

تغییر پارامترهای مقاومت برشی خاک ریز بافت تحت تأثیر چرخه‌های تر و خشک شدن**مریم صالحیان دستجردی^۱ و عباس همت^۲**^۱ و ^۲ - به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه صنعتی اصفهان**چکیده**

مقاومت برشی خاک از مهمترین ویژگی‌های موثر بر روابط ماشین و خاک است. یکی از عوامل تأثیرگذار بر مقاومت برشی خاک، مقاومت خاکدانه‌ها است که می‌تواند با تر و خشک شدن خاک تغییر کند. به همین منظور، اثر این فرآیند بر پارامترهای مقاومت برشی یک خاک ریز بافت مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش نمونه‌های بزرگ خاک تهیه و برخی از آن‌ها تحت تأثیر ۵ چرخه تر و خشک شدن قرار گرفت. سپس نمونه‌ها با یا بدون تر و خشک شدن تحت سه سطح بار متراکم کننده و در دو سطح رطوبتی متراکم گردید. سپس سه نمونه برای انجام آزمایش برش مستقیم و یک نمونه برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک تهیه گردید. نتایج نشان داد که تر و خشک شدن با افزایش تحرک ذرات رس و رسوب آن‌ها در بین ذرات درشت و بر روی باندهای آبی، موجب افزایش چگالی ظاهری و چسبندگی و کاهش زاویه اصطکاک داخلی گردید. **واژه‌های کلیدی:** چرخه‌های تر و خشک شدن، چگالی ظاهری، مقاومت برشی خاک.

مقدمه

مقاومت برشی خاک یک ویژگی مهم خاک است (Arroyo et al., 2013) که بر سایر ویژگی‌های ذاتی آن از جمله فرسایش پذیری خاک (Zhang et al., 2001)، روابط ماشین و خاک (Imhoff et al., 2004) و طراحی ابزارهای خاک‌ورزی و کاشت (Sadek et al., 2011) موثر می‌باشد. از عوامل تأثیرگذار بر مقاومت برشی خاک می‌توان به نوع خاک، مقدار رطوبت خاک (Kemper and Rosenau, 1984)، مواد آلی خاک، چگالی ظاهری خاک (Mouazen, 2002) و استحکام خاکدانه‌ها (Frei et al., 2003) اشاره کرد. پژوهش‌ها نشان داده است که تأثیر چرخه‌های تر و خشک شدن بر استحکام خاکدانه‌ها بسیار متفاوت است و به نوع خاک بستگی دارد (Al-Obaydi et al., 2010; Tang et al., 2011). Telfair et al. (۱۹۷۵) بیان کردند که تر و خشک شدن خاک‌های بدون ساختمان، تشکیل خاکدانه‌ها را در پی دارد و برای بازسازی خاک‌هایی با ساختمان آسیب دیده مفید است. Swanepoel et al. (۲۰۱۳) نیز یافتند که تر و خشک شدن خاک‌ها می‌تواند تغییرات قابل توجهی بر خاکدانه‌ها و ساختمان آنها داشته باشد. تغییرات فیزیکی خاک در اثر چرخه‌های تر و خشک شدن عبارتند از: تغییر شکل خاکدانه‌ها (Telfair et al., 1975)، افزایش مقاومت کششی (Dexter et al., 1984) و کاهش پایداری خاکدانه‌ها. Materechera et al. (۱۹۹۲) تشکیل خاکدانه‌ها را در دو نوع خاک مختلف با مقدار رس زیاد و کم مورد بررسی قرار داد و یافتند که چرخه‌های تر و خشک شدن سبب افزایش تخلخل خاکدانه‌های کوچک و مقاومت خاکدانه‌ها می‌شود. تغییرات ایجاد شده در اثر تر و خشک شدن می‌تواند از نوع تغییر در درشت ساختار (شکل و اندازه خاکدانه‌ها) و یا تغییر در ریز ساختار (میکرومرفولوژی و مقاومت داخل خاکدانه‌ها) باشد (Hussein and Adey, 1995). پژوهش‌های Leij et al. (۲۰۰۲) نشان داد که خشک کردن خاک منافذ ساختمانی (منافذ درشت) را کاهش و منافذ ریز را افزایش می‌دهد. هنگامی که خاک‌های غیراشباع تحت تنش‌های داخلی و خارجی قرار می‌گیرند، در اثر جوش خوردن خاکدانه‌ها و تبدیل آنها به واحدهای بزرگ‌تر، منافذ خاک و مقاومت آنها افزایش می‌یابد (Peng and Horn, 2005).

