بررسی تاثیر عمق و رطوبت بر مقاومت برشی خاک در مزرعه و آزمایشگاه

مهتاب رضائی*، رضا طباطبائی کلور

۱و۲- به ترتیب کارشناسی ارشد و استادیار گروه ماشینهای کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

m.rezai106@yahoo.com

چکیده

مقاومت برشی خاک از خصوصیاتی است که بر روی مقدار ظرفیت کشش وسائل زمین‌گیرایی و همچنین نیروی مقاوم در برابر عبور ابزار خاک‌ورز در خاک اثرگذار است بنابراین دانستن تنش برشی بیشینه خاک حائز اهمیت می‌باشد. تنش برشی بیشینه به عنوان معیاری از مقاومت برشی خاک پیشنهاد شده است. در این پژوهش، تنش برشی خاک با استفاده از آزمایش های برش مستقیم و فشاری تک محوری در آزمایشگاه و برش پره در مزرعه تعیین گردید. آزمایش ها بر روی نمونه های دست نخورده از یک خاک رسی–سیلتی در سه سطح رطوبت و سه عمق انجام گرفت. برای بررسی اثر رطوبت و عمق بر تنش برشی برآورد شده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و با سه تکرار استفاده شد. نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش عمق و رطوبت تنش برشی و پارامترهای مقاومت برشی به ترتیب افزایش و کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان داد که با آزمایش برش مستقیم، مقاومت برشی براورد شده به مقادیر تعیین شده در مزرعه توسط دستگاه برش پره نزدیک است. نتایج این تحقیق نشان داد که تنش برشی بستگی به روش آزمایش داشته، آزمایش برش مستقیم شرایط برش خاک را تحت عبور ادوات خاک ورزی نسبت به دو روش برش پره و فشاری تک محوری بهتر نشان می‌دهد و روشی ساده و قابل تکرار برای برآورد مقاومت برشی خاک بوده و در مدیریت پایدار خاک (از جنبه های ترددپذیری خاک و خاک ورزی) قابل استفاده می باشد.

کلمات کلیدی: آزمایش برش مستقیم، آزمایش تک محوری، آزمایش برش پره، مقاومت برشی.

مقدمه

در کشاورزی مکانیزه، وسیله زمین گیرایی تراکتورها همزمان تنش‌های مماسی و قائم به خاک اعمال می‌کنند. ضمناً در خاک‌ورزی که برای آماده کردن بستر بذر و ریشه در خاک انجام می‌گیرد، در اثر اعمال نیرو خاک گسیخته می‌شود. بنابراین سیستم‌های نیرویی اعمال شده توسط وسایل زمین‌گیرایی و ابزار خاک‌ورز می‌توانند باعث تسلیم خاک از طریق برش، فشار، کشش و یا جریان پلاستیک شوند. مقدار تنش برشی که موجب شکست یا جریان پلاستیک در خاک می‌شود مقیاسی از مقاومت برشی خاک می‌باشد

(Fountain and Payne, 1951). مقاومت برشی خاک متشکل از دو بخش می‌باشد: ۱- چسبندگی[۱] بین دانه‌های خاک(C) که مستقل از نیروی خارجی می‌باشد و ۲- مقاومت اصطکاکی که متناسب با تنش عمودی اعمال شده بر سطح لغزش بوده و با زاویه اصطکاک بین دانه‌های خاک موسوم به زاویه اصطکاک داخلی[۲] (φ) ارزیابی می‌گردد. مقاومت برشی خاک به صورت مجموع مقاومت حاصل از چسبندگی و مقاومت حاصل از اصطکاک بیان می‌گردد (Keller et al., 2004). نظریه گسیختگی توسط کولمب[۳] پیشنهاد گردید. وی فرض نمود هنگامی‌که تنش برشی به مقدار بحرانی می‌رسد گسیختگی اتفاق می‌افتد. با رسم مقادیر مختلف تنش برشی در لحظه شکست برحسب تنش عمودی بر روی سطح گسیختگی رابطه زیر را پیشنهاد نمود (Zhang and Zhao, 2001):

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi \qquad (۱)$$

پارامترهای مقاومت برشی به دلیل همبستگی آن‌ها با ساختار خاک مهم‌ترین خواص مهندسی خاک به شمار می‌روند. تغییر در این پارامترها می‌تواند بر مقاومت خاک‌ها در برابر عبور ماشین‌های کشاورزی تأثیر بگذارد (Rahimi and Illkhani, 1996). بنابراین مقاومت برشی خاک از خصوصیاتی است که بر روی مقدار ظرفیت کشش وسائل زمین‌گیرایی و همچنین نیروی مقاوم در برابر عبور ابزار خاک‌ورز در خاک اثرگذار است (Fountain and Payne, 1951). تعیین مقاومت خاک به دو روش آزمایشگاهی و در محل انجام می گیرد. اندازه گیری مقاومت خاک در محل روشی آسان و بدون اتلاف وقت می باشد (Bachman et al., 2006). در روش های آزمایشگاهی نمونه های خاک از محل مورد نظر استخراج شده و توسط آزمایش هایی مثل برش مستقیم، برش سه محوری، فشاری تک محوری و غیره مورد آزمون قرار می گیرد. که دو روش برش مستقیم و سه محوری متداول‌تر می‌باشند در این روش چون نمونه ها باز سازی می شوند معمولا مقادیر به دست آمده با خطا همراه است (Dawidowski et al., 2001).

