ارزیابی روش‌های نشست صفحه‌ای و فشردگی محصور برای تخمین تنش در آستانه تراکم خاک لوم‌رسی‌سیلتی

زهرا نعمتی[۱] و عباس همت[۲*]

۱و۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان،
کد پستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

* ایمیل نویسنده مسئول: ahemmat@cc.iut.ac.ir

چکیده

برای تعیین ظرفیت باربری خاک در مهندسی عمران از روش ادومتر استفاده می‌شود. برای خاک‌های کشاورزی نیز روش ادومتر مورداستفاده قرار می‌گیرد. ولی این روش، یک روش آهسته و زمان‌بر است. از این‌رو اخیراً، آزمایش‌های فشردگی محصور (CCT) و نشست صفحه‌ای (PST) برای ارزیابی رفتار فشاری خاک‌های کشاورزی پیشنهاد شده است. ظرفیت باربری خاک‌های کشاورزی را بنام تنش پیش-تراکمی (σ_{pc}) یا تنش در آستانه تراکم خاک می‌نامند. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی آزمایش‌های PST و CCT برای تعیین تنش در آستانه تراکم خاک لوم رسی سیلتی تیمار شده با بقایا (باگاس و فیلترکیک) بود. نمونه‌های خاک با سطوح متفاوت بقایا (۰، ۱ و ۲ درصد) در دو سطح رطوبت (۰/۹PL و ۱/۱PL؛ PL: حد خمیری) و تحت فرآیندهای با و بدون تر و خشک شدن تهیه شد و تحت روش بارگذاری سیکلی پلکانی (دو سیکل بارگذاری و باربرداری ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال) قرار گرفتند. با استفاده از داده‌های بارگذاری هر سیکل، منحنی‌های فشردگی خاک رسم و تنش پیش-تراکمی با روش کاساگراند تعیین گردید. در آزمایش PST، مقایسه مقادیر σ_{pc} به‌دست آمده در سیکل دوم با حداکثر تنش اعمال شده (۲۰۰ کیلوپاسکال) در سیکل اول نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین آنها وجود نداشت؛ در صورتی‌که در آزمایش CCT، مقادیر σ_{pc} بیش‌تخمینی قابل ملاحظه‌ای داشت. بنابراین، آزمایش PST و روش کاساگراند را برای تخمین ظرفیت باربری خاک‌های آزمایش شده می‌توان پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: بارگذاری سیکلی، تنش پیش-تراکمی، روش کاساگراند، ظرفیت باربری خاک

مقدمه

تراکم خاک معمولاً به عنوان یک عامل منفی برای رشد محصول در نظر گرفته می‌شود (Kuncoro *et al.*, 2014). به منظور اجتناب از تراکم خاک یک معیار مناسب، برای بیان ظرفیت تحمل بار که مستقیماً به ویژگی‌های مکانیکی خاک مربوط می‌شود نیاز می‌باشد (Imhoff *et al.*, 2014). تنش پیش-تراکمی (σ_{pc}) چنین معیاری را فراهم می‌کند (Schäffer *et al.*, 2010). تنش پیش-تراکمی از منحنی‌های تنش-کرنش خاک بر حسب نسبت پوکی و لگاریتم تنش اعمالی قائم استخراج می‌شود و عموماً

با آزمون فشردگی محوری محصور (روش ادومتر) بدست می‌آید. این منحنی‌ها شامل دو بخش مجزاهستند: در بخش اول تغییر شکل کم، در نتیجه اثر پسماند مؤثر اندک و برگشت‌پذیر (الاستیک)؛ بخش دوم تغییر شکل بیشتر و غیر قابل برگشت (پلاستیک) می‌باشد. قسمت اول به خط برگشت‌پذیری کشسانی اشاره دارد و خط دوم به‌عنوان خط فشردگی بکر (VCL) شناخته شده است. نقطه گذار بین دو بخش نیز به‌عنوان تنش پیش-تراکمی تعریف می‌شود (Schäffer *et al.*, 2010). با توجه به این که تنش پیش-تراکمی حد فاصل رفتار برگشت‌پذیر به رفتار برگشت‌ناپذیر (ماندگار) خاک می‌باشد، زمانی‌که خاک در معرض تنش‌های کمتر از تنش پیش-تراکمی قرار می‌گیرد در طول منحنی برگشت‌پذیری تغییر شکل برگشت‌پذیر دارد. اما اگر تنش‌ها بیشتر از تنش پیش-تراکمی باشد، تغییر شکل غیر قابل بازگشت (پلاستیک) می‌باشد (Lebert *et al.*, 1989).

