بررسی تاثیر برخی عوامل مؤثر بر مقاومت به تراکم (تنش پیش-تراکمی) یک خاک لوم رسی سیلتی (۵۲۷)

ناهید عقیلی ناطق[۱] ، عباس همت [۲] ، مرتضی صادقی [۳] ، محمود وفاییان[۴]

چکیده

بررسی نقش و تاثیر تراکم خاک بر تولید محصولات کشاورزی از دهه ۱۹۵۰ شروع ده و تحقیقات قابل ملاحظه ای در این زمینه صورت گرفته است، ولی به خاطر پیچیدگی این پدیده هنوز مسائل و مشکلات حل نشده زیادی در این مورد موجود است. برای بیشینه عملکرد هر محصول یک سطح تراکم بهینه خاک وجود دارد. بنابراین، تراکم خاک باید به عنوان یک عامل مهم در سیستم‌های مدیریت تولید محصول به حساب آید. تعیین درجه تراکم پذیری خاک، نیازمند تعیین شاخصی برای نشان دادن میزان تغییر در ویژگی‌های خاک است. یکی از این شاخص‌های مهم مقاومت فشاری (تنش پیش- تراکمی) خاک می‌باشد. اگر سطح تنش اعمال شده به خاک از این حد بیشتر شود، تغییر شکل ماندگار در خاک ایجاد می شود. در این پژوهش تاثیر مواد آلی، میزان رطوبت، نرخ بارگذاری و نوع آزمایش بر تنش پیش تراکمی یک خاک لومی رسی سیلتی بررسی شد. برای تعیین تنش پیش تراکمی خاک از آزمایش‌های نشست صفحه‌ای و فشاری محصور استفاده گردید. پس از انجام آزمایش‌ها تنش پیش تراکمی خاک با روش کاسا اند محاسبه گردید. نتایج نشان داد که با افزایش مواد آلی و نرخ بارگذاری مقاومت به تراکم (تنش پیش- تراکمی) افزایش و با افزایش رطوبت کاهش پیدا کرد. همچنین مقدار تنش پیش - تراکمی بدست آمده بستگی به نوع آزمایش و نرخ بارگذاری داشت.

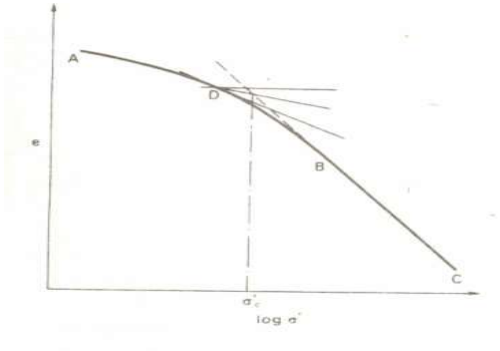
کلیدواژه: تنش پیش تراکمی، آزمایش نشست صفحه‌ای، آزمایش فشاری محصور، ادومتر، مواد آلی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، پست الکترونیک: n.aghili85@gmail.com
۲- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- استادیار گروه مکانیک شین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۴- استاد روه خاک و پی، دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

تراکم خاک به عنوان مشکلی جهانی و فرایندی پیچیده و چند بعدی شامل تاثیر متقابل خاک- ماشین- گیاه-اقلیم شناخته می شود که دارای آثار قابل توجه اقتصادی و زیست محیطی و به عنوان یک معضل پیچیده در برابر کشاورزی پایدار می باشد. در طبیعت معمولا"خاک ها تحت اثر وزنشان، بارهای خارجی و یا داخلی (حاصل از نیروهای مکش آب خاک) دچار کاهش حجم می شوند. اگر این کاهش حجم به دلیل کاهش حفره‌های هوا در خاک باشد، در این حالت فرایند تراکم اتفاق می افتد. یکی از علل تراکم[2] خاک در کشاورزی مکانیزه، عبور و مرور وسائل و ادوات کشاورزی می باشد. نتایج تحقیقات نشان می دهد که تراکم خاک منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصولات، افزایش فرسایش ادوات و توان مورد نیاز خاک رزی و محدودیت توسعه ریشه می شود [۱]. تعیین درجه تراکم پذیری خاک، نیازمند تعیین شاخصی برای نشان دادن میزان تغییر در ویژگی های خاک است. یکی از این شاخص‌های مهم تنش پیش- تراکمی می باشد که اغلب به عنوان معیاری برای تراکم پذیری خاک استفاده می شود. مفهوم تنش پیش تراکمی (σ_p) اولین بار توسط کاسا اند[1] برای خاک اشباع تحکیم یافته تعریف شد [۳]. تنش پیش تراکمی به عنوان حداکثر تنشی که خاک می تواند تحمل کند بدون اینکه ساختار فیزیکی آن دچار آسیب شود، تعریف شده است. این تنش به عنوان معیاری جهت پایدار نگه داشتن ساختمان خاک در برابر نیروهای داخلی و خارجی مورد استفاده قرار می گیرد. این شاخص بر خواص فیزیکی و مکانیکی که بطور سنتی در ارزیابی سیستم های تردد و خاک‌ورزی استفاده می شود برتری دارد. زیرا در برنامه ریزی و ارزیابی سیستم های خاک‌ورزی و تردد در مزرعه بطور مستقیم قابل استفاده است. همچنین در مدل سازی رابطه تنش – کرنش در خاک های کشاورزی کاربرد دارد [۸].

