

تأثیر چرخه‌های تر و خشک شدن بر منحنی فشردگی و ارزیابی روش‌های برآورد تراکم‌پذیری خاک درشت بافت

مریم صالحیان دستجردی^۱ - عباس همت^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۹

چکیده

تر و خشک شدن با ایجاد تنش در خاک، ساختمان فیزیکی آن را تغییر می‌دهد. به همین منظور، اثر این فرآیند بر ارزیابی روش‌های برآورد آستانه‌ی تراکم‌پذیری (ظرفیت باربری یا تنش پیش-تراکمی) یک خاک درشت بافت (لوم‌شنی) تهیه شده از مزارع شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی اهواز، مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش روش‌های نشست صفحه‌ای (PST) و فشردگی محصور ارزیابی شدند. نمونه‌های بزرگ خاک تهیه و برخی از آن‌ها تحت تأثیر ۵ چرخه تر و خشک شدن قرار گرفت. سپس نمونه‌های با یا بدون فرآیند تر و خشک شدن تحت سه بار (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال) متراکم گردید و آزمایش نشست صفحه‌ای در مرکز نمونه‌ها انجام شد. از اطراف محل این آزمایش، نمونه‌ای برای انجام آزمایش فشردگی محصور تهیه گردید. نتایج نشان داد که برای حالت بدون تر و خشک شدن، اختلاف معنی‌داری بین بار وارد شده به نمونه و مقادیر به دست آمده از آزمایش PST وجود نداشت. در صورتی که برای خاک تر و خشک شده، مقادیر به دست آمده به‌طور معنی‌داری بیشتر از بار متراکم‌کننده بود. پس می‌توان برای خاک‌های خاک‌ورزی شده به‌منظور تعیین پارامترهای تراکمی آن از روش PST به‌عنوان یک روش سریع و قابل اجرا در آزمایشگاه و مزرعه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری غرقابی، تر و خشک شدن خاک، تنش پیش-تراکمی

مقدمه

در طبیعت خاک‌ها در اثر وزن خود، بارهای خارجی و نیروهای داخلی دچار کاهش حجم می‌شوند. اگر این کاهش حجم به دلیل کاهش حفره‌های هوا در خاک باشد در این حالت فرآیند تراکم اتفاق می‌افتد، ولی اگر کاهش حجم به‌علت خروج آب از حفره‌های آن باشد تحکیم رخ می‌دهد (۲). کولن (۱۳) معتقد است که در خاک‌های کشاورزی، علاوه بر نیروهای خارجی وارده به خاک، به تراکم خاک در اثر فرآیندهای داخلی (حاصل از نیروهای مکش آب خاک) نیز باید توجه شود. فرآیند تر و خشک شدن منافذ خاک را کاهش داده و مقاومت آن را افزایش می‌دهد (۱۸). تغییرات ایجاد شده در اثر مرطوب شدن ناشی از تورم خاک و محبوس شدن هوا است؛ در صورتی که تغییرات در مرحله خشک شدن ناشی از تغییر موقعیت خاکدانه‌ها و ته‌نشین شدن مواد پراکنده بین آنها (سیمانی شدن)

می‌باشد (۱۰).

حالت ریزساختار^۳ خاک نشانگر چگونگی آرایش و درهم نگه داشتن ذرات می‌باشد و به‌طور کلی می‌تواند برحسب تماس و پیوندهای بین ذره‌ای تعریف شود. دو نوع اندرکنش اساسی بین ذرات معدنی وجود دارد که رفتار ریزساختاری یک خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند: (۱) تماس‌های اصطکاکی بین ذرات که از بارهای خارجی و مکش منفی در غشاء آبی که نقاط تماس بین ذرات را پیوند می‌دهد، نشأت می‌گیرد و (۲) پیوندهای داخلی که از فرآیندهای سیمانی شدن حاصل می‌گردد (۸). به‌طور کلی حالت ریزساختاری یک خاک را می‌توان به وسیله حد توسعه پیوندهای سیمانی توضیح داد. دو حالت حدی را می‌توان بیان نمود که در شرایط آزمایشگاهی قابل دستیابی می‌باشد. مدل سیمانی^۴ که در آن پیوندهای سیمانی دست نخورده می‌باشند و مدل بازسازی شده^۵ که در آن پیوندهای سیمانی به‌طور فیزیکی شکسته شده‌اند. در شرایط واقعی مزرعه، خاک می‌تواند شرایطی بین این حالات را داشته باشد (۸).

۲۰۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد و استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(Email: ahemmat@cc.iut.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

3- Microstructure

4- Cemented model

5- Remolded model

فشردگی یک بعدی (ادومتر)، نشست صفحه‌ای^۴ و فشردگی محصور^۵ برای تعیین پارامترهای تراکمی خاک‌های اشباع استفاده می‌شود. در آزمایش فشردگی یک بعدی که بیشتر در مهندسی عمران کاربرد دارد بارهای ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ کیلوپاسکال، هر یک به مدت ۵ تا ۳۰ دقیقه به‌طور مرحله‌ای بر نمونه‌های استوانه‌ای خاک‌ها وارد می‌شود و در پایان هر فاصله‌ی زمانی، تغییر شکل عمودی خاک قرائت می‌گردد. به‌دلیل این‌که اجازه خروج آب از نمونه در حین آزمایش داده می‌شود، تنش وارده به نمونه، تنش موثر است (۱۲). در آزمایش نشست صفحه‌ای، بر یک صفحه روی سطح خاک، بارگذاری عمودی با نرخ ثابت انجام گرفته و نشست عمودی خاک اندازه‌گیری می‌شود (۱) و در آزمایش فشردگی محصور، خاک در درون یک سیلندر صلب توسط یک پیستون متحرک به سمت پایین با یک نرخ ثابت متراکم می‌شود و تنش وارده به پیستون و تغییر حجم خاک به‌طور پیوسته ثبت می‌گردد. برای خاک‌های غیر اشباع کشاورزی بیشتر از آزمایش‌های نشست صفحه‌ای و فشردگی محصور برای تعیین تراکم پذیری خاک استفاده می‌شود (۹). زیرا این دو روش علاوه بر اینکه به زمان کمی برای انجام آن‌ها نیاز است، به دو روش آزمایشگاهی و صحرایی (۱۶) نیز قابل اجرا هستند. الکساندر و ارل (۱) و مصدقی و همکاران (۱۷) از آزمایش نشست صفحه‌ای و لارسون و همکاران (۱۴) و مصدقی و همکاران (۱۶) از آزمایش فشردگی محصور برای ارزیابی تراکم‌پذیری خاک‌های کشاورزی استفاده کردند.