روش‌های متعددی برای تعیین پارامترهای تراکمی خاک وجود دارد. سه نوع از آزمایش‌های متداول برای خاک‌های کشاورزی عبارتند از: آزمایش فشردگی تک محوری (ادومتر)، آزمایش فشردگی محصور (CCT) و آزمایش نشست صفحه‌ای (PST). روش استاندارد تعیین تنش پیش–تراکمی (σ_{pc}) آزمایش ادومتر یا تحکیم سنج است. در این آزمایش بارگذاری به صورت مرحله‌ای و با فواصل زمانی طولانی صورت می‌گیرد به طوریکه قبل از مرحله بارگذاری بعدی، تغییرات حجم نمونه‌ی مورد آزمایش تحت یک بار مشخص با زمان اندک باشد. پس از گذشت زمان مناسب (معمولاً ۳۰ دقیقه و یا بیشتر)، بار یا تنش قائم به مقدار مشخصی افزایش می‌یابد و در نهایت در تنش‌های حدود ۳ یا ۴ برابر σ_{pc}، آزمایش متوقف می‌شود (Keller and Arvidsson, 2007).

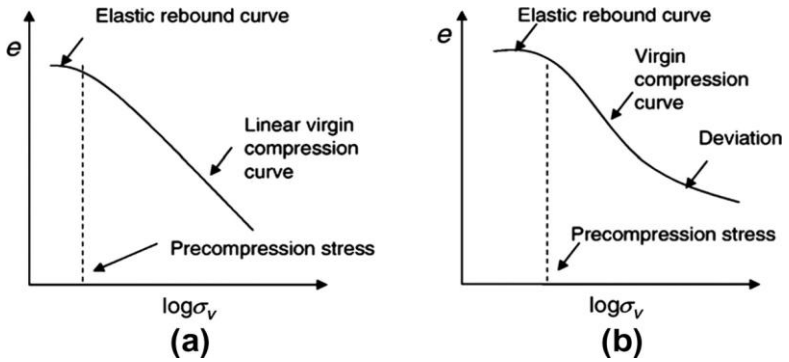
در آزمایش فشردگی محصور خاک در درون یک سیلندر صلب توسط یک پیستون متحرک به سمت پائین متراکم می‌شود. تنش روی پیستون و تغییر حجم خاک بطور پیوسته ثبت می‌شود. نسبت قطر به ارتفاع نمونه در این آزمایش بایستی زیاد باشد، زیرا نسبت زیاد قطر به ارتفاع موجب کاهش اصطکاک بین خاک نمونه با جداره سیلندر، جلوگیری از کاهش تنش عمودی در قسمت پائین نمونه و همچنین به حداقل رساندن مسیر خروج آب برای سرعت بخشیدن به فرآیند تراکم خاک می‌شود (Koolen, 1974). در این آزمایش، فرآیند تراکم وقتی متوقف می‌شود که بیشتر هوا خارج شده و خاک نزدیک به اشباع شود. برای شبیه‌سازی رفتار خاک زیر چرخ، آزمایش باید سریع انجام شود به همین دلیل به آن آزمایش فشردگی محصور سریع[1] می‌گویند. نتایج آزمایش CCT برای خاک‌هایی با محتوای رطوبتی زیاد و مقدار ماده آلی کم به دلیل تیزی کم ناحیه بحرانی منحنی تنش-کرنش خوب نیست (Mosaddeghi *et al.*, 2007).

یکی دیگر از راه‌های بررسی تراکم‌پذیری و اندازه‌گیری ظرفیت باربری خاک، آزمایش صفحه بارگذاری و یا نشست صفحه‌ای (PST)

[1] Quick Confined Compression Test

می‌باشد. با استفاده از این آزمایش امکان تخمین تنش پیش-تراکمی در محل وجود دارد (Alexandrou and Earl, 1995). در این آزمایش بر یک صفحه روی سطح خاک، بارگذاری قائم صورت گرفته و نشست عمودی اندازه‌گیری شده و منحنی بار-نشست ترسیم می‌گردد، که رفتار خاک را در برابر تنش نشان می‌دهد. برخی محققین از این آزمایش جهت تعیین تنش پیش-تراکمی خاک استفاده کردند (Alexandrou and Earl, 1995; Mosaddeghi *et al.*, 2007).

