

برآورد پارامترهای مقاومت برشی یک خاک ریز بافت تحت چرخه های تر و خشک شدن

مریم صالحیان دستجردی و عباس همت

به ترتیب دانش‌آموخته سابق کارشناسی ارشد و استاد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

صنعتی اصفهان، اصفهان 83111-84156

saleh273@yahoo.com; ahemmat@cc.iut.ac.ir

چکیده

خاک‌های زراعی که به روش غرقابی آبیاری می‌شوند پس از کاشت مرتباً تحت تأثیر فرآیندهای تر و خشک شدن قرار می‌گیرند. اثر این فرآیند بر پارامترهای مقاومت برشی یک خاک رس سیلتی تهیه شده از مزارع شرکت توسعه نیشکر اهواز، مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش، برای بررسی تأثیر 5 سیکل تر و خشک کردن (بین رطوبت گنجایش زراعی (FC) و $0/7FC$ معادل رطوبت خاک در موقع آبیاری مجدد)، نمونه‌های خاک هوا-خشک با چگالی ظاهری خشک معادل با $1/2$ گرم بر سانتی‌متر مکعب تهیه و سپس، آب مورد نیاز برای رسیدن خاک به رطوبت گنجایش زراعی روی سطح نمونه ریخته شد. در آخرین سیکل، خشک کردن نمونه‌ها تا زمانی که رطوبت نمونه‌های خاک به $0/9$ حد خمیری (PL) یا $1/1PL$ برسد، ادامه یافت. سپس نمونه‌های دست‌نخورده برای آزمایش‌های برش از خاک‌هایی با و بدون فرآیند تر و خشک شدن، تهیه و پارامترهای مقاومت برشی با آزمایش برش مستقیم اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که در رطوبت $0/9PL$ ، چسبندگی خاک در دو حالت بدون و با تر و خشک شدن به ترتیب $1/8$ و $13/2$ kPa بود، در صورتی که در رطوبت $1/1PL$ به ترتیب $20/0$ و $27/0$ kPa بدست آمد. در رطوبت $0/9PL$ زاویه اصطکاک داخلی در دو حالت بدون و با تر و خشک شدن به ترتیب $38/2$ و $35/0$ درجه بدست آمد و در $1/1PL$ ، به ترتیب $22/1$ و $14/6$ درجه بود. بنابراین، این فرآیند رفتار خاک را از یک خاک اصطکاکی پس از عملیات تهیه بستر، به یک خاک چسبنده-اصطکاکی در زمان برداشت تبدیل می‌کند.

کلمات کلیدی: آبیاری غرقابی، تر و خشک شدن خاک، مقاومت برشی

مقدمه

مهمترین نیروهای تغییر دهنده ساختمان خاک، نیروهای خارجی یا مکانیکی و نیروهای درونی یا موئینه ای (Internal or capillary forces) ناشی از فرآیندهای تر و خشک شدن (Wetting-drying cycles) هستند. در بیشتر پژوهش‌های انجام گرفته پیرامون سخت‌شدگی خاک، مسئله خشک شدن مورد مطالعه قرار گرفته و به فروریختگی ساختمان خاک در اثر مرطوب شدن توجه کمی شده است. باتلاقی شدن خاک در اثر فرآیندهای مرطوب کردن، شبیه به وارد شدن بار به سطح خاک بوده و تراکم خاک را در پی خواهد داشت. فرآیند تراکم در اثر تر و خشک شدن شامل دو قسمت است: 1) از هم پاشیدگی ساختمان خاک در مرحله تر شدن که ممکن است توسط ضربات قطره‌های باران و یا آبیاری سریع خاک صورت گیرد و 2) سخت شدن بدون بازسازی ساختمان در مرحله خشک شدن که می‌تواند به دلیل افزایش مقاومت در اثر تنش موثر حاصل از پتانسیل ماتریک طی خشک شدن خاک و یا رسوب نمک‌های محلول در