آزمایش برش مستقیم یک آزمایش برشی می‌باشد یعنی گسیختگی برشی بوسیله اعمال یک نیروی برشی در امتداد یک سطح گسیختگی افقی از قبل تعیین شده، ایجاد می‌گردد (Vafaeiyan. 1998). بررسی رفتار مکانیکی خاک‌های کشاورزی تحت بار برشی در آزمایشگاه می‌تواند فرآیند تغیر شکل و سست شدن خاک را توسط عمل برش ادوات خاک‌ورزی توضیح دهد (Rahimi and Ilkhani, 1996). آزمایش برش مستقیم شرایط برش خاک را تحت عبور ادوات خاک ورزی نسبت به روش های دیگر بهتر نشان میدهد. این آزمایش، آزمایش ساده‌ای است که بوسیله آن مقاومت برشی خاک مستقیماً تعیین می‌گردد (Mouazen et al., 2002). آزمایش برش مستقیم را می توان بر روی هر دو نوع خاک چسبنده و غیر چسبنده انجام داد. از مزایای این روش آن است که پارامترهای حاصل از آن برای موارد کاربردی از دقت کافی برخوردار بوده و در کارهای حجیم می‌توان با تلفیق نتایج

[۱]- Cohesion
[۲]- Internal friction angle
[۳]- Coulomb

آن با آزمایش سه محوری هزینه آزمایش‌ها را به مقدار زیادی کاهش داد. مقاومت مکانیکی خاک با تغییر میزان رطوبت خاک به طور سریع تغییر می کند. بنابراین برای اندازه گیری مقاومت خاک در محل و بدون اتلاف وقت و جلوگیری از خطا هنگام نمونه گیری از خاک در آزمایشگاه، روش‌هایی برای اندازه‌گیری مقاومت برشی در مزرعه ابداع شده‌اند که عبارتند از: دستگاه بوامتر[1]، دستگاه برش پیچشی[2] و دستگاه پره برشی[3]. دستگاه پره برشی کاربرد بیشتری دارد. پس از فرو بردن این دستگاه در خاک و گرداندن آن، خاک حول سطح خارجی پره ها (استوانه) بریده می‌شود. در یک تحقیق مقاومت خاک سطحی برای خاک ها از لومی شنی تا لومی رسی با نفوذسنج و جعبه برش مستقیم با چگالی ظاهری و مقدار رطوبت های متفاوت اندازه گرفته شد. نتایج آزمایشات نشان داد که تأثیر چگالی ظاهری روی مقاومت خاک در بیشتر نمونه ها قابل توجه بود (Zhang and Zhao, 2001). رابطه مقاومت برشی و رطوبت خاک به ساختار رس بستگی دارد. در حقیقت، ویژگی های مقاومت مکانیکی خاک به طور گسترده به چگالی ظاهری و میزان رطوبت بستگی دارد (Mouazen, 2002). مقادیر مقاومت مکانیکی تعیین شده با دو دستگاه برش پره و نفوذسنج با تغییر عمق تغییر می کند (Bachman et al., 2006). گزارش شده است که مقاومت برشی خاک در رطوبت زیر حد پلاستیک با افزایش چگالی ظاهری افزایش می یابد و با افزایش رطوبت کاهش می یابد. این افزایش در مقاومت مکانیکی و سختی خاک با افزایش چگالی ظاهری منجر به افزایش نیروی کشش و انرژی مورد نیاز ادوات خاک ورزی می شود (Zha et al., 2009). هدف از این پژوهش اندازه گیری مقاومت برشی سطحی خاک لومی رسی در محل و در آزمایشگاه و بررسی اثر رطوبت، عمق و نوع آزمایش بر روی مقدار مقاومت برشی و پارامترهای مقاومت خاک (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) می باشد.

مواد و روش ها

ویژگی های خاک مورد مطالعه

آزمایش های مزرعه ای در زمینی به مساحت ۲۰۰۰ متر مربع واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. محصول قبلی کاشته شده برنج بود و زمین مورد نظر به سه کرت ۵۰۰ متر مربعی تقسیم شد و داده برداری در سه تکرار صورت گرفت. نمونه برداری توسط استوانه های مخصوص جهت تعیین بافت، چگالی ظاهری و رطوبت خاک در سه عمق ۱۰،۲۰و۳۰ سانتی متری صورت گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد. بافت خاک مورد آزمایش نیز از نوع سیلتی رسی با ترکیب ۷/۲٪ شن، ۴۰٪ سیلت و ۵۰٪ شن بود.

تعیین رطوبت و چگالی ظاهری خاک

نمونه های دست نخورده از سه عمق ۱۰،۲۰ و ۳۰ سانتی متری تهیه گردید. نمونه ها به آزمایشگاه منتقل و وزن شدند و سپس داخل آون در دمای ۱۱۰ درجه به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند. بعد از خشک شدن نمونه ها، مجددا وزن شدند. وزن آنها با ترازوی با دقت ۰/۰۱ اندازه گیری شد. از تقسیم اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از خشک شدن بر وزن نمونه قبل از خشک شدن چگالی ظاهری بر مبنای تر بدست آمد(Klute, 1986).