به منظور استخراج تنش پیش-تراکمی (σ_{pc}) از منحنی‌های فشردگی خاک، دو مدل معمولاً با داده‌های آزمایشگاهی برازش می‌شود که عبارتند از: ۱- مدل‌های الاستو پلاستیک (دو جزئی خطی) (شکل ۱a) و ۲- مدل‌های S شکل (شکل ۱b) (Tang *et al.*, 2009). آنها از آزمایش اودمتر برای تعیین پارامترهای مقاومتی خاک استفاده نمودند. آنها نشان دادند که شکل منحنی علاوه بر بافت به شرایط خاک همچون رطوبت و چگالی ظاهری بستگی دارد.از طرف دیگر عقیلی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که شکل منحنی علاوه بر ویژگی‌ها و شرایط خاک، به نوع آزمایش نیز بستگی دارد. نتایج آنها نشان داد که اکثر آزمایش-های PST به‌صورت دوجزیی خطی و شکل منحنی اکثر آزمایش‌های CCT به صورت S شکل می‌باشد (Aghilinategh *et al.*, 2014).



شکل ۱- منحنی‌های تراکم تک محوری محصور: a) نمودار دو جزئی خطی، b) نمودار S-شکل (نسبت پوکی بر حسب لگاریتم تنش عمودی) (Tang et al., 2009).

بنابراین اهدف این پژوهش عبارت بودند از اعتبارسنجی آزمایش‌های PST و CCT برای تعیین تنش پیش-تراکمی با استفاده از بارگذاری سیکلی پلکانی.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های خاک و بقایا

برای انجام این پژوهش، خاک مورد نیاز از مزرعه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد از لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی متری) تهیه گردید. بقایای مورد استفاده نیز از کشت و صنعت امام خمینی اهواز تهیه گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک مورد استفاده، همچنین حدود پایداری اندازه‌گیری شده به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک مورد بررسی[۱]

بافت	رس	سیلت	شن	SL	PI	FI	FC
لوم رسی سیلتی	۳۱/۵	۵۳/۳	۱۵/۲	۷/۶	۲۲/۲	۱۰/۷	۲۴/۳

[۱] PI، SL، FI و FC به ترتیب بیان‌کننده حد انقباض، شاخص خمیری و شاخص تردی و ظرفیت زراعی است که همگی به صورت درصد بیان شده‌اند.

جدول۲ - مقادیر حدود پایداری خاک در سطوح مختلف بقایا

حدود پایداری	خاک بدون بقایا	۱٪ باگاس	۲٪ باگاس	۱٪فیلترکیک	۲٪فیلترکیک
PL	۱۸/۳	۲۲/۷	۲۳/۵	۲۳/۴	۲۴/۸
LL	۲۹/۸	۳۳/۲	۳۵/۰	۳۲/۱	۳۳/۵

به ترتیب نشان دهنده حد خمیری و حد روانی خاک می‌باشند. LL و PL.

روش تهیه نمونه‌های خاک

نمونه‌های خاک با شرایط ساختاری متفاوت (بازسازی شده و ساختمان دار)، با و بدون بقایا و سطوح مختلف رطوبتی تهیه، تا روش‌های پیشنهادی PST و CCT برای گستره زیادی از شرایط به آزمون گذاشته شود. بدین منظور، نمونه‌های خاک تیمار شده با بقایا (باگاس و فیلترکیک) در دو سطح (۱ و ۲ درصد) تحت دو فرآیند با و بدون تر و خشک شدن قرار گرفت. سپس نمونه‌ها در دو حالت مرطوب (۰/۹PL) و تر (۱/۱PL) تحت آزمایش‌های PST و CCT قرار گرفتند. در زیر طرز تهیه نمونه توضیح داده‌می‌شود.

در تیمارهای گروه اول که بدون تر و خشک شدن بودند، خاک درون سینی فلزی ریخته شد و آب به کمک آب افشان به آن اضافه گردید و به مدت ۴۵-۳۰ دقیقه ورز داده شد. سپس روی 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 را به صورت لایه لایه در ظرف آزمایش ریخته و در هر لایه با ضربه‌های آهسته چکش بر سطح آن، خاک فشرده شد تا چگالی ظاهری مرطوب خاک به مقدار مورد نظر (۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) رسید.

در تیمارهای گروه دوم که نمونه‌ها تحت ۵ سیکل تر و خشک شدن قرار گرفتند، مقدار خاک محاسبه و درون ظرف آزمایش ریخته شد. خاک به صورت لایه لایه درون ظرف ریخته و چگالی مورد نظر (چگالی ظاهری خشک ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) ایجاد گردید. سپس با یک روکش پلاستیکی که روی آن سوراخ‌هایی قرار داشت پوشانده شد. مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن خاک به رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه (FC) محاسبه گردید و روی پلاستیک ریخته شد، پس از فرو رفتن کامل آب به درون خاک روکش پلاستیکی برداشته، و سپس خاک همراه ظرف وزن شد و به درون آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین دمای فصل رشد نیشکر) منتقل گردید. پس از گذشت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها مرتباً وزن شدند تا زمانیکه رطوبت آن به مقدار ۰/۷FC رسید، در این موقع رطوبت نمونه‌ها به منظور مرطوب شدن یکنواخت 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 آب‌افشان به نمونه‌ها اضافه گردید و ظرف مجدداً داخل آون قرار 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.