نواحلی تماس خاکدانه‌ها و ذرات خاک باشد. [Telfair et al. 1957] و [Richardson, 1976] یافتند که تر و خشک شدن خاک‌های بدون ساختمان، تشکیل خاکدانه‌ها را در پی دارد و برای بازسازی خاک هایی با ساختمان آسیب دیده مفید است. [Materechera et al. 1992] تشکیل خاکدانه‌ها را در دو نوع خاک مختلف با مقدار رس زیاد و کم مورد بررسی قرار داد و یافتند که چرخه های تر و خشک شدن سبب افزایش تخلخل خاک دانه‌های کوچک و مقاومت خاکدانه‌ها می‌شود. اعمال تنش (تر و خشک شدن و نیروهای خارجی) به خاک باعث ایجاد تغییر شکل‌هایی در آن می‌شود، این تغییر شکل‌ها عبارتند از: 1) تغییر شکل کشسان دانه‌های خاک، 2) تغییر حجم خاک در اثر خروج آب و هوا از منافذ خاک و 3) لغزش دانه‌های خاک بر روی یکدیگر که می‌تواند منجر به لغزش حجمی از خاک نسبت به توده خاک اطراف آن شود. برای اکثر خاک‌ها در میزان تنش‌های متداول تغییر شکل نوع اول یعنی تغییر شکل کشسان، جزئی است. تغییر شکل نوع دوم به تراکم معروف است. تغییر شکل نوع سوم گسیختگی برشی نامیده می‌شود و زمانی اتفاق می‌افتد که تنش‌های تشکیل شده در توده خاک از بیشینه تحمل برشی خاک (مقاومت برشی) تجاوز نماید [وفائیان، 1376]. بنابراین می‌توان گفت گسیختگی خاک تحت اثر نیروهای خارجی عمدتاً از نوع گسیختگی برشی است و بیشینه تنش برشی در زمان گسیختگی، مقاومت برشی نامیده می‌شود. هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی آبیاری‌های مکرر کف جویچه‌ها در مزارع نیشکر با فرآیند تر و خشک کردن خاک، بر مقاومت برشی یک خاک رس سیلتی بود.

مواد و روشها

پژوهش حاضر بر روی یک خاک رس سیلتی تهیه شده از خاک مزارع طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی (اهواز)، صورت گرفت. بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد [Sheldrick and Wang, 1993]. حدود پایداری خاک، شامل حد روانی (LL)، حد خمیری (PL) و حد انقباض (SL) به روش استاندارد BS اندازه‌گرفته شد [McBride, 1993]. تفاوت LL و SL به عنوان شاخص خمیری (PI) و تفاوت PL و SL به عنوان شاخص تردی (FI) محاسبه گردید. درصد آهک و موادآلی به ترتیب به روش‌های خنثی کردن با اسید و سوزاندن تر اندازه‌گیری شد [Walkley and Black, 1934]. مقدار گنجایش زراعی (FC) به روش صفحات فشاری در فشار 0/3 بار و با سه تکرار تعیین شد. برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول 1 نشان داده شده است.

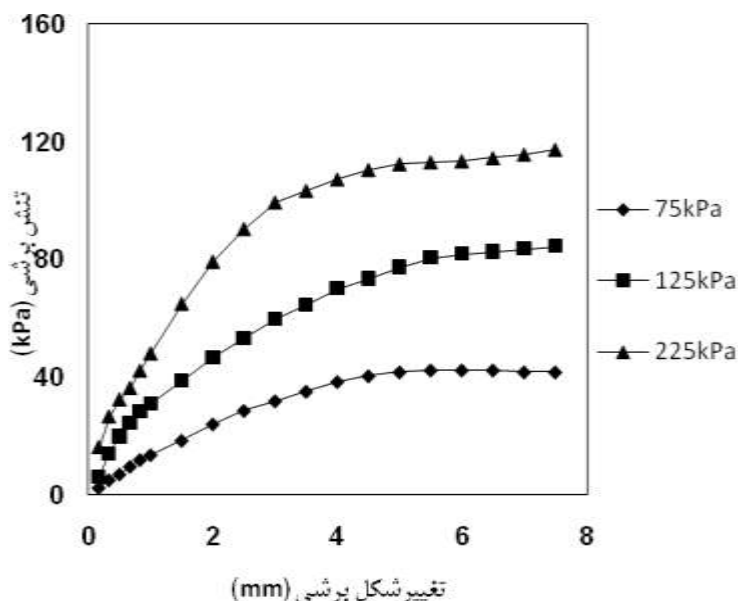
جدول 1- برخی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک مورد مطالعه¹