مقاومت برشی خاک تحت تأثیر دو عامل چسبندگی و مقاومت اصطکاکی بین دانه‌های خاک است. کلمب (۱۷۷۶) رابطه‌ای بین تنش عمودی و تنش برشی در صفحه گسیختگی بیان نمود:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

در این رابطه τ تنش برشی، σ تنش عمودی، c چسبندگی و φ زاویه اصطکاک داخلی است (Hemmat et al., 2009). روش‌های بسیاری از جمله آزمایش برش مستقیم، پره برشی، آزمایش تک محوری غیر محصور و آزمایش سه محوری برای اندازه‌گیری‌های

مقاومت برشی خاک وجود دارد (Hoyos et al., 2010) که دو روش برش مستقیم و سه محوری متداول تر است. Hemmat et al. (۲۰۰۹) و Nam et al. (۲۰۱۱) از آزمایش برش مستقیم برای ارزیابی مقاومت برشی خاک استفاده کردند. در این پژوهش تأثیر چرخه‌های تر و خشک شدن بر پارامترهای مقاومت برشی یک نوع خاک ریز بافت (رس سیلتی) با استفاده از آزمایش برش مستقیم مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

در این پژوهش، یک نوع خاک سطحی (عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری) با بافت ریز از مزارع شرکت طرح توسعه نیشکر اهواز تهیه شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (Sheldrick and Wang, 1993) و حدود پایداری خاک، شامل حد روانی، حد خمیری و حد انقباض به روش استاندارد BS اندازه گرفته شد (McBride, 1993). درصد آهک و مواد آلی به ترتیب به روش‌های خنثی کردن با اسید و سوزاندن تر اندازه‌گیری شد (Walkley and Black, 1934). مقدار ظرفیت زراعی به روش صفحات فشاری در فشار ۳۰ کیلو پاسکال و با سه تکرار تعیین شد. برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک مورد مطالعه^۱

بافت	شن	سیلت	رس	حدروانی	حد خمیری	حد انقباض	گنجایش زراعی	آهک	مواد آلی
رس سیلتی	۱۲	۴۶	۴۲	۳۴/۲	۱۹/۰	۱۲/۳	۲۵	۶۳	۰/۴۲

^۱ همه اعداد به صورت درصد وزنی بیان شده‌اند.

روش تهیه نمونه‌های خاک

در ابتدا خاک سطحی هوا-خشک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس با توجه به اینکه آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های بدون تر و خشک شدن و نمونه‌هایی که تحت فرآیند تر و خشک شدن قرار گرفته انجام می‌شد، نمونه‌ها به دو روش زیر آماده گردیدند. در نوع اول که بدون تر و خشک شدن بود، با توجه به حجم ظرف آزمایش (قطر ۲۵/۵ و ارتفاع ۸ سانتی‌متر) و چگالی ظاهری خشک معادل با ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و نیز دو سطح رطوبتی ۰/۹ حد خمیری (PL) و ۱/۱ PL، مقدار خاک و آب مورد نیاز محاسبه گردید. سپس خاک درون سینی فلزی ریخته شد و آب به کمک آب فشان به آن اضافه گردید و به مدت ۴۵ دقیقه ورز داده شد. پس از آن خاک مرطوب به سینی کوچکتری منتقل گردید و روی سطح خاک با پارچه مرطوب و روکش پلاستیکی پوشانده شد و به مدت ۲۴ ساعت باقی ماند تا رطوبت به طور یکنواخت در آن توزیع گردد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، خاک مرطوب به صورت لایه لایه، (سه لایه ۲/۶۶ سانتی‌متر) در ظرف ریخته شد تا فشردگی یکنواختی با عمق نمونه به دست آید. در نوع دوم که نمونه‌ها با تر و خشک شدن همراه بود، مجدداً با توجه به حجم ظرف (قطر ۲۵/۵ و ارتفاع ۸ سانتی‌متر) و چگالی ظاهری خشک برابر با ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب مقدار خاک مورد نیاز تعیین گردید. پس از آن مقدار خاک محاسبه شده به درون ظرف ریخته شد. سطح خاک صاف گردید و با یک روکش پلاستیکی که سوراخ‌هایی روی آن قرار داشت پوشانده شد. سپس مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن خاک به رطوبت FC محاسبه گردید و روی سطح پلاستیک ریخته شد، پس از فرو رفتن کامل آب به درون خاک روکش پلاستیکی برداشته و ظرف پس از وزن شدن به درون آونی با دمای ۴۰ درجه سانتیگراد (میانگین دمای فصل رشد نیشکر) منتقل گردید. پس از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها مرتباً وزن گردید تا زمانی که رطوبت آن به مقدار ۰/۷ ظرفیت زراعی (FC) (مقدار رطوبت خاک در موقع آبیاری) رسید. در این موقع رطوبت نمونه‌ها به منظور یکنواخت مرطوب شدن آن‌ها و نیز کم بودن مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن نمونه‌ها به رطوبت FC نسبت به مرحله اول مرطوب کردن، آب با استفاده از آب‌فشان به نمونه‌ها اضافه گردید و ظرف مجدداً درون آون قرار گرفت. مراحل مرطوب و خشک کردن هر ظرف خاک تا ۵ مرتبه و در مدت ۲۰-۱۵ روز انجام گرفت. در آخرین چرخه، خشک کردن نمونه‌ها تا زمانی که رطوبت نمونه‌های