روش بارگذاری و شرایط آزمایش

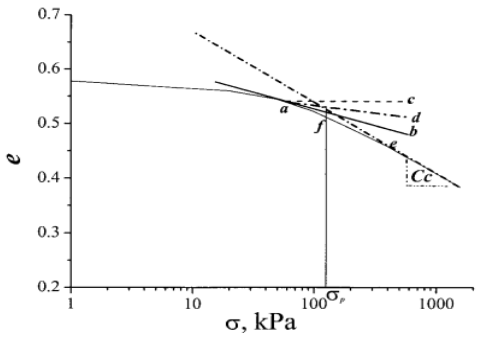
در مرکز همه نمونه‌ها، آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) در دو سیکل متوالی انجام شد. به آزمایشی که در آن حداکثر تنش اعمال شده در سیکل دوم، ۲ برابر سیکل اول است آزمایش سیکلی پلکانی گفته می‌شود. در این آزمایش از یک صفحه فلزی و صلب دایره‌ای به قطر ۵۰ میلی‌متر استفاده گردید. بارگذاری به صورت شبه استاتیکی با سرعت ۱ میلی‌متر در دقیقه روی صفحه صلب توسط دستگاه CBR انجام گرفت. سپس به ازای هر ۰/۱ کیلوگرم بار وارده، از نیروسنج (حلقه گواه) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر مقدار نشست از روی گیج جابجایی قرائت شد تا هنگامی که نیرو به ۲۰۰ کیلوپاسکال رسید، سیکل اول به پایان رسید و بلافاصله باربرداری انجام شد و اعداد گیج نیرو و نشست تا زمانیکه نیرو به صفر رسید قرائت شد.

پس از این مرحله سیکل دوم بارگذاری انجام شد و این بار تا زمانیکه نیرو به ۴۰۰ کیلو پاسکال رسید نشست قرائت گردید. به همین منوال باربرداری انجام گرفت و تا صفر شدن نیرو، نشست یادداشت گردید. سپس منحنی لگاریتم تنش-نشست برای تعیین تنش پیش-تراکمی رسم گردید. پس از تمام شدن آزمایش PST یک نمونه (با قطر ۵۳ و ارتفاع ۴۹ میلی‌متر) برای آزمایش نشست صفحه‌ای (CCT) از خاک اطراف محل آزمایش PST تهیه گردید.

در آزمایش CCT به منظور کمینه کردن اصطکاک بین دیواره ظرف و خاک پیش از تهیه نمونه، درون استوانه نمونه‌برداری روغن‌کاری شد. سپس یک صفحه صلب فلزی با قطر ۵۰ میلی‌متر بین سیلندر دستگاه CBR و نمونه خاک تهیه شده پیش از بارگذاری قرار داده شد و اعمال بار توسط سیلندر CBR، با نرخ بارگذاری ۱ میلی‌متر بر دقیقه انجام گرفت. سپس باربرداری صورت

گرفت و تا صفر شدن نیرو، نشست یادداشت شد. پس از این مرحله باز هم بارگذاری تا ۴۰۰ کیلوپاسکال ادامه یافت و باربرداری نیز انجام شد. در برخی نمونه‌ها (بسته به نوع و درصد بقایا) خروج آب از نمونه در سیکل دوم بارگذاری مشاهده شد، اما پایان آزمایش پس از ۴۰۰ کیلوپاسکال ملاک بود. سپس منحنی لگاریتم تنش-کرنش برای تعیین تنش پیش-تراکمی رسم گردید.

متداول‌ترین روش برای تعیین تنش پیش-تراکمی از منحنی لگاریتم تنش-نشست یا لگاریتم تنش-کرنش،روش ترسیمی کاساگراند می‌باشد. با توجه به شکل ۲ چنانچه از نقطه a یعنی نقطه‌ای که انحنای منحنی بیشینه می‌باشد مماسی بر منحنی رسم شده و نیمساز بین این مماس و خط افقی مار بر نقطه a ترسیم گردد. نقطه برخورد این نیمساز با امتداد مستقیم الخط (خط فشردگی بکر) نشان‌دهنده حداکثر فشار مؤثری است که در گذشته بر این خاک وارد آمده است، که آن را فشار پیش-تحکیمی می‌نامند. به فشار پیش-تحکیمی در شرایط خاک‌های غیراشباع تنش پیش-فشردگی یا پیش-تراکمی نیز گفته می‌شود (وفائیان،۱۳۷۶).