بافت	شن	سیلت	رس	LL	PL	SL	PI	FI	FC	CaCO ₃	OM
رس سیلتی	12	46	42	34/2	19/0	6/7	15/2	12/3	25	63	0/42

¹ LL, PL, SL, PI, FI, FC و OM به ترتیب بیان‌کننده حد روانی، حد خمیری، حد انقباض، شاخص خمیری، شاخص تردی، گنجایش زراعی و موادآلی است که به صورت درصد بیان شده است.

برای انجام آزمایش‌ها در ابتدا خاک سطحی هوا خشک از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد. سپس با توجه به اینکه آزمایش‌ها به دو دسته بدون تر و خشک شدن و با تر و خشک شدن تقسیم می‌شد، نمونه‌ها به دو روش زیر آماده گردید. در نوع اول که بدون تر و خشک شدن بود، با توجه به حجم ظرف آزمایش (قطر 25/5 و ارتفاع 8 سانتی‌متر) و

چگالی ظاهری خشک معادل با $1/2$ گرم بر سانتی متر مکعب و نیز دو سطح رطوبتی $0/9PL$ و $1/1PL$ ، 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 30-45 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 24 ساعت باقی ماند تا رطوبت به طور یکنواخت در آن توزیع گردد. بعد از گذشت 24 ساعت، خاک مرطوب به صورت لایه لایه (سه لایه $2/66$ سانتی متر) در ظرف ریخته شد تا فشردگی یکنواختی با عمق نمونه به دست آید. در هر لایه با ضربه های آهسته چکش چوبی خاک فشرده گردید تا چگالی ظاهری مرطوب خاک به مقدار مورد نظر رسید. در نوع دوم که نمونه ها با تر و خشک شدن همراه بود مانند قبل با توجه به حجم ظرف (قطر $25/5$ و ارتفاع 8 سانتی متر) و چگالی ظاهری خشک معادل با $1/2$ گرم بر سانتی متر 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 8 سانتی متر رسید تا چگالی مورد نظر ایجاد گردد. سپس سطح خاک صاف گردید و با یک روکش پلاستیکی که سوراخ هایی روی آن قرار داشت پوشانده شد. با توجه به اینکه مقدار EC آب مورد استفاده برای آبیاری نقش مهمی در میزان سخت شدگی خاک دارد و همچنین اینکه آب مورد استفاده برای آبیاری مزارع نیشکر دارای EC متغیر و بین $1-2/5$ dS/m است (مذاکره شفاهی با آقای مهندس سراغی کارشناس آزمایشگاه خاک طرح توسعه نیشکر اهواز)، آبی با EC $1/65$ dS/m تهیه گردید. 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 40 درجه سانتیگراد (میانگین دمای فصل رشد نیشکر) منتقل گردید. بعد از گذشت 24 ساعت نمونه ها مرتباً وزن گردید تا زمانیکه رطوبت آن به مقدار $0/7FC$ (مقدار رطوبت خاک در موقع آبیاری) رسید. در این موقع رطوبت نمونه ها با استفاده از آب فشان به مقدار FC رسانده شد و ظرف مجدداً درون آون قرار گرفت. مراحل تر و خشک شدن هر ظرف خاک تا 5 سیکل و در مدت تقریباً 20 روز انجام گرفت. در آخرین سیکل، خشک کردن نمونه ها تا زمانی که رطوبت نمونه های خاک به $0/9$ حد خمیری (PL) یا $1/1PL$ برسد، ادامه یافت. سپس نمونه ها با پارچه مرطوب و روکش پلاستیکی پوشانده شد و به مدت 24 ساعت باقی ماند تا رطوبت به طور یکنواخت در آن توزیع گردد. پس از آن دیواره قالب های مخصوص دستگاه برش (به ترتیب با قطر و ارتفاع 63 و 20 میلی متر) با یک لایه نازک گریس پوشانده شد تا هنگام خروج نمونه و انتقال آن به جعبه برش راحت خارج شده و آسیب نبیند. در جعبه برش، دیسک های شیارداری در بالا و پایین نم و نه قرار داده شد به گونه ای که شیارهای آن ها عمود بر امتداد نیروی برشی باشد. علت استفاده از دیسک های شیاردار ثابت نگه داشتن نمونه در جای خود می باشد. جعبه برش از دو نیم جعبه تشکیل شده که در طول آزمایش نیم جعبه بالایی ثابت بوده و نیم جعبه پایینی دارای حرکت افقی می باشد که همین امر باعث ایجاد گسیختگی در نمونه می گردد. بارهای عمودی $15/5$ ، $31/5$ و 63 کیلوگرم (برابر با سه سطح تنش 75، 125 و 225 کیلو پاسکال) انتخاب گردید. جابجایی سنج های افقی و عمودی در هر 30 ثانیه قرائت گردید و قرائت ها تا 9 دقیقه ادامه یافت. نرخ بارگذاری $1/06$ میلی متر بر دقیقه بود. با توجه به ضریب واسنجی نیروسنج مقدار نیرو و از تقسیم نیرو بر سطح مقطع نمونه تنش برشی محاسبه شد. سپس نمودار تنش-تغییر مکان برشی (افقی) در هر آزمایش رسم گردید (شکل 1). به دلیل اینکه نوع گسیختگی در آزمایش ها از نوع فشاری بود، برای تعیین تنش برشی بیشینه، مقدار تنش در زمان ثابت شدن مقدار تنش ها به عنوان تنش در نقطه گسیختگی در نظر گرفته شد. با رسم تنش برشی در برابر تنش عمودی (75، 125 و 225 کیلو پاسکال) و برازش یک خط به آن نقاط، پارامترهای چسبندگی (c) و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) تعیین گردید.



