، به‌طوری‌که منحنی تراکم هر دو نوع خاک، در اثر افزودن تفاله‌های پسته به سمت پایین‌تر انتقال پیدا کرد. بدین معنی که حداکثر جرم ویژه ظاهری خاک، در سطوح بالاتر بقایا کاهش و رطوبت بحرانی (رطوبت معادل جرم ویژه حداکثر) افزایش یافت که این اثر در خاک ریزبافت چشمگیرتر بود. اثر تفاله پسته بر مقاومت فروپذیری خاک شنی پس از عمل تراکم، فقط در بالاترین سطح (۹ درصد وزنی) معنی‌دار بود. ولی در مورد خاک لوم رسی سیلتی، سطح کمتر تفاله پسته نیز، مقاومت فروپذیری را نسبت به شاهد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: تفاله پسته، خواص فیزیکی خاک، بافت خاک، تراکم

۱. به ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان
۲. استادیار زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان
۳. به ترتیب دانشیار و استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Shirani379@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]

مقدمه

تراکم خاک یکی از عوامل تخریب خاک است و به فرایندی گفته می‌شود که سبب افزایش جرم ویژه خاک و کاهش تخلخل و هدایت آبی در خاک، افزایش مقاومت مکانیکی و تغییر در اسکلت و ساختمان خاک می‌گردد. محققان تراکم‌پذیری خاک را به عنوان بیان کمی رفتار خاک، تحت تأثیر تنش و فشارهای مشخص می‌دانند که معمولاً این رفتار با تغییر جرم ویژه ظاهری، درجه پوکی و تخلخل کل خاک بیان می‌شود (۱۹ و ۲۴). عوامل مختلفی بر تراکم‌پذیری خاک تأثیر دارند که یکی از مهم‌ترین آنها، مواد آلی هستند (۲۴). به‌طور کلی تأثیر مواد آلی بر تراکم‌پذیری خاک در رطوبت‌های بالا و فشارهای کم، قابل توجه است. رطولت بحرانی از نظر بررسی زمان خاک‌ورزی و تردد ماشین‌آلات، اهمیت زیادی دارد (۲۰). زانگ و همکاران (۲۵) معتقدند که اضافه کردن پیت به خاک‌های چسبنده در رطوبت‌های کمتر از رطوبت بحرانی (در روش پروکتور، رطوبتی که بیشترین تراکم یا جرم ویژه ظاهری را در خاک ایجاد می‌کند) و در خاک‌های شنی در رطوبت بحرانی، حداکثر تأثیر را در کاهش تراکم‌پذیری خاک دارد. مواد آلی سبب کاهش بیشینه جرم ویژه ظاهری خشک و افزایش درصد رطوبت بحرانی خاک می‌شوند (۹ و ۲۴). اوهیو و همکاران (۲۱) تأثیر ماده آلی را بر اصلاح و بهبود تراکم در خاک‌های رسی سیاه در نیجریه بررسی نمودند. آنها گزارش کردند که کاربرد ماده آلی سبب کاهش جرم ویژه ظاهری، مقاومت‌های فروروی و برشی خاک گردید و به‌طور کلی تراکم‌پذیری خاک با افزودن مواد آلی، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این تأثیر به ویژه در خاک‌های رسی که عملیات کشاورزی در آنها در رطوبت‌های زیاد و کم مشکل است، باعث سهولت مدیریت خاک می‌گردد. ماده آلی خاک، محدوده رطوبتی خاک را تحت فشارهایی که موجب تراکم زیاد در خاک می‌شوند، افزایش می‌دهد. مخلوط کردن بقایای محصولات با خاک، می‌تواند حساسیت آن را به تراکم کاهش دهد (۸).

اثر ماده آلی در کاهش جرم ویژه ظاهری بیشتر از تأثیر آن در کاهش جرم ویژه حقیقی ذرات خاک است. ماده آلی به‌تدریج ساختمان فیزیکی با تخلخل بیشتر را موجب گشته و در نتیجه جرم معینی از خاک در حجم بیشتری تظاهر می‌نماید. به‌طوری که در خاک‌های آلی، جرم ویژه ظاهری تا حدود ۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب کاهش می‌یابد و حداکثر به ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب (۰/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) می‌رسد (۴). آدامز (۶) بیان کرد که این کاهش مربوط به مخلوط کردن یک ماده با جرم ویژه ظاهری کمتر (ماده آلی) با ذرات معدنی با جرم ویژه ظاهری بالاتر است. علاوه بر این، ماده‌آلی در حفظ و نگه‌داری ساختمان خاک نیز نقش دارد، بنابراین جرم ویژه ظاهری خاک را به هر حال کاهش می‌دهد. افزایش تخلخل و کشسانی خاک نیز توسط سوان (۲۴) از دلایل کاهش جرم ویژه ظاهری خاک با افزایش ماده آلی ذکر شده است.

یکی از روش‌های تجربی برای اندازه‌گیری مقاومت و یا مقاومت ظاهری مکانیکی خاک، اندازه‌گیری فروپذیری خاک است. فروپذیری خاک عبارت است از آسانی حرکت یک جسم به درون خاک که توسط دستگاهی به‌نام فروسنج اندازه‌گیری می‌شود. با افزایش ماده آلی خاک، مقدار مقاومت فروپذیری و مقاومت برشی در سطوح پایین رطوبتی، کاهش می‌یابد، در حالی که در سطوح بالای رطوبتی، عکس این مطلب دیده شده است (۱۰). با کاهش در جرم ویژه ظاهری بیشینه خاک توسط مواد آلی، مقاومت فروپذیری بیشینه نیز به شدت کاهش می‌یابد. مقادیر رطوبت مربوط به مقاومت بیشینه خاک، با افزایش ماده آلی افزایش پیدا می‌کند. به علت این که مواد آلی حدود پایداری خاک را افزایش می‌دهد، محدوده رطوبتی خاک را که در آن ماشین‌های کشاورزی می‌توانند بدون ایجاد تراکم در خاک کار کنند، افزایش می‌دهند (۲۲). افزایش مقاومت خاک مانع توسعه ریشه می‌شود. هنگامی که خاک در سطوح رطوبتی پایین کشت می‌گردد، برای جلوگیری از افزایش مقاومت خاک، اضافه کردن ماده آلی به این امر کمک نموده و موجب تحریک رشد و توسعه ریشه می‌شود (۱۰ و ۱۲).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]

