

عوامل مؤثر بر روابط تنش- کرنش و مقاومت تراکمی در برخی از خاک‌های اصفهان

محمدرضا مصدقی، محمد علی حاج عباسی، عباس همت و ای جی کولن

به ترتیب: دانشجوی دکتری خاکشناسی، دانشیار ماشینهای کشاورزی، دانشیار خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشیار گروه فناوری خاک، دانشگاه واگنینگن هلند

مقدمه

رابطه تجربی بین تنش و کرنش را منحنی مشخصه یا تنش-کرنش^۱ گویند که در خاکشناسی نیز کاربرد دارد. شکل و شیب این منحنی در بیان رفتار مکانیکی و فشردگی پذیری خاک^۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد (۷). تنش پیش-فشردگی^۳ (pc) از مکانیک خاک در مهندسی عمران منشا می‌گیرد (۱) که با استفاده از تحکیم^۴ یا فشردگی آهسته خاک‌های اشباع مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در کشاورزی، مفهوم فوق در مورد فشردگی سریع خاک‌های غیراشباع کاربرد دارد. ظرفیت بارپذیری یا pc بیانگر حداکثر توان و مقاومت خاک در مقابل تنش‌های خارجی یا داخلی می‌باشد. بنابراین، مفهوم pc در کشاورزی جهت پایدار نگه داشتن ساختمان خاک در برابر نیروهای داخلی و خارجی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳ و ۴). هر عاملی که بر درجه تراکمی^۵ یا آرایش ذرات خاک اثر دارد، سبب تغییر pc می‌شود. ایجاد و تغییر یا افزایش pc ممکن است به خاطر یک یا چند عامل زیر باشد: تنش‌های خارجی بیش از حال حاضر، تنش‌های داخلی حاصل از مکش ماتریک، اثر زمان^۶، خاکدانه‌سازی، نشست خاک و فرایندهای زمین‌شناسی (۱، ۲، ۳ و ۴). لذا کولن و کوپرز (۷) واژه تنش پیش-فشردگی معادل^۷ را پیشنهاد کردند چرا که فرایندهای متعددی (پس از تراکم توسط نیروهای خارجی) سبب تغییر آن می‌شوند.

در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران، اطلاعات و روش‌های اندازه‌گیری جهت کمی نمودن مفهوم تراکم در تحقیقات خاک‌ورزی و تراکم خاک اندک می‌باشد. بر اساس بررسی‌های انجام شده، رفتار فیزیکی اینگونه خاک‌ها تفاوت فاحشی با خاک‌های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب دارد (۹). عدم موفقیت سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی اینگونه خاک‌ها سبب شده است که توجه به رفتار ذاتی و میزان تاثیر ویژگی‌های منحصر به فرد آنها (ماده آلی ناچیز، وجود رس پالی‌گروسکایت و آهک زیاد) در این‌گونه رفتارها مورد توجه قرار گیرد. در این راستا، این تحقیق به منظور بررسی تاثیر نوع خاک، شرایط رطوبتی خاک، روش و تیمارهای بارگذاری و فرایندهای خشک و تر شدن بر روابط تنش-کرنش، تنش پیش-فشردگی و خواص فیزیکی در تعدادی از خاک‌های اصفهان صورت گرفته است.

مواد و روشها

در این تحقیق پنج نوع خاک سطحی زراعی متفاوت از نظر بافت و ماده آلی در منطقه اصفهان انتخاب شد که خواص عمومی آنها در جدول ۱ آورده شده است. نمونه‌گیری به روش مرکب در رطوبت مناسب صورت گرفت که حداقل بهم خوردگی در ساختمان خاک صورت گیرد. سپس نمونه‌ها هوا-خشک شده و از الک ۸ میلیمتری عبور داده شدند. سیلندرهایی به ترتیب با قطر و ارتفاع ۱۰ و ۵ سانتیمتر انتخاب شده و پس از قرار دادن پارچه‌های مخصوص در زیر آنها، خاک الک‌شده در آنها ریخته شد. جرم مخصوص ظاهری (BD) اولیه خاک‌ها به $1/2 \text{ Mg m}^{-3}$ و در مورد خاک‌های سبک