تعیین مقاومت برشی خاک با روش برش مستقیم

در این آزمایش، نمونه های دست نخورده مکعبی شکل خاک با ضلع ۵۰ و به ضخامت ۲۰ میلی‌متر از سه عمق ۱۰،۲۰ و ۳۰ سانتی متری خاک با دستگاه نمونه گیر جعبه برش تهیه گردید و درون جعبه برش مستقیم قرار داده شد. جعبه برش به صورت دو نیم جعبه می‌باشد، که در حین آزمایش نیمه پایینی ثابت و نیمه بالایی تحت اعمال تغییر شکل افقی حرکت نموده و باعث گسیختگی نمونه می‌گردد. برای کاهش اصطکاک بین جعبه برشی و نمونه، جدار داخلی جعبه برشی با یک لایه نازک روغن پوشانده شد. نمونه در دستگاه تحت چهار بار قائم ۱۰، ۱۵، ۲۰،۲۵ کیلو پاسکال قرار گرفت و تنش برشی آن تا حدی افزایش یافت که نمونه گسیخته شود. در هر دقیقه جابجایی سنج‌های افقی و عمودی و نیروسنج قرائت گردید تا جایی که جابجایی سنج تغییر مکان افقی به طور معکوس شروع به چرخش کرد و خاک گسیخته شد. با تقسیم نیرو بر سطح مقطع نمونه، تنش برشی به دست آمد. برای به دست آوردن پارامترهای مقاومت خاک نمودار تنش برشی- تغییر مکان برشی (افقی) ترسیم گردید.

اندازه گیری مقاومت برشی خاک با برش پره

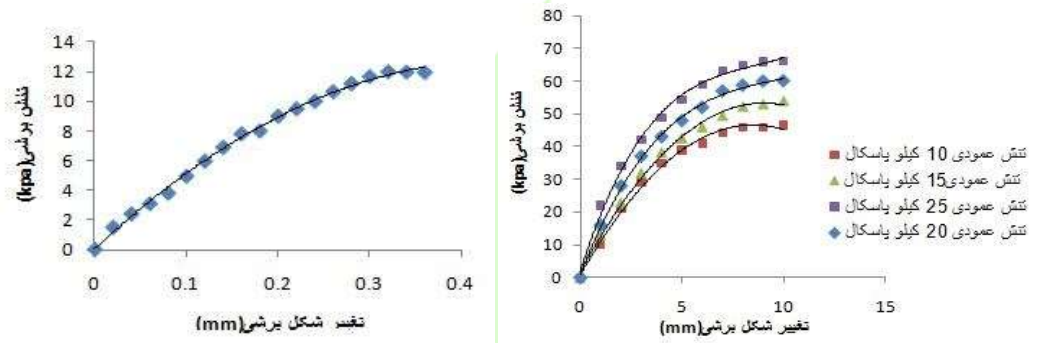
جهت اندازه گیری مقاومت برشی خاک در عمق ۱۰،۲۰و۳۰ سانتی متری در مزرعه، از یک دستگاه برش پره دستی مدل H 605 (ساخت شرکت EL انگلیس) استفاده شد. این دستگاه دارای سه پره قابل تعویض با میله های افزایش طول تا ۵۰۰ میلی متراست. این سه پره مقدارهای متفاوتی از مقاومت برشی را بر حسب کیلو پاسکال اندازه گیری می کنند. مقدار ماکزیمم توسط درجه چرخاندن اندازه گیری می شود که قبل از هر اندازه گیری جدید به مقدار صفر باز گردانده می شود.

آزمایش تک محوری

نمونه مورد آزمایش نمونه استوانه‌ای به ترتیب با قطر و ارتفاع ۳۸ و ۷۶ میلی‌متر بود، که بین دو فک بارگذاری دستگاه به طوری قرار داده می‌شد که محور طولی آن بر مرکز صفحه‌ها منطبق گردد. سپس نمونه خاک تحت نیروی فشاری قرار گرفت تا خاک گسیخته گردید. در این آزمایش میزان کاهش طول نمونه و نیرو اندازه‌گیری شد.

در این مطالعه از سه سطح رطوبت (۳۵،۳۱و۳۷ درصد) و سه عمق (۱۰،۲۰و۳۰ سانتی متر) برای انجام آزمایش ها استفاده گردید. آزمایش ها به صورت فاکتوریل (۳×۳) در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام گردید. برای تجزیه و تحلیل آماری داده ها از نرم افزار آماری Spss و برای مقایسه میانگین های اثرات متقابل از نرم افزار آماریMSTATC استفاده گردید. میانگین ها در سطح احتمال ۵ در صد و با استفاده از آزمون LCD با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث



(۱)

شکل۱- نمونه ای از چگونگی تعیین تنش برشی با روش برش مستقیم (۱) و تک محوری(۲) (رطوبت خاک ۳۱٪، چگالی ظاهری $gr.cm^{-3}$ ۱/۱۹ در عمق cm ۰-۱۰)

نمونه ای از چگونگی تعیین تنش برشی با روش برش مستقیم و تک محوری از روی منحنی تنش کرنش در شکل ۱ نشان داده شده است. جابجایی برشی خاک که از شروع برش تا نقطه ماکزیمم برش رخ می دهد به نوع و شرایط فیزیکی خاک بستگی دارد. همان طور که در شکل مشاهده می شود به دلیل متراکم بودن خاک، نمودار دارای نقطه گسیختگی مشخص می باشد و پس از آن مقدار تنش برشی کاهش می یابد. اگر نمونه‌ای از خاک تحت جابجایی برشی قرار گیرد، نقش جابجایی در اندازه گیری‌های مقاومت برشی شدیداً به حالت تراکم خاک وابسته است (Komandi,1992; Larson et al,. 1980).

در جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس اثر رطوبت و عمق بر تنش برشی برآورد شده با سه روش برش مستقیم، برش پره و تک محوری نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که اثر رطوبت خاک و عمق و اثر متقابل آنها بر تنش برشی تعیین شده با سه روش مذکور در سطح احتمال ۱ در صد معنی دار می باشد. در شکل‌های۳، ۴و۵ اثر متقابل این دو عامل بر تنش برشی برآورد شده با این سه روش نشان داده شده است.

جدول۱- اثر رطوبت و عمق بر میانگین تنش برشی و پارامتر های مقاومت برشی در آزمایش های برش مستقیم، برش پره و تک محوری.

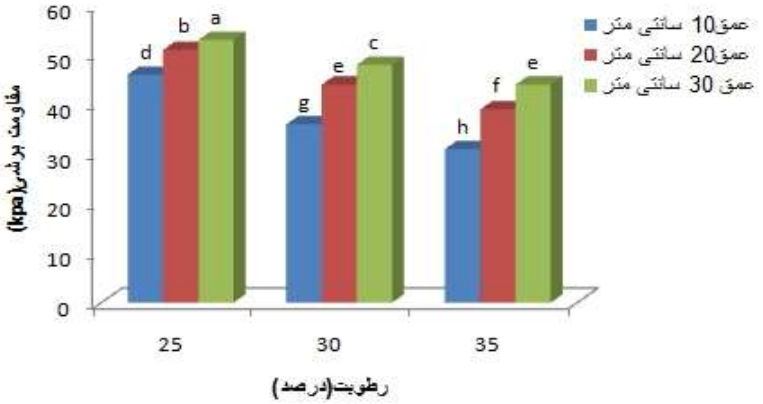
منابع تغییر	درجه آزادی	آزمایش مقاومت برشی خاک(kpa)			چسبندگی داخلی(kpa)	زاویه اصطکاک داخلی(^{0})
		برش مستقیم	تک محوری	برش پره		
عمق(cm)	۲	867**	253.06**	620.76**	306.32**	0.424**
رطوبت (%db)	۲	651**	90.26**	779.16**	377.96**	0.076**
عمق×رطوبت	۴	19.5**	8.68**	20.76**	12.36**	0.006**
خطای آزمایش	۷۲	1.5	1.5	1.5	0.008	0.001

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال5% و 1%

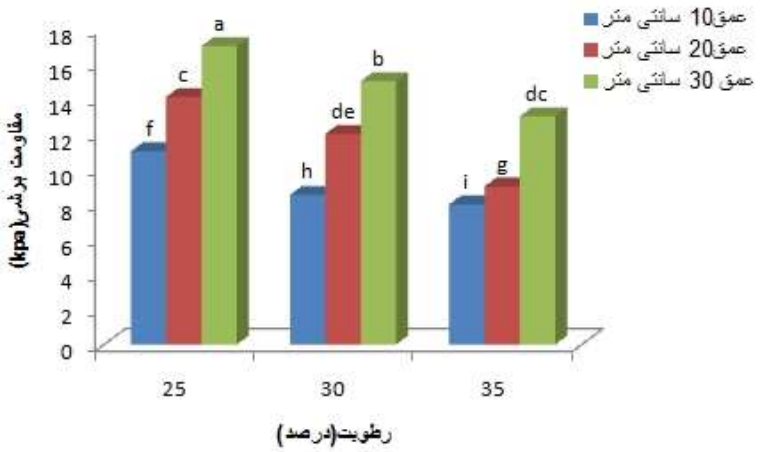
ns عدم اختلاف معنی‌دار.

* an ** significant at 5% and 1% probability level, respectively.