در کشور ما، پسته یکی از محصولات مهم اقتصادی محسوب می‌شود و شهر رفسنجان قطب تولید پسته در کشور است. به‌طور تقریبی، سالانه ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار بقایای حاصل از برداشت محصول به‌صورت تفاله‌های پسته تولید می‌شود. این بقایا بسیار ارزان (حتی مجانی) و قابل دسترس بوده و می‌توانند به عنوان منبع خوبی به‌صورت کود آلی در خاک‌های منطقه که دارای مواد آلی کمی هستند، استفاده گردند. در صورتی که کودهایی مثل کود گاوی گران بوده و مقدار آن در منطقه کم است. تا کنون پژوهشی در خصوص اثر تفاله‌های پسته بر ویژگی‌های خاک انجام نگرفته است. به همین منظور، اهداف این تحقیق عبارت بودند از: ۱- بررسی اثر تفاله‌های پسته بر برخی خواص فیزیکی دو نوع خاک قبل و بعد از عمل تراکم. ۲- بررسی اثر تفاله‌های پسته بر منحنی تراکم دو نوع خاک.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای (۲۴ گلدان یا نمونه) اجرا گردید. تیمارهای اعمال شده شامل تفاله‌های پسته در ۴ سطح (۰، ۳، ۶ و ۹ درصد وزنی) و بافت خاک در دو سطح (لوم رسی سیلتی و شنی) بود. در این تحقیق از تفاله‌های پسته (پوست تازه پسته، خوشه‌های بدون دانه و مقداری برگ درخت) به‌عنوان ماده آلی استفاده شد. بدین گونه که ابتدا تفاله‌های پسته تر حدود ۲ هفته در هوای آزاد و در سطح زمین پخش شدند تا کاملاً خشک شوند و پس از کوبیده شدن، خرد گردیده و در نهایت از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شدند. قبل از مخلوط کردن خاک‌ها با مواد آلی و ریختن آنها در گلدان، خاک لوم رسی سیلتی بدون کوبیده شدن، از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد. زیرا هدف این بود که تا حد ممکن از تخریب خاکدانه‌ها و به هم خوردن خاک، جلوگیری شود. لازم به ذکر است، این خاک فاقد سنگریزه بود. از طرفی با توجه به این که خاک شنی تقریباً فاقد خاکدانه بود (به علت شن زیاد و ماده آلی خیلی کم)، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد.

برای مخلوط کردن خاک و مواد آلی، ابتدا نمونه‌های خاک به وزن ۴ کیلوگرم در گلدان‌های ۶ کیلوگرمی که دارای زه‌کش و به طول ۲۰ سانتی‌متر بودند، با مقادیر صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد تفاله پسته مخلوط شدند (خاک‌ها در گلدان‌ها به صورت دست‌ریز ریخته شدند). سپس با استفاده از منحنی مشخصه رطوبتی خاک، رطوبت معادل ظرفیت مزرعه (رطوبت در مکش ماتریک ۰/۳۳ بار) تعیین و به هر گلدان رطوبت مورد نظر اضافه شد. این رطوبت (قبل از اعمال تیمارهای بقایا) برای خاک شنی ۲۰% و برای خاک لوم رسی سیلتی ۲۵% بود. با استفاده از جرم ویژه ظاهری خاک‌ها (مربوط به تیمار شاهد یا بدون بقایا) و حجم گلدان‌ها، مقدار رطوبت ظرفیت زراعی بر اساس حجم آب محاسبه شد و به هر گلدان اضافه گردید. سپس هر گلدان مرطوب را وزن کرده و پس از گذشت ۲۴ و ۴۸ ساعت به‌ترتیب برای گلدان‌های شامل خاک شنی و خاک لوم رسی سیلتی، مجدداً وزن گلدان‌ها یادداشت شد. دلیل انتخاب این زمان‌ها، مربوط به سرعت از دست دادن آب توسط خاک‌ها بود که برای خاک شنی، زیاد و برای خاک لوم رسی سیلتی خیلی کمتر بود. مقدارکاهش وزن، همان مقدار تبخیر به ازای هر گلدان است. این مقدار آب به‌صورت روزانه به خاک‌های شنی و دو روز یک بار به خاک‌های رسی به مدت ۸ هفته اضافه گردید. این عمل (نگه‌داری خاک در گلدان‌ها به مدت ۸ هفته و آبیاری آنها) به‌منظور پوسیدگی و اثر بیشتر تفاله‌های پسته در خاک انجام گرفت. پس از گذشت ۸ هفته، نمونه‌ها از گلدان‌ها خارج و در معرض هوا خشک شدند. جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. سپس منحنی تراکم نمونه‌های خاک به روش آزمون پروکتور با ۵ ضربه اندازه‌گیری و حداکثر جرم ویژه ظاهری و رطوبت معادل آن (رطوبت بحرانی) تعیین شد (۱). در این تحقیق، بافت خاک به روش پی‌پت (۱۵)، pH خاک به وسیله الکترود شیشه‌ای، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع به وسیله دستگاه EC متر (۱۶) و ظرفیت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

بافت خاک	% شن	% سیلت	% رس	pH	EC (dS/m)	% گچ	%SP	K_s (cm/h)	% آهک	% ماده‌آلی
لوم رسی سیلتی	۱۵/۵	۴۶	۳۸/۵	۷/۵	۱/۵	۱۷	۳۸	۲/۸	۱۰	۰/۵
شن	۸۸	۸	۴	۷/۷	۲/۰	۰/۵	۲۴	۴/۲	۱۰	۰/۲