شکل 1- نمونه‌ای از نمودار تنش برشی-تغییر شکل برشی در آزمایش برش مستقیم

نتایج و بحث

همانگونه که در جدول 2 مشاهده می‌شود در رطوبت 0/9PL، چسبندگی خاک در دو حالت بدون و با تر و خشک شدن به ترتیب 1/8 و 13/2kPa بود (افزایش 7/3 برابری)، در صورتی که در رطوبت 1/1PL به ترتیب 20/0 و 27/0kPa بدست آمد (افزایش 1/35 برابری). در رطوبت 0/9PL، زاویه اصطکاک داخلی در دو حالت بدون و با تر و خشک شدن به ترتیب 38/2 و 35/0 درجه بدست آمد (کاهش 8/4 درصد) و در 1/1PL، به ترتیب 22/1 و 14/6 درجه (کاهش 33/9 درصد) بود.

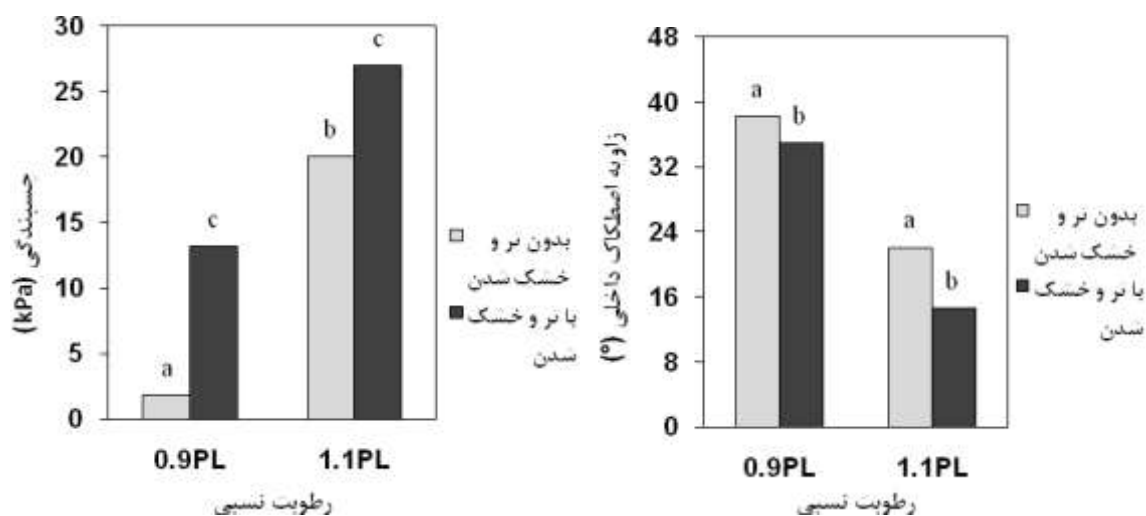
جدول 2- میانگین پارامترهای مقاومت برشی

پارامترهای مقاومت برشی		رطوبت	تر و خشک شدن	بافت
زاویه اصطکاک داخلی (°)	چسبندگی (kPa)			
38/2 ^d ±0/14	1/8 ^a ±0/15*	0/9PL	بدون تر و خشک	رس سیلتی
35/0 ^c ±0/48	13/2 ^b ±0/24	0/9PL	با تر و خشک	رس سیلتی
22/1 ^b ±0/75	20/0 ^c ±0/19	1/1PL	بدون تر و خشک	رس سیلتی
14/6 ^a ±0/13	27/0 ^d ±0/56	1/1PL	با تر و خشک	رس سیلتی

*ارقام پس از ± انحراف معیار می‌باشد.

در هر ستون میانگین‌های هر عامل آزمایشی که در یک حرف مشترک‌اند، از نظر آماری تفاوت معنی داری در سطح احتمال 5٪ براساس آزمون LSD ندارند.

همانگونه که در شکل 2 نشان داده شده است، فرآیندهای تر و خشک شدن سبب افزایش چسبندگی در دو سطح رطوبتی 0/9PL و 1/1PL شد که این افزایش در سطح احتمال 5٪ معنی‌دار بود. علت این افزایش، تحرک ذرات رس در مرحله تر شدن و رسوب آن در بین ذرات درشت و بر روی باندهای آبی است. همچنین این فوآیندها کاهش زاویه اصطکاک داخلی را در هر دو سطح رطوبتی در پی داشت که این کاهش نیز در سطح احتمال 5٪ معنی‌دار بود، علت این کاهش احتمالاً رسوب ذرات رس در بین ذرات درشت و کاهش مقدار فرورفتگی آن‌ها می‌باشد. بنابراین فرآیندهای تر و خشک شدن (در اثر آبیاری‌های مکرر در کف جوی‌های آبیاری)، رفتار خاک را از یک خاک اصطکاکی (Cohesive-frictional soil) در زمان برداشت (با تر و خشک شدن) تبدیل می‌کند.