^۱ Constitutive or stress-strain curve

^۲ Soil compressibility

^۳ Pre-compression stress

^۴ Consolidation

^۵ Degree of compactness

^۶ Aging effect

^۷ Equivalent pre-compression stress

(شماره‌های ۴ و ۵) به BD بالاتری رسانده شد. نمونه‌های آماده شده به مدت دو شبانه‌روز از زیر اشباع شدند. سپس در جعبه شن-کائولین^۸ (دامنه اندازه‌گیری ۲/۳-۲ pF) جهت به تعادل رساندن در مقادیر ۲/۷ pF و ۲/۹ به مدت ۵ روز قرار داده شدند.

جدول ۱- خواص عمومی خاک‌های مورد مطالعه.

شماره خاک	رده‌بندی (USDA)	شن	سیلت	رس	بافت*	ماده آلی
			g kg ⁻¹			g kg ⁻¹
۱	Aquic Haplocalcids	۱۲۷	۳۴۸	۵۲۵	C	۲۰
۲	Typic Haplargids	۱۵۸	۵۰۲	۳۴۸	SiCL	۱۰
۳	Fluventic Haplocambids	۲۴۰	۴۷۲	۲۸۸	CL	۱۴
۴	Typic Torrifluvents	۵۳۲	۳۰۱	۱۶۷	SL	۹/۳
۵	-	۴۳۲	۳۹۶	۱۷۲	L	۸

* USDA textural classification, C= Clay, SiCL= Silty clay loam, CL= Clay loam, SL= Sandy loam, L= Loam

پس از تنظیم پتانسیل ماتریک و اعمال فرایندهای خشک و تر شدن، نمونه‌ها تحت روش‌ها و تیمارهای بارگذاری با استفاده از ماشین جهانی زوییک^۹ قرار گرفتند. روش‌های بارگذاری شامل روش فشردگی محصور (CCT)، روش فشردگی نیمه‌محصور^{۱۰} (SCCT) و روش فشردگی خمیرورزی^{۱۱} (KCT) بود. از دستگاه خمیرورزی لرینک (۸) جهت اعمال روش‌های SCCT و KCT استفاده شد به طوری که در روش SCCT، بارگذاری روی پیستون دستگاه و در روش KCT، بارگذاری متناوب بر پیستون و حلقه بارگذاری صورت گرفت. تیمارهای بارگذاری شامل بارگذاری سیکلی^{۱۲} با ۱۰ سیکل و پله‌ای^{۱۳} در تنش‌های ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ kPa بود. در بارگذاری سیکلی، تنش ثابت است در صورتی که در نوع پله‌ای، تنش طی سیکل‌های متوالی بارگذاری تغییر می‌کند. درجه پوکی (e) با استفاده از جرم خاک خشک و اندازه‌گیری ارتفاع نمونه خاک پس از هر فرایند تراکم و نفوذپذیری هوایی (K_g) خاک‌ها به روش کموج (۶) در مراحل مختلف بارگذاری تعیین شد. همچنین تفاوت تداخل و درصد رطوبت حجمی به عنوان تداخل تهویه‌ای^{۱۴} (AFP) محاسبه شد. به دلیل ناهمگنی فشردگی خاک در روش SCCT از اندازه‌گیری e و K_g در این تیمار صرف‌نظر شد.

جهت اعمال فرایندهای خشک و تر شدن، نمونه‌های خاک در آون هواکش دار در حرارت ۳۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. سپس آب از دست رفته در اثر خشک شدن، به روش مویبندی به خاک‌ها اضافه شد تا بهم خوردگی ساختمان خاک‌ها در اثر جذب سریع آب به حداقل برسد. فرایندهای خشک و تر شدن قبل از تراکم در روش‌های CCT، SCCT و KCT، بعد از سیکل اول در بارگذاری سیکلی و بین سیکل‌های متوالی در روش‌های CCT و KCT اعمال شد.