تبادل کاتیونی به روش باور (۱۶) و منحنی رطوبتی خاک توسط دستگاه صفحه فشاری در مکش‌های ۰/۳، ۰/۵، ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ بار تعیین گردید. لازم به ذکر است، تمامی خصوصیات مورد نظر برای هر خاک در سه تکرار اندازه‌گیری شدند. حد روانی توسط روش کاساگراند و حد خمیری به روش فتیله تعیین شد. مقاومت فروپذیری خاک (شاخص مخروطی) توسط دستگاه فروسنج جیبی و در رطوبت حدود ۱۵ درصد برای خاک لوم رسی سیلتی و حدود ۱۰ درصد برای خاک شنی قبل از عمل تراکم و پس از انجام عمل تراکم (در حالت حداکثر جرم ویژه ظاهری)، تعیین شدند. بدین ترتیب که ابتدا با توجه به جرم ویژه ظاهری خاک‌ها (قبل و بعد از عمل تراکم)، رطوبت حجمی معادل ۱۵ (برای خاک ریزبافت) و ۱۰ درصد وزنی (برای خاک درشت بافت) تعیین شد. سپس با معلوم بودن حجم گلدان‌ها (یا حجم قالب تراکم)، حجم آبی که رطوبت خاک‌ها را به ترتیب به ۱۵ و ۱۰ درصد وزنی برای خاک ریزبافت و درشت‌بافت می‌رساند، محاسبه گردید. بنابراین قبل از اندازه‌گیری مقاومت فروپذیری خاک، اجازه داده شد تا خاک‌ها خشک شوند و سپس مقدار آب مورد نظر به هر گلدان یا نمونه موجود در قالب تراکم، به‌طور یک‌نواخت اضافه و پس از نفوذ کامل آب در خاک، شاخص مخروطی توسط فروسنج تعیین گردید. لازم به‌ذکر است، برای تعیین مقاومت فروپذیری پس از عمل تراکم، شاخص مخروطی در نمونه‌های موجود در قالب تراکم (پروکتور) پس از رسیدن به رطوبت لازم و در حالت حداکثر تراکم (جرم ویژه ظاهری بیشینه)، اندازه‌گیری شد. دلیل انتخاب رطوبت‌های مورد نظر این بود که در رطوبت‌های کمتر، مقاومت خاک بالا بود (دستگاه قادر به اندازه‌گیری نبود) و در رطوبت‌های بیشتر اختلافات بین تیمارها به علت اثر زیاد رطوبت بر مقاومت فروپذیری، مشهود نبود. مقدار آهک خاک به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک نرمال و تیتراسیون با محلول سود نرمال اندازه‌گیری شد (۱۶). گچ خاک با رسوب آن به وسیله استون و تعیین EC رسوب حل شده در آب مقطرتعیین گردید (۱۶). مواد آلی خاک و کود به روش جکسون اندازه‌گیری شد (۱۳). نمودارهای مربوطه توسط نرم افزارExcel رسم و آنالیزهای آماری به وسیله نرم‌افزار MINITAB انجام شد.

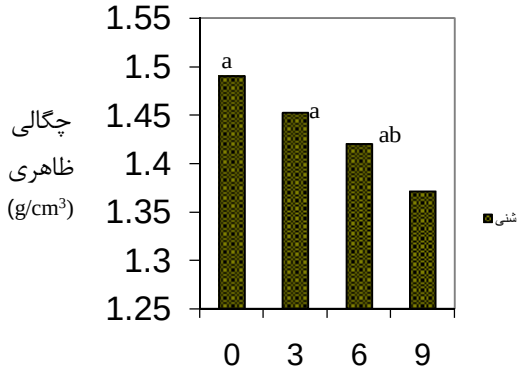
نتایج و بحث

اثر تفاله‌های پسته بر چگالی ظاهری دو نوع خاک پیش از عمل تراکم

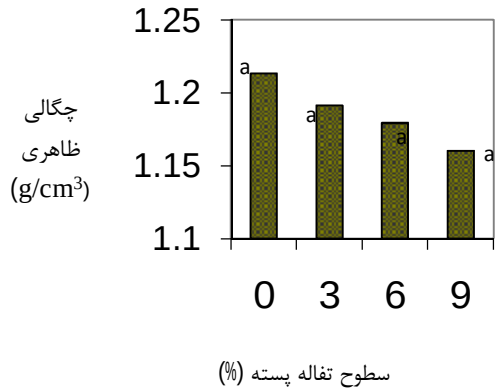
اثر سطوح مختلف بقایای آلی شامل صفر درصد، ۳ درصد، ۶ درصد و ۹ درصد بر جرم ویژه ظاهری در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد. شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند که در سطوح تیمارهای ۳، ۶ و ۹ درصد بقایا، مقادیر جرم ویژه ظاهری به ترتیب برای خاک شنی ۲، ۴/۶ و ۷/۹ درصد و برای خاک لوم رسی سیلتی به ترتیب ۱/۸، ۲/۸ و ۴/۴ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. تفاوت بین سطوح صفر ، ۳، ۶ درصد و همچنین بین تیمارهای ۶ و ۹ درصد بقایا، در خاک شنی معنی‌دار نشد (شکل ۱) و در مورد خاک ریزبافت در هیچ یک از سطوح ماده آلی اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل ۲). این نتایج نشان‌دهنده تأثیر بیشتر تفاله‌های پسته در کاهش جرم ویژه ظاهری خاک شنی نسبت به خاک لوم رسی سیلتی است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]



شکل ۱. اثر تفاله‌های پسته بر چگالی ظاهری خاک شنی قبل از تراکم



شکل ۲. اثر تفاله‌های پسته بر چگالی ظاهری خاک لوم رسی سیلتی قبل از تراکم

ایکیو و استون (۱۱) گزارش کردند که جرم ویژه ظاهری خاک با افزایش مقدار پیت در خاک به گونه معنی‌داری از ۱/۵ به ۰/۹۲ گرم بر سانتی متر مکعب کاهش یافت. این دو پژوهشگر در مطالعه‌ای دیگر نشان دادند که تأثیر پیت بر کاهش جرم ویژه ظاهری در خاک‌های لوم شنی بیشتر از رسی است (۱۰). خلیل و همکاران (۱۴) گزارش کردند که ماده آلی به علت چگالی کم نسبت به ذرات معدنی خاک، اثر رقیق‌کنندگی داشته و جرم ویژه ظاهری خاک را کاهش می‌دهد.