اولین بار کاساگراند روشی برای یافتن حداکثر فشار گذشته پیشنهاد کرد که از روی منحنی نسبت پوکی- لگاریتم تنش تعیین می شود. با توجه به شکل ۱ چنانچه از نقطه D (نقطه ای که در آن انحناء منحنی لگاریتم تنش- کرنش حداکثر می باشد)، مماسی بر منحنی رسم کرده و نیمساز زاویه بین این مماس و خط افقی مار بر D ترسیم گردد، نقطه برخورد این نیمساز با امتداد مستقیم الخط نمودار نشان دهنده حداکثر فشار موثری است که در گذشته بر خاک وارد آمده است که آن را فشار پیش تحکیمی σ_p می نامند. به σ_p در شرایط خاک های غیر اشباع تنش پیش - فشردگی یا پیش تراکمی گفته می شود. امروزه روش های دیگری همچون تقاطع خط فش دگی بکر (VCL) با محور X ها در نقطه کرنش صفر و یا تنش خاک در کرنش از قبل تعیین شده (۲/۵٪ کرنش) جهت تعیین تنش پیش تراکمی استفاده می شود.



شکل۱- نمودار لگاریتم تنش – کرنش [].

از عوامل تاثیر گذار بر تراکم پذیری خاک ها، رطوبت، میزان مواد آلی، آهک، بافت خاک و زمان (سخت شدگی) می باشند [۶]. به منظور کاهش تراکم خاک، روش های اصلاحی ساختمان خاک توصیه می شود که یکی از این روش ها افزودن و حفظ مواد آلی در خاک است. باقی ماندن یک مقدار کافی مواد آلی در خاک ساختار خاک را پایدار ک ه و مقاومت آن را نسبت به تخریب بالا می برد. مواد آلی سبب کاهش چگالی و افزایش استحکام خاک می شوند. مواد آلی از طریق : ۱) افزایش به هم پیوستگی ذرات معدنی،

2- Compaction
1- Casagrand

۲) کاهش قابلیت تر شدن خاکدانه ها و ۳) تاثیر گذاشتن بر استحکام مکانیکی خاکدانه ها بر ساختمان و قابلیت تراکم پذیری خاک تاثیر می گذارند. مواد آلی دارای چگالی ظاهری کم ر و تخلخل بیشتری نسبت به مواد معدنی بوده و در نتیجه مخلوط کردن آنها با خاک های معدنی ممکن است چگالی ظاهری و تخلخل را بهبود بخشد [۶].

میزان رطوبت به عنوان یکی از عوامل مهم در تراکم خاک شناخته شده است. لارسون و همکاران اظهار داشتند که تراکم پذیری وابسته به مقدار رطوبت خاک است و بنابراین مدیریت آب-خاک نقش مهمی در مدیریت تراکم ایفا می کند [۸]. قابلیت کار بر روی خاک، بصورت محدوده‌ای از پتانسیل رطوبتی که دستکاری مکانیکی خاک با حداقل صدمه بر ساختمان خاک امکان‌پذیر باشد، تعریف شده است. لارسون و همکاران مشاهده نمودند که مقاومت خاک و خاکدانه ها با کاهش مقدار رطوبت از حد بالایی خمیری به حد پایینی خمیری بطور معنی داری افزایش می‌یافت. در کلیه سطوح تراکم، مقاومت به نفوذ با کاهش پتانسیل آب افزایش پیدا می‌کرد. به عبارت دیگر، افزایش رطوبت خاک موجب کاهش ظرفیت بار بری خاک می شود. داده های گزارش شده به وسیله ی مدویدو و همکاران دلالت بر این دارد که ماکزیمم فشار تماسی ماشین های کشاورزی جهت تولید رضایت بخش محصول با افزایش رطوبت کاهش می یابد [۱۱].