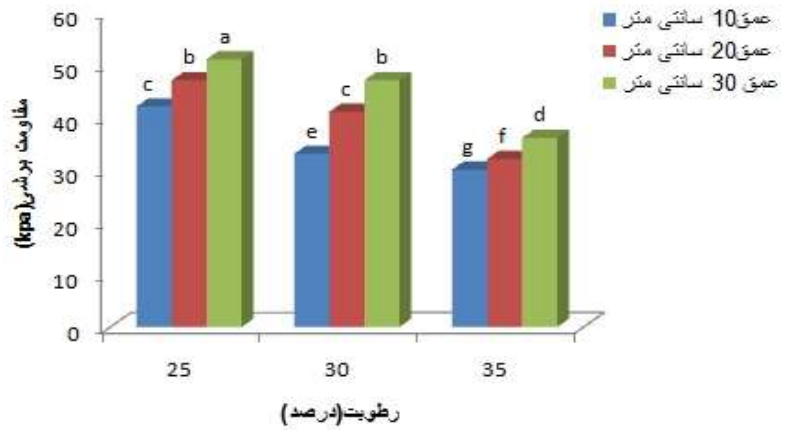
ns: no - significant difference



شکل ۳- اثر متقابل عمق و رطوبت بر مقاومت برشی برآورد شده با روش برش پره



شکل ۴- اثر متقابل عمق و رطوبت بر مقاومت برشی برآورد شده با روش تک محوری



شکل۵- اثر متقابل عمق و رطوبت بر مقاومت برشی برآورد شده با روش برش مستقیم

با افزایش رطوبت مقاومت برشی در هر یک از عمق ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. ضمن این‌که در هر سطح رطوبتی تفاوت معنی‌داری بین عمق ها دیده شد و با افزایش عمق مقدار مقاومت برشی خاک افزایش یافت . بنابراین کاهش تقریباً ثابتی با افزایش رطوبت در مقاومت برشی در تمامی عمق ها مشاهده گردید (شکلهای ۳،۴و۵). بیشترین کاهش مقاومت با افزایش رطوبت در عمق ۱۰ سانتی متر وکمترین کاهش مقاومت با افزایش رطوبت درعمق ۳۰ سانتی متر مشاهده گردید. این روند تغییرات در هر سه روش آزمایش مشاهده شد. مقایسه آماری اثر رطوبت خاک و عمق بر تنش برشی در آزمایش های برش مستقیم ، برش پره و فشاری تک محوری در جدول ۲ نشان داده شده است. در تمام عمق ها و رطوبت های مختلف مقاومت برشی اندازه گیری شده دارای اختلاف معنی داری است. بیشترین مقاومت برشی، در عمق ۳۰ و رطوبت ۳۱ در صد و کمترین مقدار در عمق ۱۰ و رطوبت ۳۷ در صد می باشد. در هر عمق با افزایش رطوبت مقاومت برشی خاک کاهش یافت. نیروهای چسبندگی سطحی میان ذرات آب و خاک ضعیف تر از نیروهای چسبندگی بین ذرات خاک می باشد بنابر این با افزایش رطوبت مقاومت برشی خاک کاهش می یابد. همچنین آماس ذرات رس با افزایش رطوبت، نیرو های چسبندگی داخلی میان ذرات را کاهش میدهد که این امر موجب کاهش مقاومت برشی خاک می شود (Shainberg et al., 1994). (Zhao et al.,2009) علت کاهش مقاومت برشی خاک را با افزایش رطوبت، کاهش مقاومت اصطکاکی بین ذرات خاک دانستند. درهر سه رطوبت ، با افزایش عمق در آزمایشات، تنش برشی به طور معنی‌داری افزایش یافته است. دلیل این امر افزایش چگالی ظاهری وافزایش نیروهای کشش سطحی در یک توده خاک با افزایش عمق می باشد که در نتیجه باعث افزایش مقاومت خاک می شود(Bachman et al., 2006). افزایش چگالی خاک نشان دهنده تراکم زیاد ذرات خاک می باشد و در نتیجه نیروی بیشتری برای از هم گسیختگی آن نیاز می باشد(Mouazen et al., 2002). در لایه های سطحی خاک به دلیل منافذ تشکیل شده توسط ریشه گیاه و ترک های ایجاد شده، تراکم خاک کمتر است. این نتایج با نتایج ارائه شده توسط (Bachman et al., 2006) همخوانی دارد که بیان می‌دارد که تنش برشی معمولاً با افزایش چگالی ظاهری و عمق افزایش می یابد.

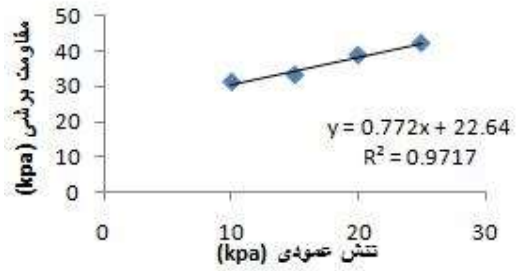
جدول۲– مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش

عمق (cm)	رطوبت (%db)	مقاومت برشی خاک(kpa)			زاویه اصطکاک داخلی(^{0})	چسبندگی داخلی (kpa)
		برش مستقیم	تک محوری	برش پره		
0-10	31	42^{cd}	^{d}۱۱	46^{d}	0.71^{f}	22.64^{e}
0-10	35	33^{f}	8.52^{e}	36^{c}	0.68^{g}	15.6^{b}
0-10	37	32^{f}	8.13^{e}	35^{g}	0.66^{h}	14.74^{i}
۱0-20	۳۱	47^{b}	14.1^{bc}	51^{b}	0.97^{b}	23.52^{d}
۱0-20	۳۵	41^{d}	13^{c}	44^{e}	0.88^{c}	19.1^{g}
۱0-20	۳۷	36^{e}	9^{e}	39^{f}	0.83^{e}	15.22^{h}
۲0-30	۳۱	51^{a}	17^{a}	53^{a}	0.98^{a}	27.1^{a}
۲0-30	۳۵	47^{b}	15^{b}	48^{c}	0.88^{c}	24.1^{b}
۲0-30	۳۷	34^{c}	14^{bc}	44^{e}	0.86^{d}	21.19^{f}

میانگین ها در هر ستون که دارای حروف لاتین مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

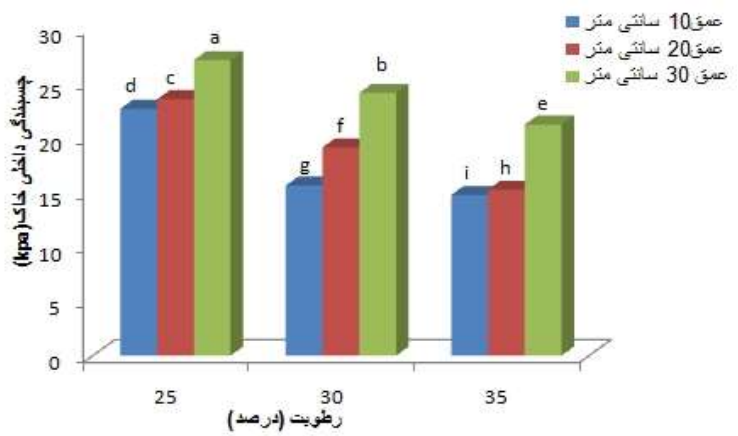
چسبندگی درآزمایش برش مستقیم

در شکل ۶ نمونه‌ای از نمودار تنش‌های بیشینه برشی متناظر با سطوح بار قائم برای بدست آوردن معادله موهر– کولمب ارائه شده است.