نتایج و بحث

اعمال فرایندهای خشک و تر شدن سبب تغییر در روابط تنش-کرنش، تنش پیش-فشردگی و ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها شد. میزان این اثر در خاک‌های با ساختمان ناپایدار (خاک‌های شماره ۲ و ۵) بیشتر بود (شکل ۱). خشک و تر شدن

^۸ Sand-kaolin box

^۹ Zwick Universal Testing Machine

^{۱۰} Semi-confined compression test

^{۱۱} Kneading compression test

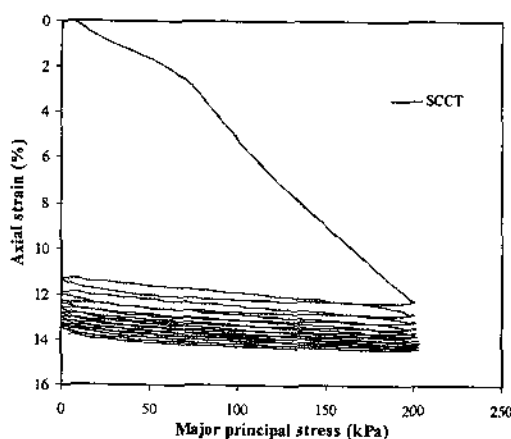
^{۱۲} Cyclic loading

^{۱۳} Staircase loading

^{۱۴} Air-filled porosity

در تنش‌های کم سبب کاهش e و K_g و در تنش‌های بالا سبب افزایش e و K_g شد. خشک و تر شدن سبب کاهش تیزی ناحیه بحرانی^{۱۵} شد چرا که نیروهای داخلی حاصل از مکش ماتریک بر خلاف نیروهای خارجی در تمامی جهات عمل کرده و سبب ایجاد آرایش تصادفی ذرات می‌شوند بنابراین تغییر رفتار برگشت پذیر به ماندگار روی منحنی تنش-کرنش بسیار تدریجی بود. خشک و تر شدن قبل از شروع تراکم در روش SCCT سبب ایجاد حالت پیش-فشرده‌گی (حدود ۸۰ کیلوپاسگال) در خاک شماره ۲ در ۲/۹ pF شد که به راحتی قابل تشخیص بود (شکل ۱). مصدقی و همکاران (۹) نیز نشان دادند که خشک شدن خاک شماره ۲ پس از آبیاری سطحی ایجاد تنش‌های پیش-تراکمی قابل مقایسه با تنش‌های خارجی می‌کند.

از شاخص‌های پیوستگی خلل و فرج^{۱۶} یعنی نسبت K_g به تخلخل تهویه‌ای (AFP) یا مجذور آن (AFP^۲) (۵) جهت بررسی تاثیر عوامل فوق استفاده شد. این شاخص‌ها به خوبی نشان می‌دهند که فرایندهای خشک و تر شدن جهت به تعادل رسیدن ویژگی‌های خاک صرفنظر از عوامل خارجی عمل می‌کنند. بدین معنی که نیروهای داخلی بسته به خواص ذاتی خاک سعی می‌کنند که خاک را به حالت تعادل برسانند. این حالت تعادل در خاک‌های با ساختمان ناپایدار (خاک‌های ۲ و ۵) در درجه تراکمی بالاتر اتفاق می‌افتد.



شکل ۱- اثر فرایند خشک و تر شدن قبل از فرایند تراکم بر منحنی مشخصه خاک شماره ۲ در ۲/۹ pF تحت بارگذاری سیکلی، توسط روش SCCT.