σ_p از منحنی تراکم (نسبت نسبت پوکی در مقابل لگاریتم تنش عمودی) توسط آزمایش هایی مانند PST[1] و CCT[2] و ادومتر[3] بدست می آید. فراسنجه‌هایی که برای مدلسازی تراکم پذیری خاک اس اده می شوند معمولاً از آزمایش های CCT و PST بدست می آیند. در روش ادومتر، بارگذاری مرحله ای با فواصل زمانی طولانی برای تعیین تنش پیش تراکمی خاک های اشباع و غیر اشباع استفاده می گردد. در این آزمایش، مرحله بعد بارگذاری زمانی صورت می گیرد که کاهش در حجم نمونه حاصل از مرحله بارگذاری قبلی پایدار شده باشد. پس از گذشت زمان مناسب (در خاک های کشاورزی، بعد از ۴۵ دقیقه نشست نمونه تحت بار، ثابت گردیده که بیانگر آماده بودن نمونه برای بارگذاری بعدی می شد)، بار یا تنش قائم به مقدار مشخصی افزایش یافته و در نهایت در تنش های حدود ۳ یا ۴ برابر σ_p آزمایش متوقف می شود [۲]. CCT یک روش جهت تعیین رفتار خاک تحت σ_1 (تنش اصلی) در شرایط غیر زهکشی می باشد و زمانی که خروج هوا پایان یابد و خاک اشباع شود آزمایش متوقف می شود. در آزمایش CCT خاک در درون یک سیلندر صلب توسط یک پیستون متحرک به سمت پایین متراکم می شود و بار روی پیستون و تغییر حجم خاک بطور پیوسته ثبت می شود.

الکس ندرو و ارل اولین بار روش PST (آزمایش نیمه محصورشده) را جهت تخمین σ_p استفاده کردند [۱]. در این آزمایش بر یک صفحه روی سطح خاک بارگذاری قائم صورت گرفته و منحنی بار – نشست ترسیم می گردد که چگونگی رفتار خاک در مقابل تنش را نشان می دهد. در تحقیق حاضر به بررسی اثر مواد آلی، رطوبت، نرخ بارگذ ری و نوع آزمایش در یک خاک لوم رسی سیلتی با تیمار های مختلف کودی که خواص آنها در جدول ۱ آورده شده، بصورت آزمایشگاهی پرداخته می‌شود.

م اد و روش ها

جهت بررسی اثر برخی عوامل مانند نرخ بارگذاری، میزان مواد آلی، میزان رط بت و روش آزمایش بر تنش پیش تراکمی خاک آزمایش‌های لازم انجام شد. نمونه ها تدا از الک با سوراخ های ۲ میلی متر رد شدند و سپس به سطوح رطوبتی مورد نظر رسانده در ظرفی استوانه ای شکل به قطر ۲۵/۵سانتی تر و ارتفاع۱۰ سانتی متر با چگالی تر ۱/۴ گرم بر سانتی متر مکعب ریخته و نمونه را تا تنش ۱۰۰ کیلو پاسکال متراکم ک ه و در نهایت آزمایش های لازم جهت تعین تنش پیش تراکمی با نمونه های دست نخورده تهیه شده از این ظرف انجام گرفت.