شکل ۶ – منحنی موهر– کولمب.

با توجه به جدول تجریه واریانس اثر عمق و رطوبت و اثر متقابل انها در سطح احتمال ۱ درصد بر نیروی چسبندگی داخلی خاک معنی‌دار گردید. با توجه به(شکل ۷) اثر متقابل با افزایش عمق نیروی چسبندگی برای هر یک از رطوبت ها به طور معنی‌دار افزایش یافت و با افزایش رطوبت در هر عمق کاهش یافت. بیشترین مقدار درعمق ۳۰ و رطوبت۳۱ در صد و کمترین مقدار در عمق ۱۰ و رطوبت ۳۷ در صد مشاهده گردید. این امر ممکن است به علت افزایش تراکم خاک با افزایش عمق باشد. این نتایج در تطابق با نتایج گزارش شده که بیان می کند چسبندگی داخلی با افزایش عمق افزایش می یابد هم خوانی دارد (Bachman et al., 2006). علت افزایش مقاومت چسبندگی خاک با کاهش رطوبت، ایجاد پیوند قویتر بین ذرات معدنی خاک می باشد (Mouazen, 2002). همچنین ذرات رس خاک با افزایش رطوبت راحت تر متورم شده و متفرق می شوند، در نتیجه نیروهای چسبندگی داخلی بین ذرات کاهش می یابد. همان‌طور که در فصل دوم اشاره گردید مقاومت چسبندگی خاک به مقاومت مولکولی و مقدار آب بین دانه‌ها بستگی دارد. با بررسی نتایج آزمایش‌های برش مستقیم مشاهده می‌گردد که با افزایش رطوبت، مقدار چسبندگی افزایش یافته است. میزان چسبندگی در خاک های لومی با افزایش میزان رطوبت و تخلخل خاک کاهش می یابد .(Komandi, 1992)

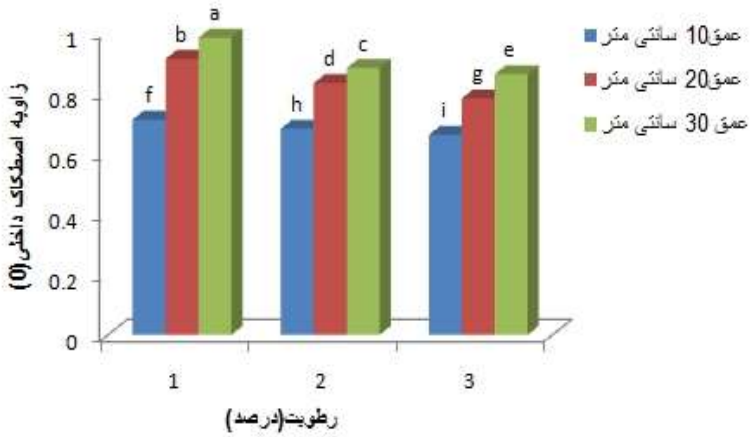


شکل ۷– اثر متقابل عمق و رطوبت بر چسبندگی برآورد شده با روش برش مستقیم

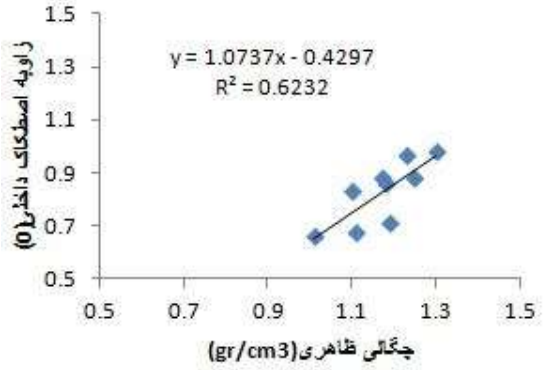
اصطکاک داخلی در آزمایش برش مستقیم

با توجه به جدول تجریه واریانس اثرهای عمق و رطوبت و اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۱درصد بر زاویه اصطکاک داخلی خاک معنی‌دار بودند. در شکل ۸ اثر متقابل عمق و رطوبت بر زاویه اصطکاک داخلی نشان داده شده است. بیشترین وکمترین زاویه اصطکاک داخلی به ترتیب درعمق ۳۰ سانتی متر و رطوبت ۳۱ در صد و عمق ۱۰ و رطوبت ۳۷ درصد مشاهده گردید. با افزایش رطوبت زاویه اصطکاک داخلی شروع به کاهش کرد. با افزایش رطوبت آب بین ذرات مانند روان‌کننده عمل کرده، از تماس ذرات با

یکدیگر جلو گیری کرده و اصطکاک کاهش می‌یابد(Zhao et al., 2009). زاویه اصطکاک داخلی در هر سه سطح رطوبتی با افزایش عمق به‌طور خطی و معنی‌دار افزایش یافت. از دیگر عوامل مؤثر بر زاویه اصطکاک خاک درجه تو هم رفتگی خاک می باشد که این عامل با شاخص چگالی ظاهری مشخص می‌گردد. هرچه عمق خاک افزایش یابد، چگالی خاک بیشترشده و درجه توهم رفتگی و به دنبال آن زاویه اصطکاک داخلی ذرات خاک افزایش می‌یابد (Mouazen, 2002). هر چه درجه تراکم بیشتر باشد درگیری و تماس بین دانه‌ها بیشتر شده زاویه اصطکاک داخلی افزایش خواهد یافت. با توجه به شکل۹ رابطه خطی مثبتی بین چگالی و اصطکاک با ضریب تبیین ۰/۶۲ در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت.