اثر متقابل بافت و بقایای آلی بر جرم ویژه ظاهری در دو خاک ریزبافت و درشت‌بافت در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با توجه به این‌که اثر بقایای آلی در کاهش جرم ویژه ظاهری در خاک ریزبافت در سطوح تیمار بقایا معنی‌دار نشد و تنها در مورد خاک درشت‌بافت معنی‌دار شد، در نتیجه می‌توان گفت که در اثر افزودن ماده آلی، خاک درشت‌بافت نسبت به خاک ریزبافت حساسیت بیشتری در کاهش جرم ویژه ظاهری نشان داده است.

اثر تفاله‌های پسته بر مقاومت فروپذیری دو نوع خاک پیش از عمل تراکم

نتایج مربوط به تأثیر بقایای آلی بر مقاومت فروپذیری (شاخص مخروطی) در خاک ریزبافت و درشت‌بافت نشان داد که افزودن بقایا به هر دو نوع بافت خاک، تأثیر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر کاهش شاخص مخروطی داشته است (جدول ۲). با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که در خاک شنی، مقادیر شاخص مخروطی در سطوح بقایای صفر و ۳، هم‌چنین۶ و ۹ درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند، ولی سایر سطوح با هم اختلاف معنی‌داری نشان دادند. هم‌چنین در خاک رسی (شکل ۴) تغییرات شاخص مخروطی در تمام سطوح بقایا با هم اختلاف معنی‌داری داشت. شاخص مخروطی در تیمارهای بقایای۳، ۶ و ۹ درصد به ترتیب ۱۹، ۳۸ و ۵۷ درصد در خاک شنی و ۱۳، ۲۹ و ۴۷ درصد در خاک لوم رسی سیلتی نسبت به شاهد (صفر درصد) کاهش نشان دادند.

همان‌گونه که در شکل‌های ۳ و ۴ دیده می‌شود، با افزایش سطوح بقایای آلی، مقادیر عددی شاخص مخروطی کاهش یافته است. کاهش شاخص مخروطی در خاک شنی با افزایش سطوح ماده آلی، فقط در مقادیر زیاد تفاله پسته (۶ و ۹ درصد) نسبت به شاهد معنی‌دار بود، در حالی که بین همه سطوح بقایا در خاک ریزبافت، تفاوت معنی‌داری وجود داشت. احتمالاً به دلیل این که مقاومت فروپذیری خاک شنی ذاتاً کم بوده است، لذا فقط سطوح بالای ماده آلی، تأثیر معنی‌دار در کاهش مقاومت فروپذیری آن داشته است.

به‌طور کلی بر اثر افزودن ماده آلی به خاک ریزبافت،

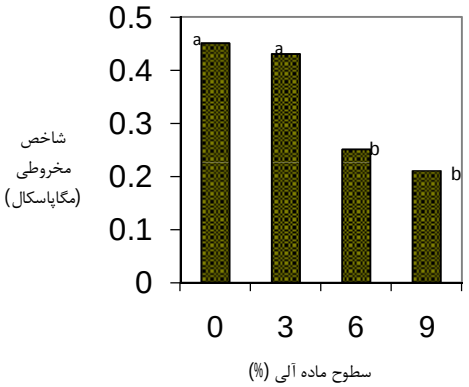
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]

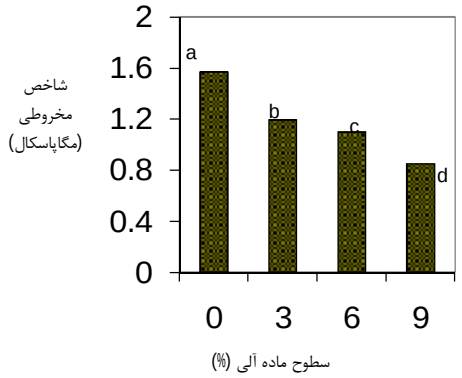
جدول ۲. جدول تجزیه واریانس تأثیر بقایای آلی و بافت خاک بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک پیش از تراکم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		چگالی ظاهری	مقاومت فروپذیری
ماده آلی	۳	۰/۰۰۸**	۰/۲۵۱**
بافت	۱	۰/۳۶۸**	۴/۳۰۴**
بافت × ماده آلی	۳	۰/۰۰۱*	۰/۰۶۱**
خطا	۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد آماری



شکل ۳. اثر بقایای پسته بر شاخص مخروطی در خاک شنی قبل از تراکم



شکل ۴. اثر بقایای پسته بر شاخص مخروطی در خاک لوم رسی سیلتی قبل از تراکم

شکل‌پذیری و چسبندگی در آنها کاهش می‌یابد و در نتیجه موجب کاهش مقاومت مکانیکی این خاک‌ها و مدیریت آسان در آنها می‌شود (۳). ولی در خاک درشت‌بافت به علت این که ذرات اتصال کمتری با هم دارند، در نتیجه این خاک‌ها از نظر چسبندگی بین ذرات ضعیف و سست بوده و مقاومت فروپذیری آنها کم است. از این رو اثر افزودن کم بقایای آلی به این خاک‌ها، اثری بر شاخص مخروطی نداشت. مایورانا و همکاران (۱۷) تأثیر بقایای محصول بر مقاومت خاک را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که بقایای گیاهی تأثیر معنی‌داری بر کاهش مقاومت مکانیکی خاک داشت.