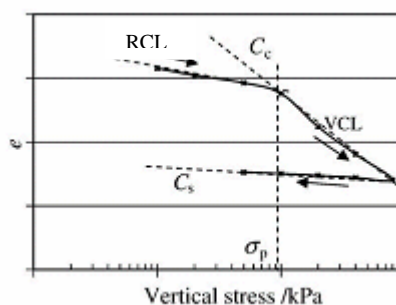
هدف این پژوهش، ارزیابی آزمایش‌های نشست صفحه‌ای و فشردگی محصور برای تعیین تراکم پذیری خاک‌های مناطق نیمه بیابانی و گرم ایران، که در دو حالت بدون چرخه‌های تر و خشک شدن و با تر و خشک شدن تحت بار خارجی قرار گرفته‌اند، بود.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های خاک مورد بررسی

در این پژوهش، یک نوع خاک سطحی (عمق صفر تا ۲۰ سانتی-متری) با بافت درشت از مزارع شرکت طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی اهواز تهیه شد. حدود پایداری خاک، شامل حد روانی، حد خمیری و حد انقباض به روش استاندارد BS اندازه گرفته شد (۱۵). بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد (۱۹). درصد آهک و مواد آلی به ترتیب به روش‌های خنثی کردن با اسید و سوزاندن تر اندازه‌گیری شد (۲۱). مقدار رطوبت ظرفیت زراعی به روش صفحات فشاری در فشار ۰/۳ بار و با سه تکرار تعیین شد. برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است.

در فرآیند تراکم، ارتباط مشخصی بین تنش عمودی وارده بر خاک و تغییر حجم خاک وجود دارد (۷). در این رابطه، بررسی نمودار تنش و یکی از پارامترهای مربوط به حالت تراکمی خاک از جمله: تخلخل، چگالی ظاهری، کرنش و حجم ویژه خاک اطلاعات مفیدی را در اختیار ما قرار می‌دهند (۱۲). با رسم نمودار لگاریتم تنش عمودی در برابر یکی از پارامترهای مربوط به حالت تراکمی خاک، می‌توان نمودار را به دو ناحیه مجزا تقسیم نمود: (۱) ناحیه‌ی برگشت پذیر کشسانی در تنش‌های پایین که خط فشردگی مجدد یا خط تورم^۱ نامیده می‌شود و (۲) ناحیه‌ی خطی در تنش‌های بالاتر که خط فشردگی بکر^۲ نام دارد. نقطه‌ی انتقال بین ناحیه‌ی برگشت‌پذیر کشسانی و ناحیه‌ی خطی تنش پیش-تراکمی^۳ نامیده می‌شود که بیانگر ظرفیت باربری خاک است. (شکل ۱).



شکل ۱- منحنی تراکم خاک که در آن نسبت پوکی در برابر تنش عمودی نشان داده شده است. RCL، VCL و σ_p به ترتیب نشانگر خط فشردگی مجدد، و خط فشردگی بکر و تنش پیش-تراکمی است (۶).

مقدار تنش پیش-تراکمی اهمیت خاصی در مدیریت خاک دارد، زیرا هرگاه خاک تحت تنش‌های کوچک‌تر از σ_{pc} قرار گیرد، تغییر شکل خاک ناچیز بوده ولی، در تنش‌های بزرگ‌تر تغییر شکل خاک ماندگار خواهد بود (۴). بنابراین، هدف اصلی از برآورد σ_{pc} تعیین ظرفیت باربری خاک در برابر تنش‌های وارده می‌باشد، تا با محدود نمودن بارگذاری به مقادیر کمتر از σ_{pc} ، خطر تراکم به حداقل برسد (۲).

کاساگراند (۳) برای اولین بار روشی برای یافتن σ_{pc} از روی منحنی نسبت پوکی-لگاریتم تنش ارائه نمود. در این روش، مختصات نقطه‌ی تقاطع خط فشردگی بکر و نیمساز خط افقی و خط مماس بر نقطه‌ی انحنای بیشینه منحنی به‌عنوان تنش پیش-تراکمی در نظر گرفته می‌شود.

امروزه از روش‌های آزمایشگاهی متعددی از جمله آزمایش‌های

- 1- Rigid compression line: RCL
- 2- Virgin compression line: VCL
- 3- Pre-compaction stress: σ_{pc}

4- Plate Sinkage Test: PST

5- Confined Compression Test: CCT

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 (%)
لوم شنی	۷۵	۱۵	۱۰	۲۶/۸	۱۴/۵	۳/۲	۱۹/۰	۵۴	۰/۳۵

۱- همه اعداد به صورت درصد وزنی بیان شده‌اند.