شکل ۲- منحنی تنش-نسبت پوکی برای تعیین تنش پیش-تراکمی به روش کاساگراند (وفائیان،۱۳۷۶).

برای ارزیابی مناسب بودن روش‌های PST یا CCT جهت تعیین تنش پیش-تراکمی خاک، از روش اعمال دو سیکل بارگذاری پلکانی استفاده شد. بدین ترتیب که در سیکل اول، حداکثر بار اعمالی به خاک ۲۰۰ kPa بود. پس از باربرداری، در سیکل دوم بارگذاری، حداکثر بار تا ۴۰۰ kPa افزایش داده شد. سپس با استفاده از داده‌های سیکل دوم، تنش پیش-تراکمی تعیین و با استفاده از آزمون t-جفت‌شده با مقدار اسمی (۲۰۰ kPa) مقایسه شد. بنابراین، فرض شد که ظرفیت باربری خاک قبل از بارگذاری دوم، ۲۰۰ kPa بود.

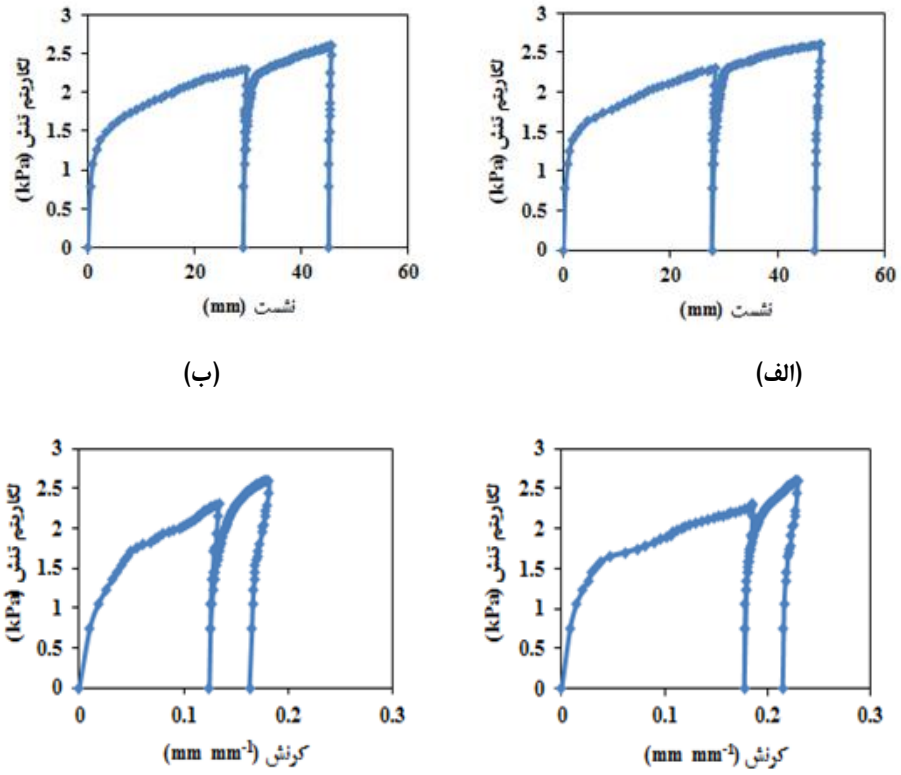
نتایج و بحث

نمودار لگاریتم تنش-نشست و تنش-کرنش برای هر دو سیکل بارگذاری و باربرداری (۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال) برای کلیه تیمارها، از منحنی خطی دو قسمتی (Bi-linear curve) تابعیت می‌کند (شکل ۳). در همه حالت‌ها، ناحیه بحرانی گذار از تغییر شکل الاستیک (ناحیه فوق تحکیم) به ناحیه خمیری (خط فشردگی بکر، VCL: Virgin compression line) تدریجی است و

تنش پیش-تراکمی در ناحیه گذار قرار می‌گیرد. این نشانگر این است که در ناحیه گذار، رفتار خاک در برخی نقاط الاستیک و در برخی نقاط پلاستیک است (Gotteland and Benoti, 2006). بنابراین، تنش پیش-تراکمی نقطه جدایی رفتار کاملاً الاستیک خاک از رفتار کاملاً پلاستیک آن نمی‌باشد.