اثر متقابل بافت خاک و بقایای آلی بر مقاومت فروپذیری (شاخص مخروطی) در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

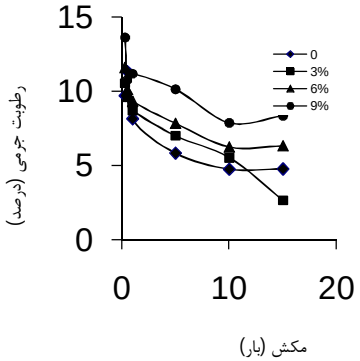
با افزودن ماده آلی، حساسیت بافت لوم رسی سیلتی به کاهش شاخص مخروطی در مقدار کم تیمار بقایا، بیشتر از خاک شنی بود. در خاک‌های ریز بافت به علت چسبندگی و اتصال بیشتر ذرات با هم، ماده آلی اثر بیشتری در کاهش هم‌چسبی ذرات دارد، ولی خاک شنی ذاتاً سست بوده و مقدار شاخص مخروطی در آن با افزودن مقادیر کم ماده آلی، کاهش معنی‌داری نشان نمی‌دهد.

اثر تفاله‌های پسته بر منحنی رطوبتی دو نوع خاک

همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، با افزایش سطوح ماده آلی در خاک شنی، درصد رطوبت جرمی خاک در یک مکش ماتریک یکسان، افزایش یافت. با افزایش مکش ماتریک، درصد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]



شکل ۵. اثر سطوح بقایای پسته بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک شنی

رطوبت جرمی در خاک کاهش یافته است که این کاهش در سطوح پایین ماده آلی و به‌ویژه در تیمار شاهد (صفر) شدیدتر بود. با افزایش سطوح تیمار کودی و افزایش مکش ماتریک، روند کاهش درصد رطوبت جرمی با شیب ملایم‌تری انجام گرفته است. خاک شنی به دلیل حضور منافذ درشت فراوان، توانایی نگه‌داری آب کمتری دارد. اضافه کردن ماده آلی به این خاک به علت داشتن خاصیت اسفنجی و توانایی زیاد نگه‌داری آب و از طرفی به دلیل ایجاد چسبندگی بین ذرات شن می‌تواند سبب افزایش نگه‌داری آب در این بافت گردد. به‌طور کلی اضافه کردن بقایا به خاک باعث کاهش شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک به‌ویژه در مکش‌های کم شده است. احتمالاً افزودن ماده آلی، باعث ایجاد منافذ در دامنه اندازه‌ای وسیع‌تری در خاک شده است. پژوهشگران نیز نشان داده‌اند که افزودن مواد آلی به خاک‌های درشت‌بافت، موجب کاهش شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک و افزایش عرض از مبدأ این منحنی می‌شود (۵).

شکل ۶ نشان می‌دهد، با افزایش سطح بقایا در خاک لوم رسی سیلتی نیز، روند تغییرات منحنی رطوبتی خاک به سمت بالا بوده و توان نگهداشت رطوبت خاک افزایش یافته است. علت این افزایش، احتمالاً افزایش تخلخل کل و افزایش سطوح جذب کننده آب خاک است. برای این خاک و در تیمارهای با مقادیر کم (صفر، ۳ و ۶ درصد) درصد کاهش رطوبت جرمی با افزایش مکش ماتریک، شدیدتر و با شیب تندتر نسبت به بالاترین سطح تیمار کودی (۹ درصد) دیده شد. در خاک ریزبافت با توجه به داشتن توانایی نگه‌داری نسبتاً زیاد رطوبت، سطوح کم بقایا نتوانسته است آن‌چنان که در خاک شنی مشاهده شد، سبب افزایش قابل توجه درصد رطوبت جرمی خاک نسبت به حالت شاهد گردد. تنها در بیشترین سطح تیمار بقایا (۹ درصد)، توانسته است سبب افزایش بیشتر درصد رطوبت جرمی نگه‌داری شده توسط ذرات خاک شود. بنابراین اضافه کردن کود به میزان ۹ درصد به خاک، احتمالاً باعث افزایش سطوح جذب‌کننده آب به مقدار قابل توجهی نسبت به شاهد شده است.

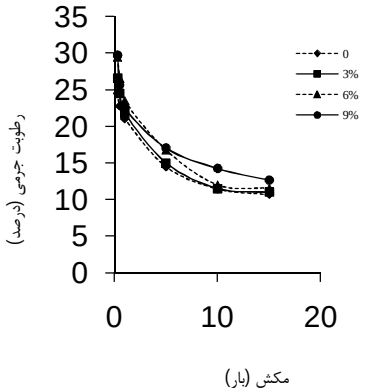
اثر تفاله‌های پسته بر حدود پایداری خاک ریزبافت

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، حد روانی (LL) و حد خمیری (PL) در خاک ریزبافت، با افزایش سطوح تیمار بقایا افزایش یافته است. در بیشترین سطح بقایا (۹ درصد) تغییرات LL، ۳۷ درصد و PL، ۵۱ درصد نسبت به شاهد بود که موجب روند افزایشی ۲۰ درصدی در PI (شاخص خمیری) شده است (جدول ۳).

اضافه کردن ماده آلی به خاک، رطوبتی را که در آن ممکن است خاک جریان یابد (حد روانی)، افزایش می‌دهد (۲۳). چون حد روانی بستگی زیادی به سطح ویژه ذرات و بار الکتریکی دارد و هر چه حد روانی بالا رود، نشانه بالا بودن درصد ذرات با سطح ویژه بالا در خاک است. خاک مورد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]



شکل ۶. اثر سطوح بقایای پسته بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک لوم رسی سیلتی