روش تهیه نمونه‌های خاک

در ابتدا خاک سطحی هوا-خشک بدون کوبیدن از الک ۲ میلی-متری عبور داده شد. با توجه به این که آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های بدون تر و خشک شدن و نمونه‌هایی که تحت فرآیند تر و خشک شدن قرار گرفته بود، 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 جرم مخصوص ظاهری خشک معادل با ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و نیز دو سطح رطوبتی ۰/۹ حدخمیری (PL) و ۱/۱PL، مقدار خاک و آب مورد نیاز محاسبه گردید. سپس خاک درون سینی فلزی ریخته شد و آب به کمک آب‌فشان 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 پارچه‌ی 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 لایه‌لایه، (سه لایه ۲/۶۶ سانتی‌متر) در ظرف ریخته شد تا فشردگی یکنواختی با عمق نمونه به دست آید. در هر لایه با ضربه‌های آهسته‌ی چکش چوبی خاک فشرده گردید تا جرم مخصوص ظاهری مرطوب خاک به مقدار مورد نظر رسید. پیش از اضافه کردن لایه‌ی جدید شیارهایی در سطح لایه قبلی ایجاد شد.

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 جرم مخصوص 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. با وارد کردن ضربات آهسته به بدنه ظرف، ارتفاع به ۸ سانتی‌متر رسید تا چگالی مورد نظر ایجاد گردد. سپس سطح خاک صاف گردید و با یک روکش پلاستیکی که سوراخ‌هایی روی آن قرار داشت پوشانده شد. با توجه به این که مقدار EC آب مورد استفاده برای آبیاری نقش مهمی در میزان سخت شدگی خاک دارد و همچنین این که آب مورد استفاده برای آبیاری مزارع نیشکر دارای EC متغیر و بین ۱-۲/۵ dS/m است (مذاکره شفاهی با کارشناس آزمایشگاه خاک طرح توسعه نیشکر اهواز)، آبی با EC برابر با ۱/۶۵ dS/m تهیه گردید. مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن خاک به

رطوبت ظرفیت زراعی محاسبه گردید و روی سطح پلاستیک ریخته شد، پس از فرو رفتن کامل آب به درون خاک، روکش پلاستیکی برداشته شد 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 (مقدار رطوبت خاک در موقع آبیاری) رسید. در این هنگام رطوبت نمونه‌ها به منظور یکنواخت مرطوب شدن آن‌ها و نیز کم بودن مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن نمونه‌ها به رطوبت ظرفیت زراعی 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 محتوی 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 پارچه‌ی مرطوب و روکش پلاستیکی پوشانده شد و به مدت ۲۴ ساعت باقی ماندند تا رطوبت به طور یکنواخت در آن‌ها توزیع گردد. پس از تهیه‌ی نمونه، آزمایش‌ها به دو صورت ادامه یافت. در برخی از آزمایش‌ها پس از تهیه‌ی نمونه، سطح خاک بارگذاری شد و در برخی دیگر بدون اعمال بار متراکم‌کننده مراحل بعدی انجام گرفت. در مورد نمونه‌های -بارگذاری شده به این ترتیب عمل شد که روی سطح خاک صفحه‌ی فلزی سوراخ‌دار به قطر ۲۵ سانتی‌متر قرار داده شد و توسط دستگاه CBR بارگذاری با سرعت ۱ میلی‌متر بر دقیقه بر نمونه وارد شد. پس از رسیدن بار به مقدار مورد نظر (۱۰۰ یا ۲۰۰ کیلوپاسکال)، نمونه به مدت ۳۰ دقیقه تحت بار نگه داشته شد. سپس در مرکز همه‌ی نمونه‌ها، آزمایش نشست صفحه‌ای انجام شد. برای انجام این آزمایش از یک صفحه دایره‌ای فلزی و صلب به قطر و ضخامت به ترتیب ۵۰ و ۵ میلی‌متر استفاده گردید. این صفحه در مرکز نمونه قرار گرفت و یک استوانه‌ی فلزی صلب به منظور جلوگیری از ایجاد اصطکاک بین سیلندر دستگاه CBR و خاک، بر روی آن گذارده شد، سپس بار توسط سیلندر این دستگاه و با سرعت ۱ میلی‌متر در دقیقه و تا نشست ۱۰ میلی‌متر انجام گرفت. پس از آن منحنی لگاریتم تنش-نشست برای تعیین تنش پیش-تراکمی، در دامنه نشست ۱۰-۰ میلی‌متر رسم گردید. استوانه‌ی در نظر گرفته برای آزمایش فشردگی محصور دارای قطر و ارتفاع به ترتیب ۵۴ و ۴۹ میلی‌متر بود. به منظور کاهش

اثر تغییر شکل ویسکوز (هنگامی که خاک با رطوبت زیاد، در نقاط تماس خاکدانه‌ها تحت تنش‌های برشی قرار می‌گیرد مانند یک مایع با ویسکوزیته بالا جریان می‌یابد) در پاسخ به کشش داخلی حلال‌های آبی بین خاکدانه‌ها، موجب ظهور حالت فوق فشردگی در خاک شده است (۵).