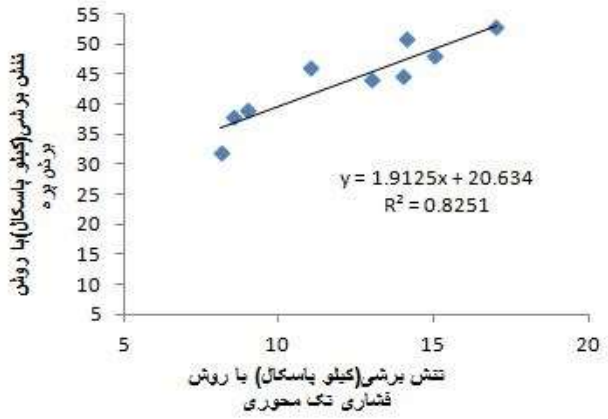
شکل ۸– اثر متقابل عمق و رطوبت بر اصطکاک داخلی برآورد شده با روش برش مستقیم



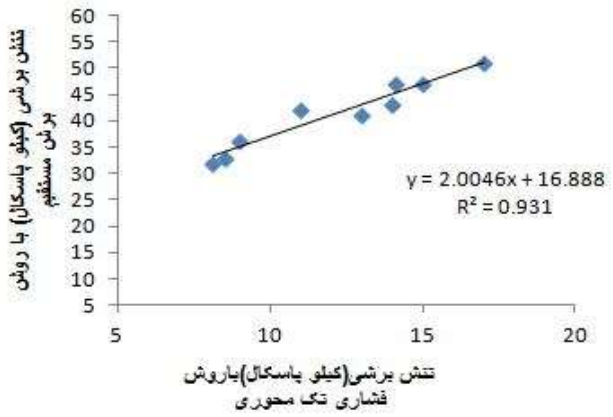
شکل ۹– تغییرات زاویه اصطکاک داخلی با چگالی ظاهری

نوع آزمایش

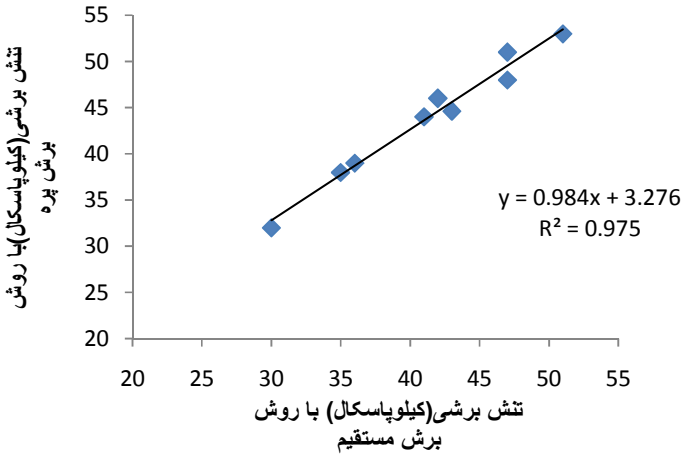
نتایج آزمایش ها نشان داد که مقادیر تنش برشی تعیین شده با سه روش برش مستقیم، فشاری تک محوری و برش پره در شرایط یکسان آزمایش با یکدیگر متفاوت بود. بنابر این مشخص شد که مقاومت برشی خاک لومی رسی برآورد شده با تغییر روش آزمایش تغییر می کند. در شکل ۷، ۸ و۹ رابطه بین تنش برشی تعیین شده به روش مستقیم، پره و تک محوری برای تمام رطوبت ها و عمق ها نشان داده شده است. معادله برازش شده به داده‌های حاصل از آزمایش‌های برش مستقیم و برش پره و تک محوری نشان داد که رابطه مناسب و معنی‌دار ($P <$٪۱) و تقریبا یک به یک بین مقادیر تنش برشی در آزمایش‌های برش مختلف وجود دارد، مقایسه تنش برشی تعیین شده با دو روش برش مستقیم و برش پره نشان می‌دهد که مقادیر به دست آمده از این دو روش تقریباً با هم برابرند اما مقادیر آزمایش تک محوری خیلی پایین تر از دو روش یاد شده می باشد. دلیل این پدیده دست خوردگی نمونه های خاک در آزمایش تک محوری می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر به دست آمده نسبت به برش مستقیم و برش پره پراکندگی زیادی دارند که احتمالاً به دلیل بافت سنگین خاک، میزان رطوبت بالا و یا شرایط انجام آزمایش می‌باشد. بیان کردند که به علت متورم شدن نمونه های خاک در طی نمونه گیری در مزرعه، چگالی خاک به دست آمده در آزمایشگاه پایین تر از مقدار واقعی(خاک دست نخورده) است در نتیجه مقاومت برشی متناظر با آن در آزمایشگاه نیز پایین تر از مقدار واقعی تخمین زده می شود (Zhao et al., 2009) . آزمایش برش مستقیم شرایط برش خاک را تحت عبور ادوات خاک ورزی نسبت به دو روش قبل بهتر نشان میدهد (Mouazen et al., 2002). مکانیزم برش آزمایش جعبه برش مستقیم به شرایط برش خاک تحت عبور ادوات خاک ورزی نسبت به دو روش دیگر نزدیک تر است. به علت لغزش خاک در یک مسیر شعاعی در زیر دستگاه برش پره و شرایط رطوبتی نامناسب نمونه در آزمایش تک محوری نتایج ممکن است با خطا همراه باشد (Komandi, 1992).