جهت بررسی اثر نرخ بارگذاری بر تنش پیش تراکمی آزمایش PST در دو نرخ بار گذاری انجام شد. این آزمایش بادستگاه CBR با سرعت ۱/۰۶ میلیمتر بر دقیقه انجام شد. در این دستگاه نیروی لازم جهت نشست صفحه به کمک گیج با دقت ۰۰۲/

[1]- Plate sinkage test
[2] -Confined compression test

3- Oedometer

۰و نشست صفحه به کمک گیج با دقت ۰/۰۱ توسط دست ثبت گردید. آزمایشی دیگر با دستگاه کشش – فشار جامع با لودسل kN ۵۰ با سرعت ۴۲۰ میلیمتر بر دقیقه انجام شد. داده ها به کمک Data logger بصورت نیروی عمودی جهت نشست صفحه با قطر ۵ سانتی متر در مقابل نشست صفحه بر حسب میلی متر ثبت گردید. به منظور بررسی اثر رطوبت بر تنش پیش تراکمی نمونه های یکسان با ۳ سطح رطوبتی متفاوت PL، PL ۹/ ۰و PL ۱/۱ تهیه گشته و آزمایش های PST وCCT با کمک دستگاه CBR انجام گردید. جهت بررسی اثر مواد آلی نمونه هایی با درصد مواد آلی مختلف با سطوح رطوبتی یکسان با دستگاه CBR با سرعت ۱/۰۶ میلیمتر بر دقیقه آزمایش گردید تا اثر مواد آلی بر تنش پیش تراکمی مشخص گردد. جهت بررسی اثر نوع آزمایش بر تعیین تنش پیش تراکمی آزمایش هایی با نمونه های یکسان (رطوبت, موادآلی و سرعت یکسان) با ادومتر، CCT و PST انجام شده و تنش پیش تراکمی با استفاده از نمودار لگاریتم تنش در مقابل نشست بدست آمد. علاوه بر آزمایش های انجام شده، در ادومتر جهت حصول اطمینان از نتایج بدست آمده، آزمایش هایی با نمونه های دست خورده (رس اشباع و تیمار های مختلف ک دی) نیز انجام گردید. ، پس از انجام آزمایش‌ها تنش پیش تراکمی خاک با روش کاساگراند محاسبه گردید.

جدول۱- خواص خاک مورد مطالعه در تیمار های مختلف کودی

تیمارکود (t/ha)	توزیع ذرات خاک (٪)			بافت	OM (٪)	BD (g/cm^3)	حدود آتربرگ		
	شن	رس	سیلت				LL	PL	PI
شاهد (۰)	۱۶	۳۸	۴۶	لوم رسی سیلتی	۱/۵۳	۱/۳۲	۳۰/۱۲	۱۹/۰۰	۱۱/۱۲
۱۰۰ لجن فاضلاب	۲۰	۳۴	۴۶	لوم رسی سیلتی	۴/۸۳	۱/۰۳	۴۰/۷۸	۳۰/۰۰	۱۰/۷۸
۱۰۰ کمپوست	۱۹	۳۱	۵۰	لوم رسی سیلتی	۳/۸۳	۱/۰۳	۳۸/۰۰	۲۶/۶۷	۱۱/۳۳

OM: کربن آلی خاک؛ BD: چگالی ظاهری؛LL: درصد وزنی رطوبت در حد وانی؛ PL: درصد وزنی رطوبت در حد خمیری؛ PI: شاخص خمیری.

نتایج و بحث

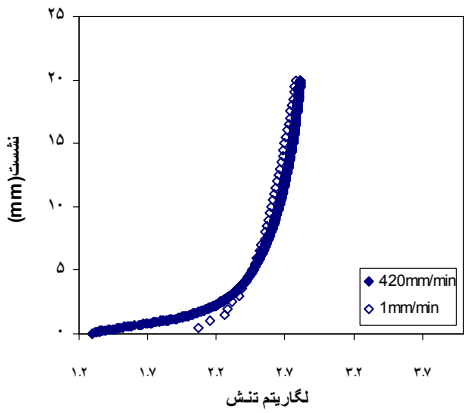
۱- نرخ بارگذ ری

نتایج حاصل از آزمایش ها بیانگر افزایش تنش پیش تراکمی با افزایش نرخ بارگذاری در آزمایشPST بود. بطوری که در سرعت mm/min ۴۲۰ تنش پیش تراکمی kPa ۲۶۰ و در سرعت mm/min ۱/۰۶ تنش پیش تراکمی kPa ۱۸۹ بدست آمد (جدول ۲). لبرت و همکاران نشان دادند که تنش پیش تراکمی با کاهش زمان بار گذاری افزایش می یبد و این افزایش در خاک های ریز بافت بیشتر است. بطوری که درخاک های رسی اگر زمان بار گذاری کوتاه شود، تنش پیش- تراکمی به ۲ برابر هم می رسد [۱۰].