نمونه‌هایی از منحنی لگاریتم تنش-کرنش در آزمایش فشردگی محصور در شکل ۳ نشان داده شده است. رفتار این خاک برای چهار حالت نشان داده شده، شبیه خاک با تحکیم عادی است و رفتار خاک عمدتاً در راستای خط فشردگی بکر می‌باشد. در این نمونه‌ها تغییر انحنای ناحیه بحرانی بسیار تدریجی است.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) داده‌های حاصل از آزمایش نشست صفحه‌ای نشان می‌دهد که اثر تر و خشک شدن، رطوبت و مقدار بار متراکم‌کننده بر برآورد تنش پیش-تراکمی برآورد شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. تمام اثرهای متقابل دوگانه بر تنش پیش-تراکمی برآورد شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. در این آزمایش برای دو سطح بار متراکم‌کننده ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال، با افزایش مقدار رطوبت از ۰/۹PL به ۱/۱PL، تنش پیش-تراکمی خاک کاهش یافت (شکل ۴ الف)). این کاهش ناشی از تفاوت تنش انتقال یافته به ذرات خاک در دو مقدار رطوبت است. الکساندر و همکاران (۲)، این هاف و همکاران (۱۱) و مصدقی و همکاران (۱۷) نیز رابطه‌ای منفی بین تنش پیش-تراکمی و رطوبت اولیه خاک گزارش نمودند. تر و خشک شدن خاک در هر سه سطح بار متراکم‌کننده سبب افزایش معنی‌دار تنش پیش-تراکمی گردید (شکل ۴ ب)). زیرا هنگامی که خاک تحت چرخه‌های تر و خشک قرار می‌گیرند خاکدانه‌ها در محل تماسشان به هم می‌پیوندند (۵) و بنابراین مقاومت فشاری بیشتری از خود نشان می‌دهند (۱۸). در هر دو شکل مقادیر تنش پیش-تراکمی برای تمام سطوح بار متراکم‌کننده بیش تخمینی داشته است. تنش پیش-تراکمی براساس تنش موثر^۳ تعریف می‌شود، ولی در این پژوهش به‌علت این‌که تغییرات فشار آب منفذی در حین آزمایش، اندازه‌گیری نشد، تنش پیش-تراکمی بر حسب تنش کل^۴ بیان شد. بنابراین، مقادیر محاسبه شده را می‌توان تنش پیش-تراکمی ظاهری^۵ نامید. این بیش تخمینی احتمالاً به‌علت سریع بودن نرخ بارگذاری در مقایسه با روش ادومتر و ظهور فشار مثبت آب منفذی در مرحله بارگذاری در اثر کاهش اندازه منافذ خاک می‌باشد. بیش تخمینی برای بار ۲۰۰ کیلوپاسکال بیشتر از ۱۰۰ کیلوپاسکال بود. در بار زیاد، احتمال به اشباع رسیدن نمونه‌های خاک، بیشتر بود. مقادیر تنش پیش-تراکمی در حالت بدون بار می‌تواند به دلیل تشکیل هلال‌های آبی بین ذرات خاک در مدت ۲۴ ساعت، نگه داشتن نمونه‌ها باشد.

اصطکاک بین دیواره استوانه و خاک، پیش از تهیه‌ی نمونه، درون آن با لایه‌ی نازکی از گریس پوشانده شد. پس از تهیه‌ی نمونه یک صفحه‌ی صلب فلزی به قطر ۵۰ میلی‌متر روی سطح آن قرار داده شد و بارگذاری توسط سیلندر CBR روی این صفحه انجام گرفت. زمان خروج آب از انتهای نمونه به‌عنوان پایان آزمایش در نظر گرفته شد (۶). سپس منحنی لگاریتم تنش-کرنش برای بررسی رفتار خاک ترسیم گردید. تنش پیش-تراکمی در آزمایش‌های نشست صفحه‌ای و فشردگی محصور با استفاده از روش کاساگراند تعیین شد.

در این پژوهش تأثیر دو سطح رطوبتی (۰/۹PL و ۱/۱PL)، سه سطح بار متراکم‌کننده (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال) در شرایط با و بدون چرخه‌های تر و خشک شدن، بر پارامترهای تنش پیش-تراکمی خاک با آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی گردید. در صورت معنی‌دار بودن اثر هر عامل و برهم کنش آن‌ها، میانگین آن‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار^۱ در سطح احتمال ۵ درصد با هم مقایسه شدند. از نرم‌افزارهای SAS و Excel برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. به منظور مقایسه‌ی مقادیر برآورد شده با آزمایش‌های نشست صفحه‌ای و فشردگی محصور با بار متراکم‌کننده اعمالی به نمونه‌ها، از آزمون t جفت شده استفاده گردید.

نتایج و بحث

شکل ۲ نمونه‌هایی از منحنی لگاریتم تنش-نشست حاصل از آزمایش نشست صفحه‌ای را نشان می‌دهد. نمودار لگاریتم تنش-نشست در این آزمایش برای چهار حالت نشان داده شده، از منحنی دو جزئی خطی^۲ تابعیت می‌کند. این نوع رفتار برای نمونه‌های دست نخورده و تحت آزمایش تک محوری در پژوهش‌های تانگ و همکاران (۲۰) نیز گزارش شده است. در چهار حالت، ناحیه‌ی بحرانی گذار از تغییر شکل الاستیک به ناحیه خمیری (خط فشردگی بکر) مشخص است. این بیان می‌کند که این خاک بدون بارگذاری خارجی، یک مقاومت اولیه از خود نشان می‌دهد. مقدار این مقاومت اولیه (تنش پیش-تراکمی) در خاک‌هایی که تحت چرخه‌های تر و خشک شدن قرار گرفته بیشتر از خاک‌های بدون تر و خشک شده می‌باشد. در نمونه‌های بازسازی شده و بدون اعمال بار، مقاومت فشاری (تنش پیش-تراکمی) عمدتاً به‌علت تشکیل پیوندهای آبی (حلال‌های آبی) بین ذرات خاک، در مدت ۲۴ ساعت نگه داشتن نمونه‌ها می‌باشد. ولی در خاک‌هایی که تحت فرآیند تر و خشک شدن قرار گرفته بودند، بازآرایش ذرات، در فرآیند تر و خشک شدن و احتمالاً رسوب ذرات رس، بین ذرات درشت‌تر و صاف شدن رویه‌های تماس خاکدانه‌ها، در