جدول ۳. مقایسه میانگین تأثیر بقایای پسته بر حدود پایداری خاک لوم رسی سیلتی

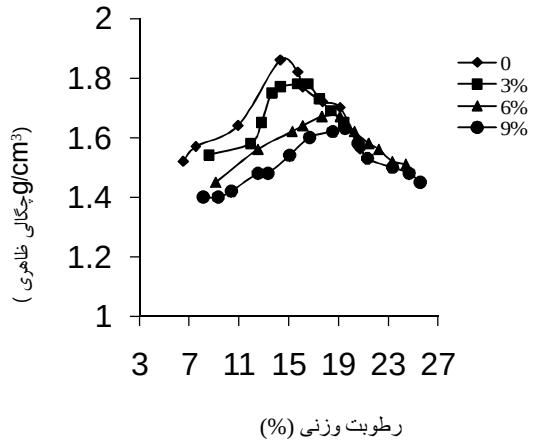
سطوح ماده آلی (%)	حد خمیری	حد روانی	شاخص خمیری
۰	۱۶/۸	۳۱/۲	۱۴/۴
۳	۲۰/۲	۳۴/۷	۱۴/۴
۶	۲۲/۵	۳۹/۰	۱۶/۵
۹	۲۵/۷	۴۲/۵	۱۶/۸
میانگین	۲۱/۳	۳۶/۹	۱۲/۴
LSD(0.05)	۳/۶	۴/۱	۴/۵

بررسی با داشتن درصد رس زیاد از سطح ویژه زیادی برخوردار می‌باشد. هم‌چنین ماده آلی خود نیز سطح ویژه زیادی دارد، درنتیجه با افزودن ماده آلی به خاک، سطح ویژه خاک افزایش می‌یابد. هم‌چنین به دلیل حضور فراوان گروه‌های عامل و به‌دنبال آن افزایش بار الکتریکی در کلوئیدهای آلی، آب متصل به آن هم بیشتر شده و حد روانی خاک بیشتر می‌شود (۲). از آنجا که حد روانی با مقدار ذرات کلوئیدی هم‌بستگی خطی دارد، با افزودن ماده آلی به خاک، حد روانی هم افزایش می‌یابد (۷). شاخص خمیری(PI) به‌عنوان دامنه رطوبتی که در آن خاک نسبت به تراکم در اثر نیروی خارجی حساس است، تعریف شده است و هر چه PI بزرگ‌تر باشد، دامنه رطوبتی حساس به تراکم بیشتر است (۱۸).

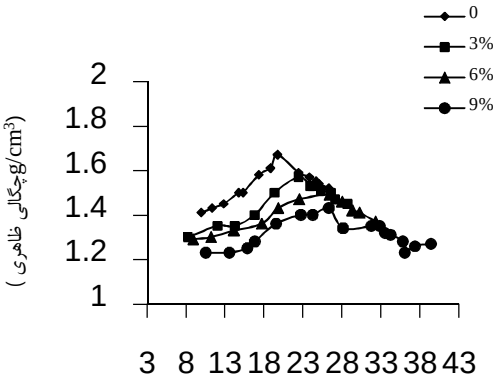
اثر تفاله‌های پسته بر جرم ویژه ظاهری دو نوع خاک پس از عمل تراکم

شکل ۷ تأثیر بقایای پسته بر منحنی‌های پروکتور را در بافت شنی نشان می‌دهد. با افزایش سطوح بقایا، مقادیر جرم ویژه ظاهری نسبت به سطوح کمتر آن کاهش یافته است. هم‌چنین وجود ماده آلی در خاک سبب شده که در مقایسه با حالت شاهد، خاک دارای جرم ویژه ظاهری بیشینه (rb_{max}) کمتری بوده و این جرم ویژه در رطوبت‌های بالاتر به‌دست می‌آید. منحنی‌های تراکم در شکل ۸، تأثیر بقایای پسته بر منحنی‌های پروکتور را در بافت لوم رسی سیلتی نشان می‌دهند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود افزایش ماده آلی منجر به کاهش معنی‌دار جرم ویژه ظاهری در رطوبت یکسان نسبت به حالت شاهد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]



شکل ۷. اثر سطوح مختلف تفاله پسته بر منحنی تراکم خاک شنی



شکل ۸. اثر سطوح مختلف تفاله پسته بر منحنی تراکم خاک لوم رسی سیلتی

گردید. هم‌چنین، جرم ویژه ظاهری بیشینه با افزایش سطوح ماده آلی کاهش یافت. آدامز (۶) بیان کرد که این کاهش مربوط به مخلوط کردن یک ماده با جرم ویژه ظاهری کمتر (ماده آلی) با ذرات معدنی با جرم ویژه ظاهری بالاتر است. افزایش تخلخل و کشسانی خاک نیز توسط سوان (۲۴) از دلایل کاهش جرم ویژه ظاهری خاک با افزایش ماده آلی ذکر شده است. البته لازم به ذکر است که محدوده رطوبت مربوط به حداکثر و حداقل جرم ویژه ظاهری با افزایش سطوح تیمار ماده آلی، افزایش یافت (جدول ۴). به‌عبارت دیگر، افزایش بقایای پسته، موجب افزایش معنی‌دار رطوبت بحرانی در هر دو نوع بافت خاک شد. در سطح ضربه‌ای مورد استفاده (۵ ضربه)، با افزایش ماده آلی، منحنی‌های تراکم مربوطه پایین‌تر آمده‌اند. هم‌چنین شیب منحنی‌های پروکتور در تیمارهای مختلف ماده آلی کمتر از تیمار شاهد است. افزودن ماده آلی به خاک، به علت افزایش مقاومت خاک به تغییر شکل و افزایش ویژگی کشسانی خاک، باعث کاهش تراکم‌پذیری خاک می‌شود (۹ و ۲۴). اثر متقابل بافت خاک و بقایای پسته بر جرم ویژه ظاهری بیشینه خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر بافت خاک و بقایای پسته بر چگالی ظاهری بیشینه (rb_{max})و درصد رطوبت بحرانی خاک

منابع تغییر	میانگین مربعات		
	درجه آزادی	چگالی ظاهری بیشینه (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	رطوبت بحرانی (درصد)
ماده آلی	۳	۰/۰۶*	۳۶/۴۵*
بافت	۱	۰/۲۳*	۳۰۴/۱۷*
بافت × ماده آلی	۳	۰/۰۰۱*	۱/۲۵۱^{ns}
خطای آزمایشی	۱۶	۰/۰۰۰۱	۰/۸۱۳

* : بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد

به‌طورکلی با افزایش بقایا در هر دو بافت خاک، جرم ویژه ظاهری بیشینه روند کاهشی داشت، اما شدت کاهش آن در اثر افزودن تفاله‌های پسته در خاک ریزبافت، بیشتر از خاک درشت‌بافت بود.