اعتبارسنجی روش آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) و آزمایش فشردگی محصور (CCT) برای برآورد مقاومت فشاری خاک (σ_{pc})

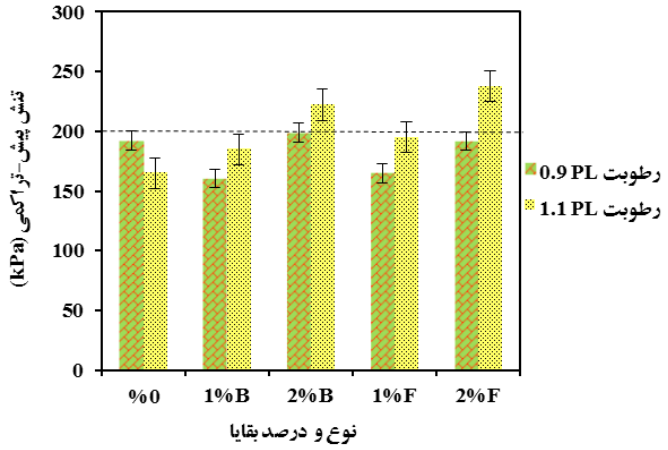
نتایج نشان داد که مقادیر تنش پیش-تراکمی برآوردشده در تیمارهای مختلف در آزمایش PST تفاوت معنی‌داری با حداکثر بار اعمال‌شده در سیکل اول (۲۰۰ kPa) ندارد. بنابراین به نظر می‌رسد که روش آزمایش نشست صفحه‌ای روشی مناسب برای تعیین ظرفیت باربری این خاک با تیمارهای مختلف شامل: نوع و درصد بقایا، رطوبت و دو حالت با و بدون تر و خشک شدن می‌باشد (شکل ۴). در حالی که مقادیر تنش پیش-تراکمی برآورد شده در آزمایش CCT در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری با حداکثر بار اعمال شده در سیکل اول (۲۰۰ kPa) دارد که بسیار بیشتر از مقدار واقعی هستند. بنابراین در آزمایش CCT در سیکل دوم (۴۰۰ kPa)، احتمالاً خاک به حالت اشباع نزدیک شده و چون مقادیر برآوردشده بر حسب تنش کل بود، مقادیر برآوردشده واقعی نبود (شکل ۵). بنابراین، در آزمایش CCT تا زمانی‌که نرخ جابجایی آب در منافذ خاک کمتر از نرخ بارگذاری بوده و امکان پیوستگی آب منافذ در حین بارگذاری وجود دارد نمی‌توان از آن جهت برآورد تنش پیش-تراکمی استفاده نمود.



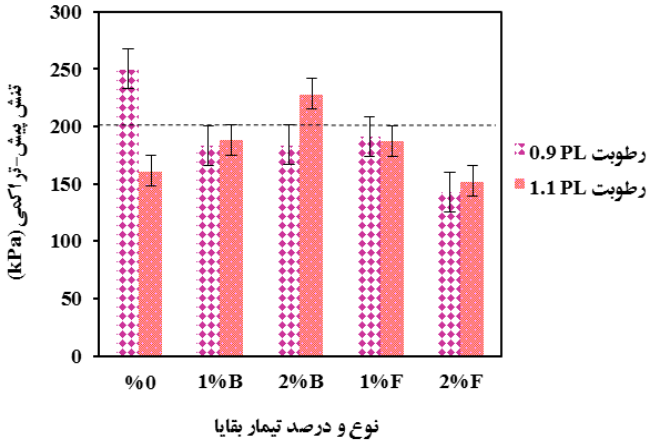
(ب) (الف)

(د) (ج)

شکل۳- نمونه‌هایی از نمودار لگاریتم تنش_نشست خاک پس از دو سیکل بارگذاری ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال (الف) ۲ درصد باگاس، (ب) ۱ درصد فیلترکیک در فرآیند با تر و خشک شدن در رطوبت ۱/۱PL در آزمایش نشست صفحه‌ای (PST). (ج)۲ درصد باگاس، (د) ۱ درصد فیلترکیک در فرآیند با تر و خشک شدن در آزمایش فشردگی محصور (CCT).