جدول ۲- تنش پیش تراکمی و دو نرخ بارگذاری†

سرعت نفوذ (mm/min)	تنش پیش تراکمی(kPa)
۱/۰۶	۱۸۹
۴۲۰	۲۶۰

†پیش بار ۱۰۰ kPa؛ رطوبت ٪۱۷/۱؛ درصد کربن آلی خاک ۱/۵۳؛ نوع آزمایش PST.



شکل ۲- نمودار لگاریتم تنش در مقابل نشست با دو نرخ بارگذاری.

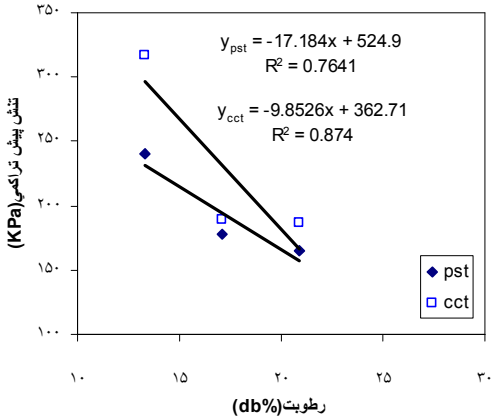
۲- رطوبت خاک

با افزایش رطوبت تنش پیش تراکمی کاهش می یافت (جدول ۳). مقادیر تنش پیش تراکمی در سه سطح رطوبت ۱۳/۳، ۱۷/۱ و ۲۰/۹٪ در شکل ۳ نشان داده شده است. کانیلاس و همکاران نتایج مشابهی ارائه کردند. علت افزایش تنش پیش تراکمی در رطوبت های پایین (۱۳/۳٪)، بزرگتر شدن نیروی چسبندگی بین ذرات است. در رطوبت های نزدیک به رطوبت PL (۱۷/۱٪)، آب بین ذرات مانند یک روان کننده عمل کرده، بنابراین نیروی اصطکاک بین ذرات را کاهش داده و حرکت ذرات را نسبت به هم بیشتر نموده و در نتیجه تراکم را افزایش می‌دهد. در رطوبت های بیشتر از PL (۲۰/۹٪) ذرات خاک شروع به جاری شدن نموده، تراکم نه تنها در لایه سطحی بلکه در لایه زیرین نیز ایجاد می گردد [۴].

جدول۳- تنش پیش تراکمی در رطوبت های مختلف†

درصد وزنی رطوبت خاک	تنش پیش تراکمی(kPa)	
	CCT	PST
۱۳/۳	۲۴۰	۳۱۷
۱۷/۱	۱۷۸	۲۰۵
۲۰/۹	۱۶۵	۷۱۸

†پیش بار ۱۰۰ kPa؛ کربن آلی ۱/۵۳؛ سرعت بارگذاری ۱/۰۶ mm/min.



شکل۳ – نمودار تغییرات تنش پیش تراکمی با رطوبت خاک.

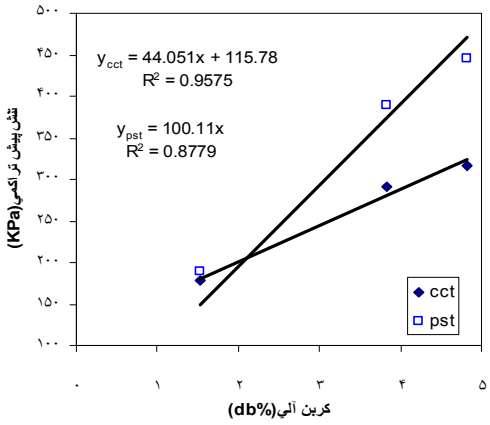
۳- مواد آلی

با افزایش مواد آلی تنش پیش تراکمی افزایش می‌یافت (جدول ۴). به عبارت دیگر، با افزایش مواد آلی مقاومت به تراکم خاک افزایش پیدا می‌کرد. اوهیو و همکاران بیان کردند افزودن مواد آلی به عنوان یک وسیله کاهش دهنده تراکم، تحت عنوان پتانسیل مدیریتی، برای خاک مطرح می باشد [۱۲]. ایشان همچنین اظهار نمودند که استفاده از مواد آلی سبب افزایش مقاومت به تراکم خاک می شود. بنظر می رسد مقادیر نسبتاً زیاد کود برای کاهش تراکم خاک مفید می باشد، بطوری که سوان و همکاران مقادیر نسبتاً زیاد کود حیوانی (۸۰ تا ۱۲۰ تن در هکتار) را برای افزایش مقاومت خاک به تراکم توصیه کردند [۱۳].