شکل 2- اثر متقابل رطوبت و تر و خشک شدن بر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک رس سیلتی.

منابع

- 1- مصدقی، م. ر. (1382). تنش پیش-تراکمی و رابطه آن با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی برخی از خاک‌های اصفهان. پایان‌نامه (دکتری). دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی.
- 2- وفاپن، م. (1376). خواص مهندسی خاک. نشر ارکان اصفهان. 238ص.
- 3- Bresson, L. M. and Moran, C. J. (2004). Micromorphological study of slumping in a hardsetting seedbed under various wetting condition. *Geoderma* 118: 277-288.
- 4- Materechera, S.A., Dexter, A.R., Alston, A.M. (1992). Formation of aggregates by plant roots in homogenised soils. *Plant Soil* 142(1), 69-79.

- 5- McBride RA. (1993). Soil consistency limits .In: Soil Sampling and Methods of Analysis (CarterMRed).519-527.LewisPublications/CRCPress,BocaRaton,FL.
- 6- Rajaram, G. and Erbach,D.C. (1998). Drying stress effect on mechanical behavior of a clay-loam soil. Soil & Tillage Research 49:147-158.
- 7- Sheldrick,B. H. and Wang. (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.
- 8- Telfair, D., Gardner, M.R., Miars, D. (1957). The restoration of a structurally degenerated soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21(1), 131-134.
- 9- 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.