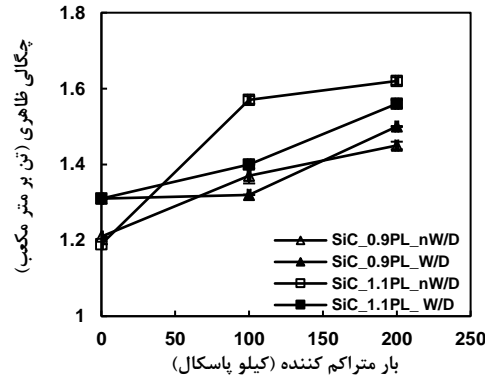
خاک به ۰/۹PL یا ۱/۱PL برسد، ادامه یافت. سپس نمونه‌ها با پارچه مرطوب و روکش پلاستیکی پوشانده شد و به مدت ۲۴ ساعت باقی ماند تا رطوبت به طور یکنواخت در آن توزیع گردد. پس از تهیه نمونه، آزمایش‌ها به دو صورت ادامه یافت. در برخی از آزمایش‌ها پس از تهیه نمونه سطح خاک بارگذاری شد و در برخی دیگر بدون اعمال پیش بار مراحل بعدی انجام گرفت. سپس یک نمونه استوانه‌ای (با قطر و ارتفاع ۵ سانتیمتر) برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک و سه نمونه (به ترتیب با قطر و ارتفاع ۶۳ و ۲۰ میلی‌متر) برای آزمایش برش تهیه گردید. سپس بارهای عمودی ۱۵/۵، ۳۱/۵ و ۶۳ کیلوگرم (برابر با سه سطح تنش ۷۵، ۱۲۵ و ۲۲۵ کیلو پاسکال) انتخاب گردید. جابجایی سنج‌های افقی و عمودی در هر ۳۰ ثانیه قرائت گردید و قرائت‌ها تا ۹ دقیقه ادامه یافت. سپس با رسم نمودار تنش-تغییر مکان برشی (افقی) در هر آزمایش، تنش برشی بیشینه تعیین گردید. با رسم تنش برشی در برابر تنش عمودی (۷۵، ۱۲۵ و ۲۲۵ کیلو پاسکال) و برازش یک خط به آن نقاط، پارامترهای چسبندگی (c) و زاویه اصطکاک داخلی (φ) تعیین گردید.

در این پژوهش تأثیر دو سطح رطوبتی (۰/۹PL و ۱/۱PL)، سه سطح بار متراکم کننده (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال) در شرایط با و بدون تر و خشک شدن، بر پارامترهای مقاومت برشی خاک با آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی گردید. در صورت معنی دار بودن اثر هر عامل و برهم کنش آن‌ها، میانگین آن‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد با هم مقایسه شدند.