جدول٤- تنش پیش تراکمی در سطوح کربن آلی مختلف[†]

میزان کربن آلی	تنش پیش تراکمی(kPa)	
	CCT	PST
۱/۵۳	۱۷۸	۱۸۹
۳/۸۳	۲۹۰	۳۹۰
۴/۸۳	۳۱۶	۴۴۵

[†] پیش بار ۱۰۰ kPa؛ رطوبت ۰/۹ PL؛ سرعت بارگذاری ۱/۰۶ mm/min.



شکل۴- نمودار تغییرات تنش پیش تراکمی با کربن آلی خاک.

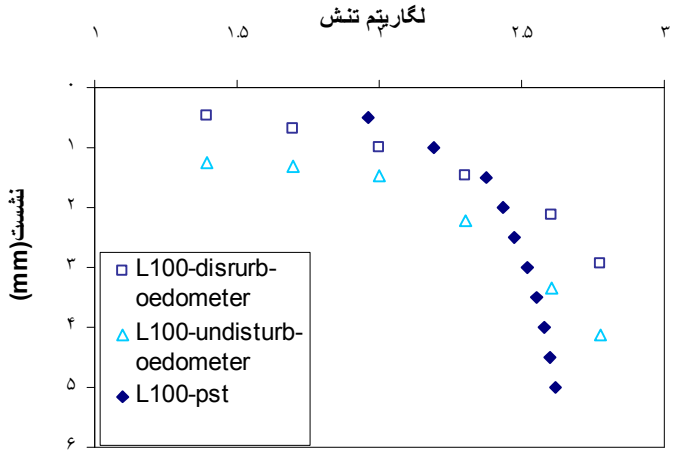
٤- نوع آزمایش

نتایج آزمایش ها نشان داد با توجه به پیش بار وارده مقادیر تنش پیش تراکمی در CCT، PST و ادومتر در نمونه های یکسان با یکدیگر متفاوت بود. در آزمایش ادومتر مقدار تنش پیش تراکمی در نمونه های دست خورده برابر با مقدار پیش بار اعمال شده بدست آمد. اما در نمونه های دست نخورده مقدار آن بیشتر از ۱۰۰kPa بدست آمد. در آزمایش های CCT و PST مقدار تنش پیش تراکمی بیشتر از مقدار پیش بار وارده بوده و مقادیر PST بیشتر از CCT بود. نتایج آزمایش ادومتر روی نمونه های دست خورده، حاکی از این بود که این مقادیر بیانگر که این نحوه بیان تنش پیش تراکمی در عمران کاربرد دارد. در حالیکه در نمونه های دست نخورده برابر بیشینه باری است که خاک از قبل تحمل نموده نمی‌باشد. در کشاورزی ماکزیمم تنشی که خاک می تواند تحمل کند بدون آسیب رسیدن به ساختمان خاک مد نظر می باشد. در جهت اطمینان از نتایج آزمایش های ادومتر، آزمایش‌های دیگری با ۵/۴ درصد کربن آلی و با رس خالص انجام گرفت و مقدار تنش پیش تراکمی برابر مقدار پیش بار وارده بدست آمد که تایید کننده نتیجه قبلی می باشد. در واقع نتایج این آزمایش در نمونه های دست خورده مستقل از مقدار کربن آلی و بافت خاک می اشد و این نکته می تواند بیانگر امکان عدم استفاده از ادومتر در نمونه های ساخته شده جهت تعیین تنش پیش تراکمی باشد. در تمامی تحقیقات انجام شده در زمینه تنش پیش تراکمی، آزمایش به روش ادومتر در نمونه های دست نخورده انجام شده است [۲ و ۹]. کلر و همکاران در نمونه های دست نخورده، تنش پیش تراکمی را با سه روش CCT، PST و ادومتر تعیین کر ند و در یافتند که این ۳ آزمایش مقادیر متفاوتی برای تنش پیش تراکمی ارائه می دهند. کمترین مقدار تنش پیش تراکمی در خاک سطحی مربوط به ادومتر و بیشترین مقدار آن مربوط به روش PST بود [۹]. داویدوسکی و همکاران روش PST را با روش CCT مقایسه کرده و گزارش نمودند که مقدار σ_p در PST نسبت به CCT بیشتر بود ؛ اگرچه تفاوت معنی داری نداشتند[۵].