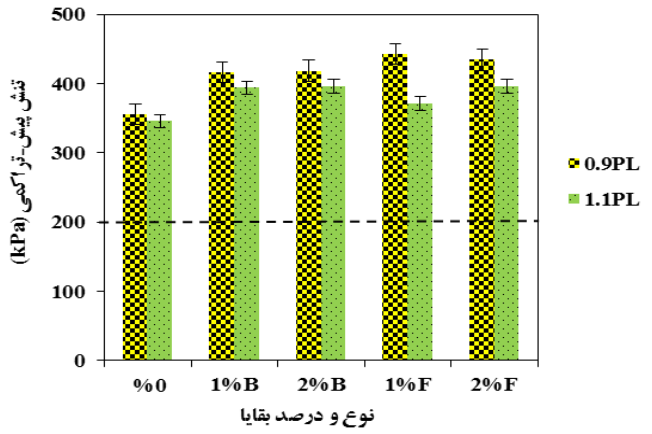


(الف)

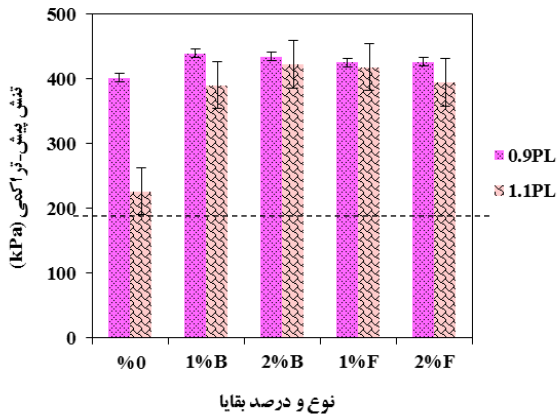


(ب)

شکل ٤- مقایسه مقادیر تنش پیش-تراکمی خاک در آ زمایش نشست صفحه‌ای در سیکل دوم بارگذاری در تیمارهای مختلف با فرآیند: الف) بدون تر و خشک شدن، و ب) با تر و خشک شدن. B و F به ترتیب نشانگر باگاس و فیلترکیک می‌باشد. میله‌های روی ستون‌ها نیز نشان‌دهنده ± یک خطای استاندارد است.



(الف)

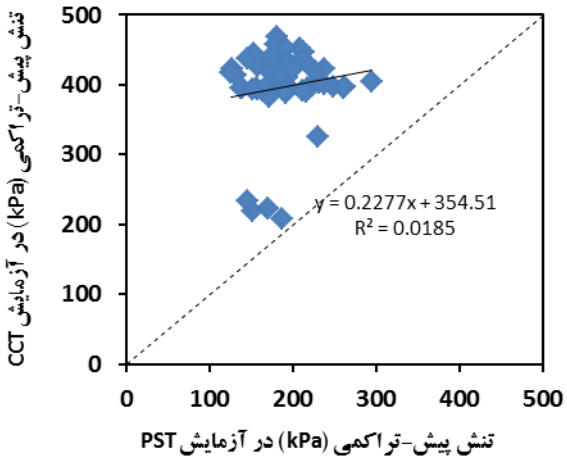


(ب)

شکل ۵- مقایسه مقادیر تنش پیش-تراکمی خاک در آزمایش فشردگی محصور در سیکل دوم بارگذاری در تیمارهای مختلف در فرآیند: الف) بدون تر و خشک شدن، و ب) با تر و خشک شدن. B و F به ترتیب نشانگر باگاس و فیلترکیک می‌باشد. میله‌های روی ستون‌ها نیز نشان‌دهنده ± یک خطای استاندارد است.

رابطه بین تنش پیش-تراکمی خاک تعیین شده با آزمایش‌های PST و CCT

مقادیر تنش پیش-تراکمی به دست آمده از آزمایش PST در برابر مقادیر به‌دست آمده در آزمایش CCT در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل، اکثر نقاط در بالای خط ۱:۱ قرار داشته و شیب خط برازش کمتر از واحد می‌باشد. همچنین همبستگی نتایج دو روش ضعیف است. بنابراین استفاده از روش آزمایش CCT برای تخمین تنش پیش-تراکمی دارای بیش-تخمینی است و این نشان می‌دهد که مقادیر تنش پیش-تراکمی بدست آمده از روش CCT بیشتر از PST است. برخی محققین گزارش کردند که مقادیر σ_{pc} در روش PST بیشتر از روش CCT است Dawidowski *et al.*, 2000; Dawidowski *et al.*, (2001). تخمین σ_{pc} توسط روش PST بیشتر از روش CCT است (مصدقی، ۱۳۸۲).



شکل ٦- رابطه بین مقادیر تنش پیش-تراکمی به دست آمده از روش کاساگراند در آزمایش‌های PST و CCT پس از بارگذاری ٤٠٠ کیلوپاسکال.