نتایج و بحث

چگالی ظاهری خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تعیین چگالی ظاهری خاک نشان می‌دهد که اثر متقابل تر و خشک شدن، رطوبت و مقدار بار متراکم کننده بر چگالی ظاهری در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در حالت بدون بار چگالی ظاهری نمونه‌های بدون تر و خشک شدن ۱/۲ تن بر متر مکعب و برای نمونه‌های با تر و خشک شدن تقریباً ۱/۳ تن بر متر مکعب می‌باشد، یعنی با تر و خشک شدن خاک چگالی ظاهری افزایش می‌یابد. در حالت بدون تر و خشک شدن با اعمال بار ۱۰۰ کیلو پاسکال چگالی ظاهری افزایش یافته یعنی ذرات خاک در هم فرو رفته‌اند، اما از ۱۰۰ کیلو پاسکال به بعد به دلیل افزایش سطح تماس، ذرات کمتر نسبت به هم جابجا شده و کمتر در هم فرو می‌روند و همین امر باعث می‌شود که چگالی ظاهری در ۲۰۰ کیلو پاسکال تغییر زیادی نسبت به ۱۰۰ کیلو پاسکال نداشته باشد. در حالت با تر و خشک شدن، خاک در برابر بارهای خارجی مقاوم‌تر گردیده و همانگونه که مشاهده می‌شود در رطوبت ۰/۹PL با اعمال بار ۱۰۰ کیلو پاسکال چگالی ظاهری تغییر نکرده زیرا این فرآیند موجب شده که ظرفیت باربری معادل با ۱۰۰ کیلو پاسکال به خاک داده شود (خاک پیش تحکیم شد). مقاوم شدن این خاک به تراکم در اثر فرآیند تر و خشک شدن به علت نقش رس در ایجاد پیوندهای سیمانی است (Lado et al., 2004). اما در رطوبت ۱/۱PL به دلیل اینکه نمونه‌ها رطوبت بالاتری داشته با اعمال بار ۱۰۰ کیلو پاسکال ذرات تا حدودی جابجا شده و در هم فرو می‌روند و همین امر باعث افزایش چگالی ظاهری خاک گردیده است. اما در هر دو رطوبت با اعمال بار ۲۰۰ کیلو پاسکال چون خاک به حالت اشباع نزدیک می‌شود حرکت ذرات و در هم فرو رفتن آنها بیشتر شده (Ghezzehei and Or, 2000) و با توجه به اینکه آب یک ماده روان کننده است به ذرات خاک کمک می‌کند به راحتی در هم فشرده شده و چگالی ظاهری افزایش می‌یابد.



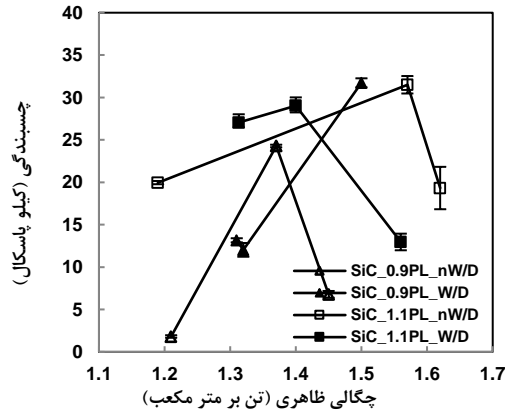
شکل ۱- اثر رطوبت، تر و خشک شدن و بار متراکم کننده بر چگالی ظاهری