جدول۵- مقادیر تنش پیش تراکمی در روش های مختلف†

میزان کربن آلی	تنش پیش تراکمی		
	CCT	PST	ادومتر (نمونه دست خورده)
۱/ ۵۳	۱۷۷/۸۲	۱۸۹/۱۵	۱۰۰
۳/۸۳	۲۹۰/۱۸	۳۸۹/۸۳	۱۰۰
۴/۸۳	۳۱۶/۲۲	۴۴۵/۱	۱۰۰

† بار ۱۰۰kPa؛ رطوبت PL ۰/۹؛ سرعت mm/min ۱/۰۶.



شکل۴- نمودار لگاریتم تنش در مقابل نشست با سه روش مختلف (L۱۰۰: نمونه با ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب).

نتیجه گیری

آزمایش ها نشان می دهد که مقدار تنش پیش-تراکمی یک مقدار مطلق نبـ ده و به عواملی همچون نوع آزمایش و نرخ بارگذاری بستگی دارد. همچنین نتایج نشان می دهد با افزایش مواد آلی و نرخ بارگذاری مقاومت به تراکم (تنش پیش-تراکمی) افزایش یافته و با افزایش رطوبت تنش پیش تراکمی کاهش می یابد. مقادیر تنش پیش-تراکمی در آزمایش های PST، CCT و ادومتر متفاوت می باشد.

منابع

1- Alexandrou, A. and Earl, R. 1995. In Situ Determination of the Pre-compaction Stress of a Soil. *J.Agri.Eng.Res*. 61:67-72.

2- Arvidsson, J. and Keller, T. 2004. Soil precompression stress I. A survey of Swedish arable soils. *Soil and Tillage Research* 77 : 85–95

3- Casagrande, A. 1936. Determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. III, Cambridge, June 22–26, 1936, pp. 60–64.

4- Canillas, E. C. and Salokhe, V. M. 2001. Regression analysis of some factors influencing soil compaction. *Soil and Tillage Research* 61: 167–178.

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

6- Hamza, M. A. and Anderson, W. K. 2004. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82:121-145.

7- Keller, T., Arvidsson, J., Dawidowski, J. B. and Koolen, A. J. 2004. Soil precompression stress II. A comparison of different compaction tests and stress–displacement behaviour of the soil during wheeling. *Soil and Tillage Research* 77 :97–108

8- Koolen, A. J. and Van den Akker, J. J. H. 2000. On the use of agricultural soil data required in soil deformation models. In: Horn, R., Van den Akker, J. J. H. and Arvidsson, J. (Eds.), Subsoil Compaction Distribution, Processes and Consequences. Advances in GeoEcology 32.Catena velag. PP.118-125.

9- Larson, W. E., Eyanard, A., Hadads, A. and Lipiec, J. 1994. Control and avoidance of soil compaction in practice. In: Soan, B. D. and Van Ouewerkerk C. (Eds.), Soil compaction in crop production .Elsevier. Amsterdam. pp.597-625.

10- Lebert, M., Burger, N., Horn, R. 1989. Effects of dynamic and static loading on compaction of structured soils. In: Larson, W. E., Blake, G. R., Allmaras, R. R., Voorhees, W. B. and Gupta, S. (Eds.), Mechanics and Related Processes in Structured Agricultural Soils. NATO ASI Series E, Appl. Sci. 172. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 73–80.

11- Medvedev, V. V. and Cybulko, W. G. 1995. Soil criteria for assessing the maximum permissible ground pressure of agricultural vehicles on Chernozem soils. *Soil and Tillage Research*. 36: 153–164.

12- Ohu, J. O., Raghavan, G. S. V. and Mckynes, E. 1985. Peatmoss effect on the physical and hydraulic characteristics of compacted soils. *Trans. Am. Soc. Agri. Eng*. 28:240-242.

13- Soan, B. D. 1990. The role of organic matter in soil compatibility. A review of compaction some practical aspects. *Soil and Tillage Research*. 16:179-201.