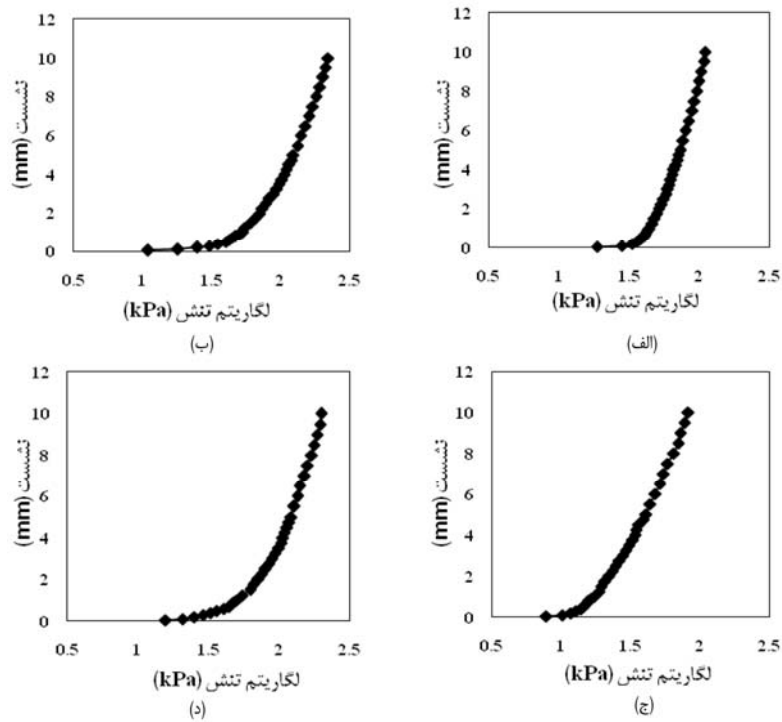
3- Effective stress

4- Total stress

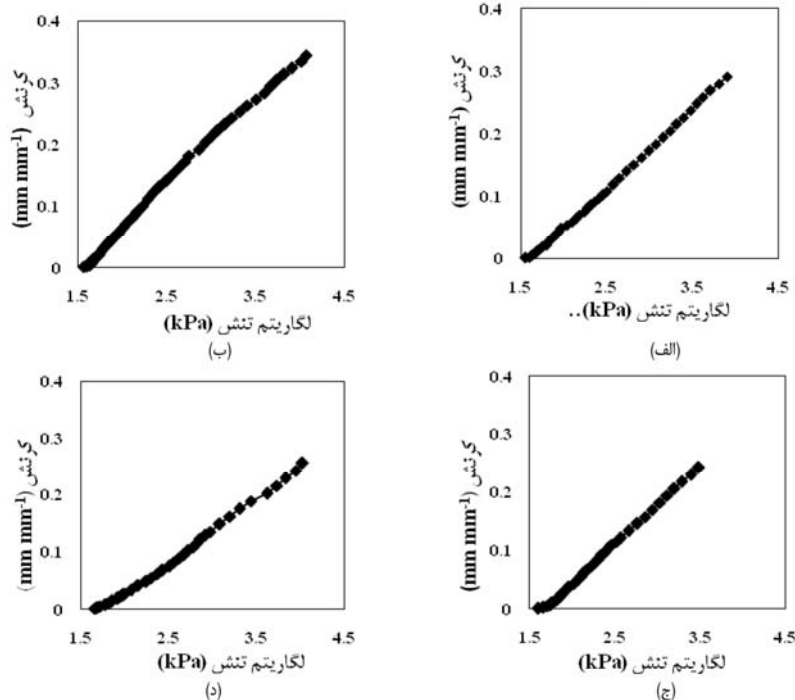
5- Apparent pre-compaction stress

1- LSD

2- Bi-linear curve



شکل ۲- نمونه‌هایی از نمودار لگاریتم تنش-نشست خاک لوم شنی در آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) بدون بار متراکم‌کننده، (الف) رطوبت $+9\text{PPL}$ بدون تر و خشک شدن، (ب) رطوبت $+9\text{PPL}$ با تر و خشک شدن، (ج) رطوبت $1/1\text{PPL}$ بدون تر و خشک شدن و (د) رطوبت $1/1\text{PPL}$ با تر و خشک شدن.

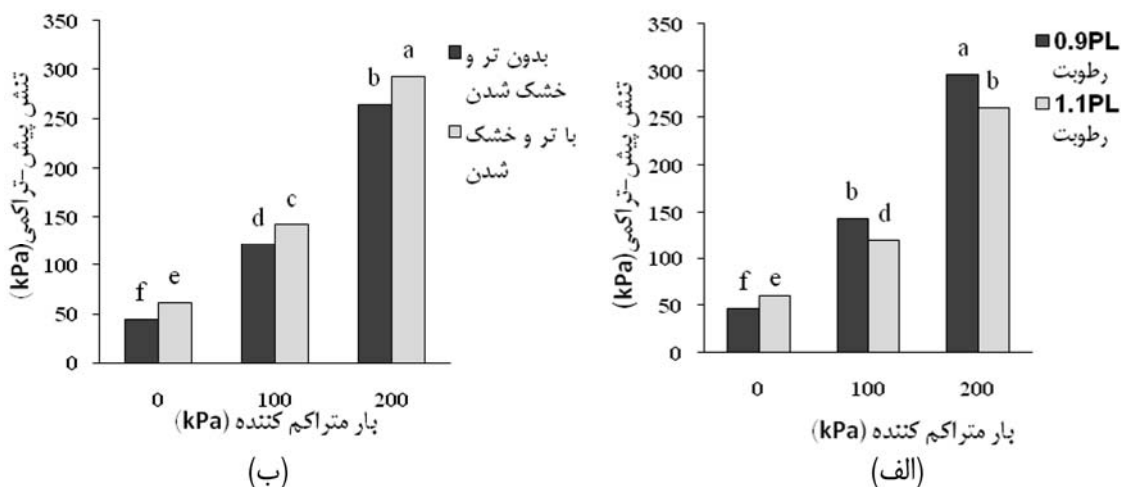


شکل ۳- نمونه‌هایی از نمودار لگاریتم تنش-کرنش خاک لوم شنی در آزمایش فشردگی محصور (CCT)، بدون بار متراکم‌کننده، (الف) رطوبت $+9\text{PPL}$ بدون تر و خشک شدن، (ب) رطوبت $+9\text{PPL}$ با تر و خشک شدن، (ج) رطوبت $1/1\text{PPL}$ بدون تر و خشک شدن و (د) رطوبت $1/1\text{PPL}$ با تر و خشک شدن.