رابطه چسبندگی با بار متراکم کننده

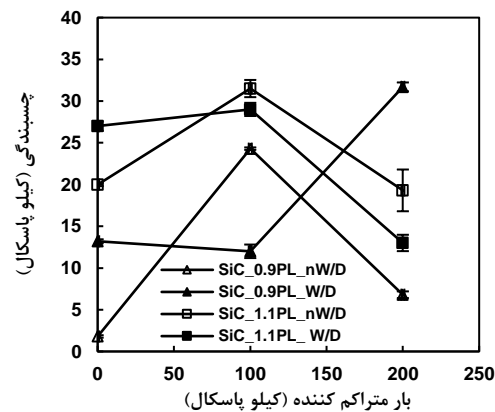
اثر تر و خشک شدن، رطوبت و بار متراکم کننده بر چسبندگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. در بارهای متراکم کننده ۰ و ۱۰۰ کیلو پاسکال با افزایش رطوبت از ۰/۹P/L به ۱/۱P/L چسبندگی خاک افزایش یافت (شکل ۲ الف) زیرا علاوه بر مکش ماتریک، تعداد هلال‌های آبی که بین ذرات خاک تشکیل می‌شود می‌تواند عامل چسبندگی خاک باشد. با افزایش رطوبت تعداد هلال‌ها و همچنین پیوستگی غشاهای رطوبتی در خاک بیشتر می‌شود. که این با نتایج به دست آمده توسط Hemmat et al. (۲۰۰۹) مطابقت دارد اما با نتایج McKyes et al. (۱۹۹۴) و Mouazen (۲۰۰۲) متفاوت است زیرا آنها گزارش کردند که با افزایش رطوبت چسبندگی کاهش می‌یابد. البته در بار متراکم کننده ۲۰۰ کیلو پاسکال چسبندگی کاهش یافت احتمالاً اشباع شدن خاک در حین بارگذاری از تماس بیشتر ذرات جلوگیری نموده است. در نمونه‌هایی که تحت فرآیند تر و خشک شدن قرار گرفته است در حالت بدون بار چسبندگی افزایش یافته زیرا هنگامی که خاک تحت چرخه‌های تر و خشک قرار می‌گیرد خاکدانه‌ها در محل تماسشان بهم می‌پیوندند (Ghezzehei and Or, 2000) و مواد پراکنده شده (عموماً رس‌ها) بر روی محل تماس آنها ته نشین می‌شوند (Ghezzehei and Or, 2000; Hussein and Adey, 1995) این افزایش چسبندگی باعث شده که مقاومتی برای تحمل بار ۱۰۰ کیلو پاسکال در خاک ایجاد شود و با اعمال بار ۱۰۰ کیلو پاسکال خاک تغییر محسوسی نداشته باشد زیرا با رسوب مواد پراکنده شده بر روی محل تماس، سطح تماس افزایش می‌یابد و چون نیرو ثابت است و سطح زیاد شده پس تنش کاهش می‌یابد و این تنش، کمتر از حد آستانه تحمل تنش برشی شده و جریانی ایجاد نمی‌شود. اما با اعمال بار ۲۰۰ کیلو پاسکال با توجه به اینکه سطح تماس خاکدانه‌ها جهت‌های مختلفی دارد این بار عمودی اعمال شده می‌تواند در بعضی از سطوح تماس به صورت مماسی عمل کرده و در صورتی که تنش‌های مماسی ایجاد شده در این سطوح بیشتر از حد آستانه تحمل تنش برشی باشد خاکدانه‌ها شروع به جریان کرده و چسبندگی کاهش می‌یابد.

رابطه چسبندگی با چگالی ظاهری خاک

شکل ۲ (ب) نشان می‌دهد که در رطوبت ۱/۱P/L با افزایش چگالی ظاهری خاک (افزایش بار متراکم کننده از ۰ به ۱۰۰ کیلو پاسکال) چسبندگی افزایش یافت که البته در حالت بدون تر و خشک شدن این افزایش محسوس‌تر بود. سپس با رسیدن بار متراکم کننده به ۲۰۰ کیلو پاسکال چسبندگی کاهش یافت که دلیل آن رسیدن خاک به حالت اشباع و افزایش فشار آب خاک و جلوگیری از تماس بیشتر ذرات می‌باشد. برای رطوبت ۰/۹P/L و با تر و خشک شدن این روند دیده نشد احتمالاً تر و خشک شدن باعث ایجاد ترک‌های داخلی در نمونه و پوک شدن خاک شده و همین امر پیوستگی ذرات را کاهش داده است و با اعمال بار ۱۰۰ کیلو پاسکال این ترک‌ها از بین نرفته و چسبندگی تغییر محسوسی نکرده است اما با اعمال بار ۲۰۰ کیلو پاسکال ترک‌ها از بین رفته و خاک پیوستگی بیشتری پیدا کرده و چسبندگی آن افزایش یافته است.



(ب)



(الف)

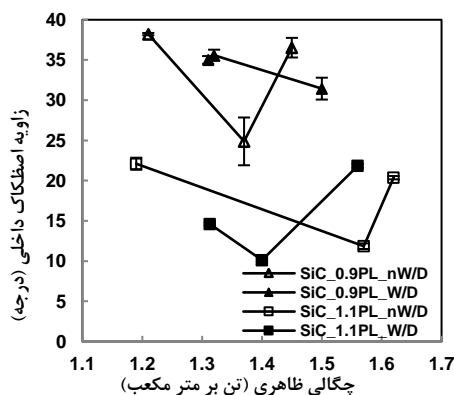
شکل ۲- (الف) اثر رطوبت، تر و خشک شدن و بار متراکم کننده بر چسبندگی و (ب) اثر رطوبت، تر و خشک شدن و چگالی ظاهری بر چسبندگی.