بطور کلی، تنش پیش-تراکمی بر اساس تنش موثر[2] تعریف می‌شود، ولی در این پژوهش به علت اینکه تغییرات فشار آب منفذی در حین آزمایش اندازه‌گیری نشد، تنش پیش-تراکمی بر حسب تنش کل[3] بیان شد. بنابراین، مقادیر محاسبه شده را می-توان تنش پیش-تراکمی ظاهری[4] نامید. این بیش تخمینی در آزمایش CCT احتمالاً به علت سریع بودن نرخ بارگذاری در مقایسه

[2] Effective stress

[3] Total stress

[4] Apparent pre-compaction stress

با روش ادومتر و احتمالاً ظهور فشار در آب منفذی در مرحله بارگذاری در اثر کاهش اندازه منافذ خاک و ظهور فشار مثبت در آب منافذ خاک باشد. در آزمایش CCT چون اطراف نمونه صلب است (آزمایش محصور) و احتمالا نرخ بارگذاری سریعتر از نرخ جابجایی آب در نمونه است، موجب فشار مثبت در آب منفذی می‌شود؛ در صورتی که آزمایش PST، یک آزمایش نیمه‌محصور محسوب شده و رطوبت فرصت جابجایی دارد. بنابراین، افزایش فشار مثبت در حین بارگذاری CCT موجب شد که مقادیر σ_{pc} بیش از مقادیر بدست‌آمده در آزمایش PST باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش از بارگذاری سیکلی پلکانی در مرکز نمونه‌ها استفاده شد. با استفاده از نتایج بدست آمده در آزمایش‌های نشست صفحه‌ای (PST) و فشردگی محصور (CCT)، نمودار تنش-نشست وتنش-کرنش رسم شد و تنش پیش-تراکمی (σ_{pc}) در هر سیکل به طور جداگانه به روش کاساگراند بدست آمد. هدف از این نوع بارگذاری استفاده از سیکل دوم برای اعتبار سنجی روش تعیین ظرفیت باربری خاک بود. نتایج نشان داد روش PST روش مناسبتری برای تعیین ظرفیت باربری خاک با توجه به شرایط موجود بود. با مقایسه تنش پیش-تراکمی حاصل از آزمایش PST و CCT مشاهده شد که σ_{pc} بدست آمده از آزمایش CCT نسبت به PST دارای بیش-تخمینی است.

منابع

مصدقی، م. ر.، ۱۳۸۲. بررسی تاریخچه تراکم (تنش پیش ـ تراکمی) و رابطه آن با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی برخی از خاک-های اصفهان، رساله دکترای خاکشناسی،دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

وفاییان، م.، ۱۳۷۶. خواص مهندسی خاک، نشر ارکان اصفهان.

Aghilinategh, N., A. Hemmat and M. Sadeghi. 2014. Assessing confined and semi-confined compression curves of highly calcareous remolded soil amended with farmyard manure. Journal of Terramechanics 53: 75–82.

Alexandrou, A. and R. Earl. 1995. In situ determination of the precompaction stress of a soil. Journal of Agricultural Engineering Research 61: 67–72.

Dawidowski, J. B., J. E. Morrison and M. Snieg. 2000. Determination of soil precompaction stress from *in situ* tests. PP 411–418. Catena Verlag.

Dawidowski, J. B., J. E. Morrison and M. Snieg. 2001. Measurement of soil layer strength with plate sinkage and uniaxial confined methods. Transactions of the ASAE 44: 1059–1064.

Gotteland, P. and O. Benoti. 2006. Sinkage tests for mobility study, modeling and experimental validation. Journal of Terramechanics 43: 451_467.

Imhoff, S., A. P. Da Silva and D. Fallow. 2004. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility of Hapludox. Soil Science Society of American Journal 68: 17–24.

Keller, T. and J. Arvidsson. 2007. Compressive properties of some Swedish and Danish structured agricultural soils measured in uniaxial compression tests. European Journal of Soil Science 58: 1373–1381.

Koolen, A. J. 1974. A method for soil compactibility determination. Journal of Agricultural Engineering Research 19: 271–278.

Kuncoro, P. H., K. Koga, N. Satta and Y. Muto. 2014. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water. I: Gas diffusivity, air permeability, and saturated hydraulic conductivity. Soil and Tillage Research 143: 172–179.

Lebert, M. and R. Horn. 1991. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. Soil and Tillage Research 19: 275–286.

Mosaddeghi, M. R., A. J. Koolen, A. Hemmat, M. A. Hajabbasi and P. Lerink. 2007. Comparisons of diff erent procedures of pre-compaction stress determination on weakly structured soils. Journal of Terramechanics 44: 53–63.

Schäffer, B., P. Boivin and R. Schulin. 2010. Compressibility of repacked soil as affected by wetting and drying between uniaxial compression tests. Soil Science Society of American Journal 74:1483–1492.

Tang, A. M., Y. J. Cui, J. Eslami and P. Défossez, 2009. Analysing the form of the confined uniaxial compression curve of various agricultural soils. Geoderma 148: 282–290.