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های CCT و PST

تنش پیش-تراکمی		درجه آزادی	منابع تغییرات
فشردگی محصور	نشست صفحه‌ای		
۱,۹۸۴/۰**	۳۰,۵۸۶/۸**	۱	تر و خشک شدن (A)
۲۶۶۴۰/۰**	۶۵۷۴/۳**	۱	رطوبت (B)
۱۴۵۳۵۲/۷**	۳۰,۸۸۲۶**	۲	بار متراکم‌کننده (C)
۱۴۱۳/۳**	۶۵۷۴**	۱	A×B
۱۸۲۷/۳**	۵۳۳۴/۴**	۲	A×C
۵۹۲۱/۵**	۱۲۰۷/۵**	۲	B×C
۶۸۸۲/۹**	۳۳۸۱**	۲	A×B×C

**- بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.



شکل ۴- (الف) اثر متقابل رطوبت و بار متراکم‌کننده و (ب) اثر متقابل تر و خشک شدن و بار متراکم‌کننده بر تنش پیش-تراکمی در آزمایش PST. میانگین‌های دارای حروف مشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۳- اثر متقابل رطوبت، بار متراکم‌کننده و تر و خشک شدن بر تنش پیش-تراکمی (kPa) در آزمایش PST

رطوبت				پیش‌بار (kPa)
۱/۱PL		۰/۹PL		
با تر و خشک شدن	بدون تر و خشک شدن	با تر و خشک شدن	بدون تر و خشک شدن	
۷۳/۱ ^h ±۴/۶	۴۷/۹ ^{ijk} ±۰/۹	۵۱/۶ ^{hij} ±۵/۵	۴۱/۹ ^{jk} ±۲/۵*	۰
۱۱۶/۰ ^{fg} ±۲/۶	۱۲۵/۶ ^f ±۱/۵	۱۶۹/۱ ^e ±۵/۸	۱۱۹/۹ ^f ±۷/۹	۱۰۰
۲۵۸/۷ ^c ±۲/۳	۲۶۴/۱ ^c ±۱۷/۵	۳۳۹/۸ ^a ±۱۱/۲	۲۶۴/۶ ^c ±۱/۹	۲۰۰

میانگین‌های دارای حروف مشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

*ارقام پس از ± انحراف استاندارد می‌باشد.

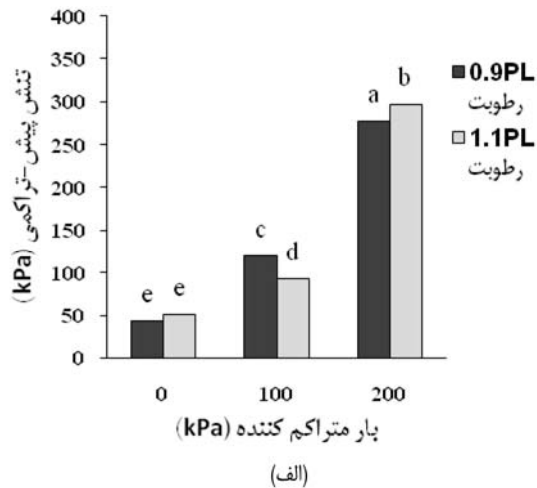
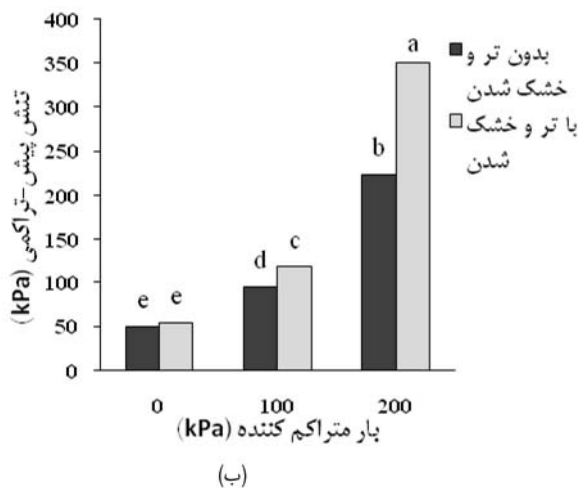
PL: حد خمیری خاک.

خشک شدن، در هر دو سطح بار متراکم‌کننده (۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال)، اختلاف معنی‌داری بین بار وارد شده به نمونه و مقادیر برآورد شده از آزمایش PST وجود نداشت. پس می‌توان برای خاک-های خاک‌ورزی شده، به‌منظور تعیین پارامترهای تراکمی آن از این روش، به‌عنوان یک روش سریع و قابل اجرا در آزمایشگاه و مزرعه

فرآیند تر و خشک شدن خاک در حالت مرطوب (۰/۹PL)، موجب افزایش تنش پیش-تراکمی ظاهری شد ولی در حالت خیس (۱/۱PL) و بار متراکم‌کننده ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال مقدار این پارامتر کاهش یافت که البته این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج آزمون t جفت شده نشان داد که برای حالت بدون تر و

تماسشان در اثر چرخه‌های تر و خشک شدن و رسوب ذرات رس، بین ذرات درشت‌تر (شن و سیلت) می‌باشد (۵) (شکل ۵ ب)). تنش پیش-تراکمی تعیین شده با آزمایش فشردگی محصور در حالت مرطوب (۰/۹PL) برای خاک تر و خشک شده افزایش معنی-داری یافت ولی در حالت خیس (۱/۱PL) این فرآیند موجب کاهش تنش پیش-تراکمی در دو سطح بار ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال گردید و در حالت بدون بار این پارامتر افزایش یافت (جدول ۴). نتایج آزمون t جفت شده برای این خاک نشان داد که در هر دو حالت با و بدون تر و خشک شدن، برای بار متراکم‌کننده ۱۰۰ کیلوپاسکال، اختلاف معنی‌داری بین بار وارده و مقادیر برآورد شده از آزمایش فشردگی محصور وجود نداشت، اما برای بار ۲۰۰ کیلوپاسکال این اختلاف معنی‌دار بود، بنابراین در بارهای متراکم‌کننده کم، می‌توان از این روش برای تعیین پارامترهای تراکمی این خاک استفاده نمود.