رابطه زاویه اصطکاک داخلی با بار متراکم کننده

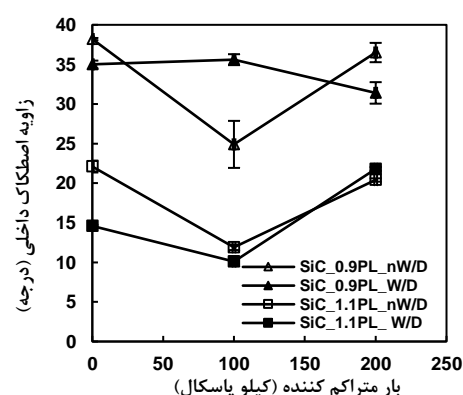
افزایش رطوبت از ۰/۹PL به ۱/۱PL موجب کاهش زاویه اصطکاک داخلی گردید (شکل ۳ الف). علت این کاهش احتمالاً رسوب ذرات رس در بین ذرات درشت و کاهش مقدار فرورفتگی آنها می باشد (Hemmat et al., 2009). پژوهش های Komandi (۱۹۹۲) و Zhang et al. (۲۰۰۱) نیز نشان داد که افزایش رطوبت خاک کاهش زاویه اصطکاک داخلی را در پی خواهد داشت.

رابطه زاویه اصطکاک داخلی با چگالی ظاهری

شکل ۳ (ب) نشان می دهد که در هر دو رطوبت (۰/۹PL و ۱/۱PL) زاویه اصطکاک داخلی در اثر ۵ سیکل تر و خشک شدن کاهش و چگالی ظاهری افزایش یافت. به نظر می رسد رسوب ذرات رس در بین ذرات درشت و کاهش مقدار فرورفتگی سبب کاهش زاویه اصطکاک داخلی شده است (Hemmat et al., 2009). همانگونه که در شکل های ۲ و ۳ مشاهده می شود رفتار چسبندگی و اصطکاک داخلی خاک عکس یکدیگر است یعنی هر کجا چسبندگی افزایش یافته، زاویه اصطکاک داخلی کاهش یافته است و بالعکس که نشان می دهد این دو پارامتر در خاک نقش مکمل دارند. این نتایج با نتایج به دست آمده توسط Hemmat et al. (۲۰۰۹) مطابقت دارد.



(ب)



(الف)

شکل ۳- (الف) اثر رطوبت، تر و خشک شدن و بار متراکم کننده بر زاویه اصطکاک داخلی و (ب) اثر رطوبت، تر و خشک شدن و چگالی ظاهری بر زاویه اصطکاک داخلی.

منابع:



- Al-Obaydi MA. Al-Kiki IM. and Al-Zubaydi AH. 2010. Strength and durability of gypseous soil treated with waste lime and cement. *Journal of Al-Rafidain Engineering*, 18: 28–42.
- Arroyo H. Rojas E. Perez-Rea ML. Horta J. and Arroyo J. 2013. Simulation of the shear strength for unsaturated soils. *Comptes Rendus Mecanique*, 341: 727–742.
- Dexter A. Kroesbergen B. and Kuipers H. 1984. Some mechanical properties of aggregates of top soils from the IJsselmeer polders. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 32: 205–227.
- Frei M. Boll A. Graf F. Heinemann HR. and Springman S. 2003. Quantification of the influence of vegetation on soil stability. *Proceedings of the International Conference on Slope Engineering: 8–10 December .2003. Hong Kong, China.*
- Ghezzehei TA. and Or D. 2000. Dynamics of soil aggregate coalescence governed by capillary and rheological processes. *Water Resources Research*, 36: 367–379.
- Hemmat A. Tahmasebi M. Vafaeian M. and Mosaddeghi MR. 2009. Relationship between pre-compaction stress and shear strength under confined and semi-confined loadings for a sandy loam soil. *Biosystems Engineering*, 102: 219-226.
- Hoyos LR. Velosa CL. and Puppala AJ. 2010. A novel suction-controlled ring shear testing apparatus for unsaturated soils. 2010 GeoShanghai International Conference— Experimental and Applied Modeling of Unsaturated Soils, June 3, 2010– June 5, 2010 . *Geo technical Special Publication. American Society of Civil Engineers, Shanghai, China* , pp. 32– 39.
- Hussein J. and Adey MA. 1995. Changes in microstructure, voids and fabric of surface samples of a Vertisol caused by wet and dry cycles. *Geoderma*, 85: 63–82.
- Imhoff S. Da Silva AP. Fallow D. 2004. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility of Hapludox. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 17–24.
- Kemper WD. and Rosenau RC. 1984. Soil cohesion as affected by time and water content. *Soil Science Society American Journal*, 48: 1001-1006.
- Komandi G. 1992. On the mechanical properties of soil as they affect traction. *Journal of Terramechanics*, 29: 373–380.
- Lado M. Ben-Hur M. and Shainberg I. 2004. Soil wetting and texture effects on aggregate stability, seal formation, and erosion. *Soil Science Society American Journal*, 68: 1992–1999.
- Leij FJ. Ghezzehei TA. and Or D. 2002. Modeling the dynamics of the soil pore-size distribution. *Soil and Tillage Research*, 64: 61–78.
- Materechera SA. Dexter AR. and Alston AM. 1992. Formation of aggregates by plant roots in homogenised soils. *Plant Soil* 142: 69-79.
- McBride RA. 1993. Soil consistency limits. p. 519-527 .In: *Soil Sampling and Methods of Analysis (Carter/Red)*. Lewis Publications/CRC Press, Boca Raton, FL.
- McKyes E. Nyamugafata P. and Nyamapfene KW. 1994. Characterization of cohesion, friction angle and sensitivity of two hardsetting soils from Zimbabwe. *Soil and Tillage Research*, 29: 357–366.
- Mouazen AM. 2002. Mechanical behaviour of the upper layers of a sandy soil under shear loading. *Journal of Terramechanics*, 39:115-126.
- Nam S. Gutierrez M. Diplas P. and Petrie J. 2011. Determination of the shear strength of unsaturated soils using the multistage direct shear test. *Engineering Geology*, 122: 272–280.
- Peng X. and Horn R. 2005. Modelling Soil Shrinkage Curve across a wide range of Soil Types. *Journal of Soil Science of American Society*, 69: 584–492.
- Sadek MA. Chen Y. and Liu J. 2011. Simulating shear behavior of a sandy soil under different soil conditions. *Journal of Terramechanics*, 48: 451–458.
- Sheldrick BH. and Wang C. 1993. Particle size distribution. In M. R. Carter (Ed.), *Soil sampling and methods of analysis*. PP 499-511. Boca Raton, FL: Lewis Publications/CRC Press.
- Swanepoel P. Botha P. du Preez C. and Snyman H. 2013. Physical quality of a podzolic soil following 19 years of irrigated minimum-till kikuyu-ryegrass pasture. *Soil and Tillage Research*, 133: 10–15.
- Tang AM. Ngoc M. and Cui Y.J. 2011. Effects of the maximum soil aggregates size and cyclic wetting–drying on the stiffness of a lime-treated clayey soil. *Journal of Geotechnique*, 61:421–429.
- Telfair D. Gardner MR. and Miars D. 1957. The restoration of a structurally degenerated soil. *Soil Science Society of America Journal*. 21: 131-134.
- Walkley A. and Black IA. 1934. An examination of the effect of the digestive method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sciences*, 37: 29–38.
- Zhang B. Horn RT. and Baumgartl T. 2001. Shear strength of surface soil as affected by soil bulk density and soil water. *Soil and Tillage Research*, 59:97-106.



Soil Shear Strength of a Fine Textured Soil as affected by Wetting and Drying Cycles

M. Salehian Dastjerdi and A. Hemmat

Ph.D. Student and Professor, Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract

Soil shear strength is the most important features of the relationship between the machine and the soil. One of the factors affecting soil shear strength is resistance aggregates that can be changed with soil wet and dry. For this reason, the effect of this process on soil shear strength parameters of a fine-textured were studied. In this study, Large air-dry disturbed soil samples were prepared and some of them were exposed to five wetting and drying cycles. After that, the large soil samples with/without wetting and drying cycles were compressed under three loads and two water contents. Then three samples were prepared for direct shear tests and one sample for bulk density. The results showed that wetting and drying process by increasing mobility of clay particles and sedimentation among larger particles and the water films, increase bulk density and cohesion and reduce the internal friction angle.

Keywords: Wetting and drying cycles, Bulk density, Soil shear strength.