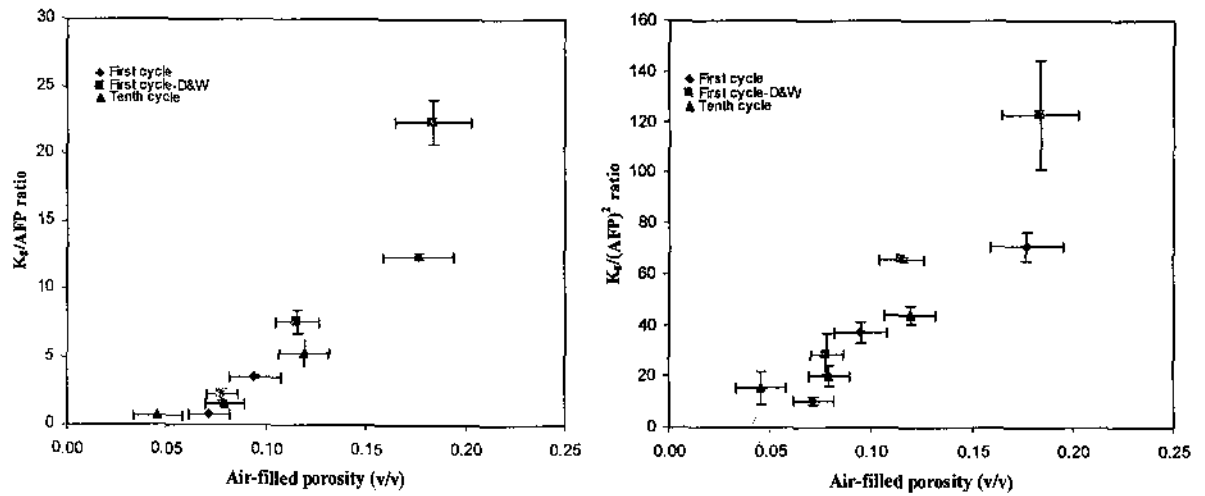
نتیجه‌گیری

فرایندهای خشک و تر شدن تاثیر زیادی بر منحنی‌های مشخصه و رفتار تراکمی خاک‌های مورد مطالعه داشتند. از شاخص‌های پیوستگی خلل و فرج می‌توان در ارزیابی اثر عوامل مختلف بر ساختمان ریزخاک^{۱۷} استفاده نمود. خشک و تر شدن سبب ایجاد حالت پیش-فشرده‌گی در خاک با آرایش سست ذرات شد که قابل مقایسه با اثر تنش‌های خارجی می‌باشد. لذا نیروهای داخلی و فرو پاشی ذرات خاک در تماس با آب در افزایش سفتی خاک‌های مورد بررسی نقش اساسی دارند. بنابراین، مدیریت فرایندهای خشک و تر شدن (آبیاری) اثر شایانی بر ویژگی‌های مطلوب فیزیکی و مکانیکی خاک‌های با ساختمان ناپایدار دارد.

^{۱۵}The sharpness of critical region

^{۱۶}Pore-continuity indices

^{۱۷}Soil microstructure



شکل ۲- اثر توام فرایندهای خشک و تر شدن (D&W) و بارگذاری سیکلی بر شاخص‌های پیوستگی خنل و فرج K_f/APP و $K_f/(APP)^2$ تحت بارگذاری توسط روش CCT در pF ۲/۹ و در خاک شماره ۲.

منابع مورد استفاده

- 1- Alexandrou, A., Earl, R., 1998. The relationship among the pre-compaction stress, volumetric water content and initial dry bulk density of soil. *J. Agric. Eng. Res.* 71, 75-80.
- 2- *Proc. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng.* 22-26 June, Cambridge, MA, Vol. 3, pp. 60-64.
- 3- Dawidowski, J.B., Koolen, A.J. 1994. Computerized determination of the preconsolidation stress in compaction testing of field core samples. *Soil Till. Res.* 31: 277-282.
- 4- Dexter, A.R., 1988. *Advances in characterization of soil structure.* *Soil Till. Res.* 11, 199-238.
- 5- Groenevelt, P.H., B.D. Kay, and C.D. Grant, 1984. Physical assessment of a soil with respect to rooting potential. *Geoderma.* 34, 101-104.
- 6-
- 7- Koolen, A.J., Kuipers, H., 1983. *Agricultural Soil Mechanics.* Advanced Series in Agricultural Sciences. 13, Springer-Verlag, Berlin, 235pp.
- 8- Lerink, P., 1990. The kneading distortion apparatus. *Soil Till. Res.* 17, 173-179.
- 9- Mosaddeghi, M.R., Hemmat, A., Hajabbasi, M.A., and Alexandrou, A., 2003. Pre-compression stress and its relation with the physical and mechanical properties of a structurally unstable soil in central Iran. *Soil Till. Res.* 70, 5364.