استفاده نمود. در صورتی که برای خاک تر و خشک شده، مقادیر برآورد شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از بار متراکم‌کننده بود. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) داده‌های حاصل از آزمایش فشردگی محصور نشان می‌دهد که اثر تر و خشک شدن، رطوبت و بار متراکم‌کننده در سطح احتمال ۱ درصد بر تنش پیش-تراکمی برآورد شده معنی‌دار بود. تمام اثرهای متقابل دوگانه نیز بر این پارامتر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. در آزمایش فشردگی محصور در بار متراکم‌کننده ۱۰۰ کیلوپاسکال، با افزایش مقدار رطوبت از ۰/۹PL به ۱/۱PL، تنش پیش-تراکمی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی در دو سطح بار صفر و ۲۰۰ کیلوپاسکال، با افزایش رطوبت تنش پیش-تراکمی افزایش یافت. البته این افزایش فقط در سطح بار ۲۰۰ کیلوپاسکال معنی‌دار بود (شکل ۵ الف)). تر و خشک شدن خاک نسبت به حالت بدون تر و خشک شدن در تمام سطوح بار متراکم-کننده سبب افزایش تنش پیش-تراکمی گردید که این افزایش در بار ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال، معنی‌دار بود و در حالت بدون بار متراکم-کننده معنی‌دار نبود. دلیل آن به‌هم پیوستن خاکدانه‌ها در محل



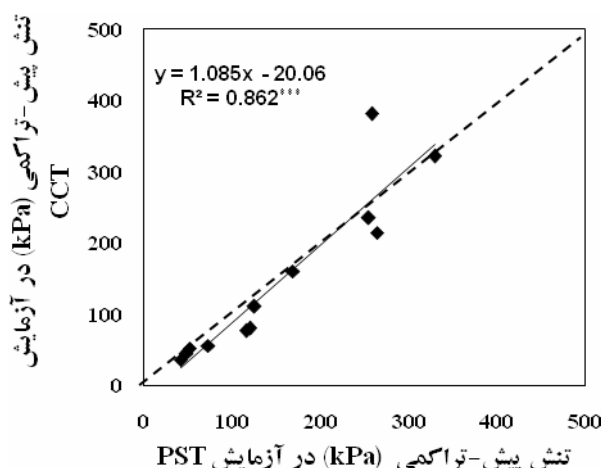
شکل ۵- الف) اثر متقابل رطوبت و بار متراکم‌کننده و ب) اثر متقابل تر و خشک شدن و بار متراکم‌کننده بر تنش پیش-تراکمی در آزمایش CCT. میانگین‌های دارای حروف مشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۴- اثر متقابل رطوبت، بار متراکم‌کننده و تر و خشک شدن بر تنش پیش-تراکمی (kPa) در آزمایش CCT

رطوبت				پیش بار (kPa)
۱/۱PL		۰/۹PL		
بدون تر و خشک شدن	با تر و خشک شدن	بدون تر و خشک شدن	با تر و خشک شدن	
۹۷/۶ ^{hi} ±۲/۶	۴۶/۱ ^a ±۱/۸	۵۸/۳ ^h ±۱/۳	۳۶/۶ ^{hi} ±۰/۰ ⁺	۰
۱۳۹/۵ ^g ±۱/۹	۱۳۱/۵ ^f ±۳/۹	۱۷۳/۰ ^c ±۶/۱	۸۰/۴ ^e ±۱/۳	۱۰۰
۲۶۷/۷ ^b ±۷/۳	۲۹۰/۲ ^d ±۱/۶	۳۴۶/۰ ^a ±۸/۹	۲۴۸/۰ ^b ±۲/۹	۲۰۰

میانگین‌های دارای حروف مشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند. ارقام پس از ± انحراف استاندارد می‌باشد.

PL: حد خمیری خاک.



شکل ۶- رابطه‌ی بین میانگین مقادیر تنش پیش-تراکمی به دست آمده از روش کاساگراند در آزمایش‌های نشست صفحه‌ای و فشردگی محصور

سطوح بار متراکم کننده سبب افزایش تنش پیش-تراکمی گردید. برای حالت بدون تر و خشک شدن در هر دو سطح بار متراکم کننده‌ی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال، اختلاف معنی‌داری بین بار وارد شده به نمونه و مقادیر به دست آمده از آزمایش‌های نشست صفحه‌ای وجود نداشت، پس می‌توان برای خاک‌های خاک‌ورزی شده از این روش به‌عنوان روشی سریع برای تعیین ظرفیت باربری خاک‌های درشت بافت استفاده نمود. اما در آزمایش فشردگی محصور، برای هر دو حالت با و بدون تر و خشک شدن فقط در بار متراکم کننده ۱۰۰ کیلوپاسکال اختلاف معنی‌داری بین بار وارد شده به نمونه و مقادیر برآورد شده وجود نداشت. در مجموع آزمایش نشست صفحه‌ای روش مناسب‌تری برای تعیین پارامترهای تراکمی خاک می‌باشد که می‌توان از آن به - عنوان یک روش سریع و قابل اجرا در آزمایشگاه و مزرعه استفاده نمود.

همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، یک رابطه‌ی خطی و معنی‌داری بین مقادیر تنش پیش-تراکمی به دست آمده از روش‌های نشست صفحه‌ای و فشردگی محصور وجود دارد. این نتایج با نتایج طهماسبی و همکاران (۹) همخوانی دارد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود خط برازش شده بر داده‌ها به خط ۱:۱ نزدیک است و این نشان می‌دهد که هر دو روش آزمایشی برای ارزیابی فشردگی پذیری این خاک مناسب می‌باشد.

نتیجه گیری

در این پژوهش، تأثیر چرخه‌های تر و خشک شدن یک خاک درشت بافت، بر تنش پیش-تراکمی آن با استفاده از آزمایش‌های نشست صفحه‌ای و فشردگی محصور مورد بررسی قرار گرفت. تر و خشک شدن خاک نسبت به حالت بدون تر و خشک شدن در تمام

منابع

- Alexandrou A., and Earl R. 1995. In situ determination of the pre-compaction stress of a soil, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 61: 67-72.
- Alexandrou A., and Eral R. 1998. Development of a techniques assessment the behavior of soil under load, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71: 75-80.
- Casagrande A. 1936. The determination of preconsolidation load and its practical significance. In: *Proceeding of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. III, Cambridge. June 22-26, 60-64.
- Cavaliere K.M.V., Arvidsson J., Silva A.P., and Keller T. 2008. Determination of precompression stress from uniaxial compression tests, *Soil & Tillage Research*, 98:17-26.
- Dani or T., and Ghezzehei A. 2002. Modeling post-tillage soil structural dynamics: a review, *Soil & Tillage Research*, 64: 41-59.
- Dawidowski J.B., and Koolen A.J. 1994. Computerized determination of the preconsolidation stress in compaction testing of field core samples, *Soil & Tillage Research*, 31: 277-282.
- Gregory A.S., Whalley W.R., Watts C.W., Bird N.R.A., Hallett P.D., and Whitmore A.P. 2006. Calculation of the compression index and precompression stress from soil compression test data, *Soil & Tillage Research*, 89:45-57.
- Hatibu N., and Hettiaratchi D.R.P. 1993. The transition from ductile flow to brittle failure in unsaturated soils, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 53: 319-328.

- 9- Hemmat A., Tahmasebi M., Vafaeian M., and Mosaddeghi M.R. 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.
- 10- Hussein J., and Adey M.A. 1995. Changes in microstructure, voids and b-fabric of surface samples of a Vertisol caused by wet and dry cycles, *Geoderma*, 85 : 63–82.
- 11- Imhoff S., Saliva A.P., and Fallow D. 2004. Susceptibility to compaction, load support capacity and soil compressibility of Hapludox, *Journal of Soil Science of American Society*, 68: 17–24.
- 12- Keller T., and Arvidsson J. 2007. Compressive properties of some Swedish and Danish structured agricultural soils measured in uniaxial compression tests, *European Journal of Soil Science*, 58: 1373–1381.
- 13- Koolen A.J. 1994. Mechanics of soil compaction. In: Soane, B.D., and van Ouwerkerk, C.(Eds.). *Soil Compaction in Crop Production*, Elsevier, Amsterdam, pp. 23-44.
- 14- Larson W.E., Gupta S.C., and Usech R.A. 1980. Compression of agricultural soils from eight soil orders, *Journal of Soil Science of American Society*, 44: 450-457.
- 15- McBride R.A. 1993. Soil consistency limits .In: *Soil Sampling and Methods of Analysis (CarterMRed)*,519-527.LewisPublications/CRCPress,BocaRaton,FL.
- 16- Mosaddeghi M.R., Hajabbasi M.A., Hemmat A., and Alexandrou A. 2004. Determination of pre-compaction stress of in situ tractor pre-compacted soil by plate sinkage and confined compression tests. *Proceedings of 2004 CIGR International Conference, Beijing, China, on CD-ROM. October 11-14.*
- 17- Mosaddeghi M.R., Hemmat A., Hajabbasi M.A., Vafaeian M., and Alexandrou A. 2006. Plate sinkage versus confined compression tests for In situ soil compressibility studies, *Biosystems Engineering*, 93: 325–334.
- 18- 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
- 19- Sheldrick B.H., 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.
- 20- Tang A.M., Cui Y.J., Eslami J., and Défossez P. 2009. Analysing the form of the confined uniaxial compression curve of various soils, *Geoderma*, 148: 282–290.
- 21- Walkley A., and Black I.A. 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.

Effect of Wetting and Drying Cycles on Compaction Curve and Evaluation Methods for Estimating Compactibility of a Coarse Textured Soil

M. Salehian Dastjerdi¹- A. Hemmat^{2*}

Received:24-12-2012

Accepted:27-02-2013

Abstract

Wetting and drying induce stresses in soil which changes the physical structure of the soil. For this reason, the effect of this process on evaluating the methods for estimating the threshold of compactibility (load-bearing capacity, pre-compaction stress) of a coarse textured soil (sandy loam) collected from the fields of the Sugarcane and By-product Development Co. in Ahvaz province was studied. In this research, the plate sinkage test (PST) and confined compression test (CCT) methods were evaluated. 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 (0, 100 or 200 kPa) and then the centre section of the preloaded soil samples was firstly submitted to PST. Then immediately one cylindrical sample was cored for CCT. The results showed that for the soil samples without wetting and drying process, there was no significant difference between the applied load and the estimated values using PST method. However, for the soil samples under wetting and drying process, the obtained values were significantly greater than the applied loads. Therefore, for tilled soil, PST can be used as a quick method to determine the compression parameters of the soil in laboratory or in the field.

Keywords: Flood irrigation, Wetting and drying cycles, Pre-compaction stress

1,2-Former MSc Student and Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

(* -Corresponding Author Email: ahemmat@cc.iut.ac.ir)