اثر بقایای پسته بر مقاومت فروپذیری خاک پس از عمل تراکم

شاخص مخروطی نمونه‌های خاک در حالت حداکثر تراکم و در رطوبت‌های گفته شده در بخش مواد و روش‌ها تعیین شد. نتایج مربوط به تأثیر بقایای پسته بر شاخص مخروطی (PI) خاک تراکم‌یافته (با حداکثر جرم ویژه ظاهری) نشان می‌دهد که افزودن مواد آلی به دو نوع بافت خاک، تأثیر معنی‌داری (در سطح آماری یک درصد) بر کاهش PI داشته است. با توجه به جدول ۵ دیده می‌شود که در اثر افزودن تفاله‌های پسته در سطوح تیماری۳، ۶ و ۹ میزان PI به ترتیب ۴۰، ۴۵ و ۴۹ درصد در خاک لوم رسی سیلتی و ۳، ۷ و ۲۹ درصد در خاک شنی نسبت به شاهد کاهش یافته است. اثر افزودن ماده آلی در کاهش مقادیر مقاومت فروپذیری، مربوط به اثر آن در کاهش جرم ویژه ظاهری خاک است (۲۲).

مواد آلی مقاومت خاک را در مقادیر رطوبتی پایین کاهش می‌دهند (۲۲). زیرا باعث افزایش توان ارتجاعی خاک و خاصیت آسایش در برابر تنش می‌شوند (بدین معنی که خاصیت ارتجاعی یا فنری خاک را افزایش داده و در نتیجه خاک زودتر می‌تواند به حالت اولیه خود پس از رفع تنش برگردد). هم‌چنین با اثر پوک‌کنندگی در خاک و چرب و لیزکنندگی، موجب کاهش اصطکاک داخلی ذرات خاک به‌ویژه در مورد خاک‌های ریزبافت می‌شوند. لذا مواد آلی موجب کاهش تراکم‌پذیری و به دنبال آن کاهش مقاومت فروپذیری خاک می‌گردند (۲۴). با این که با افزودن بقایای پسته، مقادیر PI کاهش یافت، اما این کاهش در خاک لوم رسی سیلتی بین تیمارهای ۳ و ۶ درصد و ۶ و ۹ درصد، معنی‌دار نبود.

در مورد خاک شنی با افزایش سطوح بقایای پسته، با وجود کاهش مقادیر PI ، اختلاف بین آنها تا تیمار ۶ درصد معنی‌دار نشد و تنها بین تیمار ۹ درصد با سایر سطوح بقایا، تفاوت معنی‌داری دیده شد. بنابراین اثر افزودن مقادیر کم بقایای پسته در کاهش مقاومت فروپذیری خاک شنی (به علت خاصیت غیر چسبندگی و سست بودن ساختمان آن که فروپذیری بالایی به این خاک می‌دهد) خیلی کم بروز کرده و تنها در سطوح بالای بقایا، اثر خود را بر کاهش PI نشان می‌دهد.

اثر متقابل بافت خاک و بقایای پسته بر PI در دو خاک تراکم یافته در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). از سطوح کمتر تا بیشتر بقایای پسته به ترتیب مقادیر PI کاهش یافت. این مقادیر در خاک ریزبافت نسبت به خاک درشت‌بافت در تیمار شاهد، ۲/۱ برابر و در بالاترین سطح بقایا (۹ درصد) به ۱/۵ برابر رسیده است. اوهیو و همکاران (۲۱) گزارش کردند که کاربرد ماده آلی سبب کاهش جرم ویژه ظاهری، مقاومت‌های فروروی و مقاومت برشی خاک گردید و به‌طور کلی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر بافت خاک و بقایای پسته بر شاخص مخروطی خاک

سطوح ماده آلی(%)	نوع بافت		میانگین
	شنی	لوم رسی سیلتی	
	شاخص مخروطی (مگاپاسکال)		
۰	۱/۴	۳/۰	۲/۲
۳	۱/۴	۱/۸	۱/۶
۶	۱/۳	۱/۷	۱/۵
۹	۱/۰	۱/۵	۱/۳
میانگین	۱/۳	۲/۰	۱/۶
LSD(0.01)		شاخص مخروطی	
ماده آلی		۰/۱	
نوع بافت		۰/۱	
نوع بافت× ماده آلی		۰/۲	

جدول ۶. تجزیه واریانس تأثیر بقایای پسته و بافت خاک بر شاخص مخروطی خاک

منابع تغییر	میانگین مربعات	
	درجه آزادی	مقاومت فروپذیری (PR)
ماده آلی	۳	۰/۳۰۶**
بافت	۱	۳/۰۲۱*
ماده آلی * بافت	۳	۰/۵۰۱*
خطای آزمایشی	۱۶	۰/۰۱۲*

* و **: به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح آماری ۵ و ۱ درصد هستند.

تراکم‌پذیری خاک با افزودن مواد آلی، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

اختلاف PI در بالاترین سطح تیمار بقایا (۹ درصد) نسبت به تیمار شاهد، در خاک لومی رسی سیلتی ۴۹ درصد و در مورد خاک شنی ۲۹ درصد بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر بقایای پسته بر کاهش PI در مورد خاک لوم رسی سیلتی بیشتر از خاک شنی بوده است. افزودن ماده آلی به خاک ریزبافت، اثر مطلوب‌تری در کاهش مقاومت فروپذیری آن نسبت به خاک درشت‌بافت داشت.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، افزودن بقایای پسته موجب بهبود خواص فیزیکی خاک از قبیل چگالی ظاهری خاک و نگه‌داری آب در خاک شد. هم‌چنین، تراکم‌پذیری خاک با افزایش سطوح تفاله‌های پسته در هر دو نوع بافت خاک، کاهش یافت. به طوری که با افزایش بقایا با توجه به منحنی‌های تراکم، چگالی ظاهری بیشینه کاهش و رطوبت بحرانی افزایش یافت. بدین معنی که در تیمارهای بقایا، رطوبتی که در آن حداکثر تراکم ایجاد می‌شود، افزایش یافت. اثر متقابل بافت خاک و تیمار بقایای پسته معنی‌دار بود. به بیان دیگر، عکس‌العمل بافت‌های مختلف خاک

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]

نسبت به افزودن بقایا از نظر تأثیر آنها بر خواص خاک، متفاوت بود. در پایان باید ذکر نمود که نتایج این تحقیق فقط اثر مطلوب این تفاله‌ها را بر خواص فیزیکی خاک نشان داد و برای استفاده کاربردی آنها به عنوان کود آلی و توصیه آن به کشاورزان، باید تحقیقات دیگری از قبیل تأثیر آنها بر خواص شیمیایی و حاصلخیزی خاک (مثل شوری، عناصر غذایی) و بر رشد و عملکرد گیاه انجام گیرد و کاربرد صحیح آنها با توجه به نتایج این پژوهش‌ها توصیه شود.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های این پژوهش، از طریق پژوهانه اختصاص یافته توسط حوزه پژوهشی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان تأمین گردیده که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. ابن جلال، ر. و م. شفاعی بجستان. ۱۳۷۱. *اصول نظری و علمی مکانیک خاک*. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲. برزگر، ع. ۱۳۸۰. *فیزیک خاک پیشرفته* (چاپ اول). انتشارات دانشگاه چمران اهواز.

۳. شاهویی، ص. ۱۳۸۵. *سرشت و خصوصیات خاک‌ها* (ترجمه). چاپ اول، انتشارات دانشگاه کردستان.

۴. غازانشاهی، ج. ۱۳۷۸. *خاک و روابط آن در کشاورزی*. انتشارات کار نو، تهران.

۵. نقوی، ه.، م. افیونی و م.ع. حاج‌عباسی. ۱۳۸۴. تأثیر کود گاوی بر برخی خصوصیات فیزیکی و ضرایب هیدرولیکی و انتقال برماید در یک خاک لوم شنی در کرمان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۹(۳): ۹۳ - ۱۰۲.

6. Adams, W. A. 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. J. Soil Sci. 24: 10-17.
7. Adekalu, K.O. and J.A. Osunbitan. 2001. Compactibility of some agricultural soils in sout western Nigeria. Soil and Till. Res. 59:27-31.
8. Barzegar, A. R., M. A. Asoodar and M. Ansari. 2000. Effect of sugarcane residue incorporation at different water contents and the proctor compaction loads in reducing soil compactibility. Soil and Till. Res. 57: 167-172.
9. Braida, J. A., J. M. Reichert, M. da Veiga, and D. J. Reinert. 2006. Mulch and soil organic carbon content and their relationship with the maximum soil density obtained in the Proctor test. Revista Brasileira de Cieˆncia do Solo 30:605–614.
10. Ekwue, E. I. and R. J. Stone. 1995. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricaltural soils. Trans. ASAE, 38: 357-365.
11. 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.
12. Gupta, S. C., E. C. Schneider, W. E. Larson and A. Hadas. 1987. Influence of corn residue on compression and compaction behavior of soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 51: 207-212.
13. Jackson, M. L. 1975. Soil Chemical Analysis, Advance Course. Univ. Wisconsin- Madison Libraries. 1nd ed., USA.
14. Khaleel, R., K. R. Reddy and M. R. Overcash. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste applications. J. Environ. Qual. 10: 133-141.
15. Klute, A. 1986. Method of Soil Analysis. Part 1- physical and mineralogical methods. Second edition. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy Inc., Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
16. Klute, A. 1986. Method of soil analysis. Part 2- chemical and biochemical methods. Second edition. Agronomy No. 9. America Society of Agronomy Inc., Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
17. Maiorana, M., A. Castrignano and F. Fornaro. 2001. Crop residue management effects on soil mechanical impedance. J. Agric. Eng. Res. 79: 231-237.
18. Mapfumo, E. and D. S. Chanasyk. 1998. Guidelines for safe trafficking and cultivation, and resistance-density-moisture relations of three disturbed soils from Alberta. Soil and Till. Res. 46:193-202.
19. Mosaddeghi, M. R., A. J. Koolen, M. A. Hajabbasi, A. Hemmat and T. Keller. 2007. Suitability of pre-compression stress as the real critical stress of unsaturated agricultural soils. Biosys. Eng. 98: 90–101.
20. Mosaddeghi, M. R., M. Morshedizad, A. A. Mahboubi, A. R. Dexter and R. Schulin. 2009. Laboratory evaluation of

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]

a model for soil crumbling for prediction of the optimum soil water content for tillage. Soil and Till. Res. 105: 242–250.
21. Ohu, J. O., E. Ekwue and O. A. Folorunse. 1994. The effect of addition of organic matter on the compaction of a vertisol from Northern Nigeria. Soil Technol. 7: 155-162.
22. Ohu, J. O., O. A. Folorunso, F. A. Adeniji and G. S. V. Raghavan. 1989. Critical moisture content as an index of compactibility of agricultural soils in Borno State of Nigeria. Soil Technol. 2: 211-219.
23. Ohu, J. O., G. S. Raghavan and E. McKyes. 1985. Peatmoss effect on the physical and hydraulic characteristics of compacted soils. Trans. ASAE, 28: 420-424.
24. Soane, B. D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. Soil and Till. Res. 16: 179-201.
25. Zhang, H., H. Hartage and H. Ringe. 1997. Effectiveness of organic matter incorporation in reducting soil compactibility. Soil Sci. Soc. Amer. J. 61: 239-245.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.7.5]