شکل ۱۰– رابطه بین تنش برشی به دست آمده از آزمایش‌های برش پره و فشاری تک محوری.



شکل۱۱– رابطه بین تنش برشی به دست آمده از آزمایش‌های برش مستقیم و فشاری تک محوری.



شکل۱۲– رابطه بین تنش برشی به دست آمده از آزمایش‌های برش مستقیم و برش پره

نتیجه گیری

آزمایش ها نشان می دهد که مقدار تنش برشی یک مقدار مطلق نبوده و به عواملی همچون نوع آزمایش ، عمق و رطوبت خاک بستگی دارد. میزان رطوبت و عمق بر روی پارامترهای مقاومت برشی خاک اثر گذاشت. هر سه روش اندازه گیری مقاومت برشی خاک اثر رطوبت و عمق را بر روی مقاومت برشی نشان داد. در هر سه روش آزمایش با افزایش عمق و رطوبت خاک مقاومت برشی خاک به ترتیب افزایش و کاهش یافت. در آزمایش های فشاری تک محوری مقاومت برشی برآورد شده به علت دست خوردگی نمونه خاک، کمتر از برش پره بود. مقادیر به دست آمده ازروش برش مستقیم و برش پره در مزرعه تقریباً با هم برابرند بنابر این آزمایش برش مستقیم شرایط برش خاک را تحت عبور ادوات خاک ورزی نسبت به روش فشاری تک محوری در

آزمایشگاه بهتر نشان میدهد. به نظر می‌رسد انجام یک کار عملی در مزرعه بر نمونه‌های دست نخورده و مقایسه نتایج در شرایط رطوبتی یکسان با نمونه‌های انتقال داده شده درآزمایشگاه جهت تفسیر بهتر نتایج آزمایشگاهی امری ضروری باشد.

منابع

1. Bachman , J., K, Contreras., K.H, Hartage. and R, MacDonald. 2006. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. Soil and Tillage Research. 87: 112-118.
2. Fountain, E. R. and P. C. J., Payne. 1951. The Shear Strength of Top Soils.
3. Ghezzehei, T. A. and D. Or. 2000. Dynamics of soil aggregate coalescence governed by capillary and rheological processes. Water Resour. Research. 36: 367-379.
4. Keller, T., J. Arvidsson., J., B. Dawidowski and A.J. Koolen. 2004. Soil precompression stress II. A comparison of different compaction tests and stres displacement behaviour of the soil during wheeling. Soil and Tillage Research. 77 (1): 97-108.
5. Klute, A. 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil Science Society. Amer. J. Inc. PP: 1188.
6. Komandi , k., 1992. On the mechanicl properties of soil as they affect traction. 29: 373-380.
7. Larson, W.E., S.C. Gupta. and R.A. Usech. 1980. compression of agricultural soils from eight soil order Soil Science Society. Amer. J. 44 (1): 450-457.
8. Mouazen, A. M., H., Ramon. And., j. De Baerdemaeker. 2002. Effects of Bulk Density and Moisture Content on Selected Mechanical Properties of Sandy Loam Soil. Biosystems Engineering. 83(2): 217–224.
9. Mouazen, A. M. 2002. Mechanical behaviour of the upper layers of a sandy loam soil under shear loading .J. Terramechanics. 39: 115–126.
10. Rahimi, H. and R. Ilkhani. 1996. Effect of fertilizer on physical and mechanical properties of soils. Proceeding of the international agricultural engineering conference, Pune, India. PP. 493 - 477.
11. Reddy, K. UIC. Experiment 13 direct shear tests. Engineering Properties of Soils Based on Laboratory Testing.

12. Shainberg, I., laflen, j.m., Bradford, j.m., Norton, l.d., 1994. Hydraulic flow and water quality characteristics in rill erosion. Soil Science Society. Amer. J. 58, 1007-1012.
13. Vafaeian, M. 1998. Soil engineering properties. Arkan Publication, Isfahan, Iran.
14. Zhang, B., Q.G., Zhao, R., Horn. and., T. Baumgartl. 2001. Shear strength of surface Soil as affected by soil bulk density and soil water content. Soil and Tillage Research 59: 97-106.
15. Zhao, X., G., Zhou. and., Q., Tian. 2009. Study on the shear strength of deep reconstituted soils. MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY. 19: 0405-0408.

Abstract

Investigating the effect of depth and moisture content on the soil shear strength in-situ and laboratory

Mahtab rezaei, reza tabatabaeekoloor

Abstract

Soil shear strength is the properties of soil that effects the traction capacity of off-road devices and resistance force against tillage tools. Thus, knowing the maximum shear stress in the soil is important. Maximum shear stress has been proposed as a measure of the soil shear strength. In this study, the soil shear stress was determined using direct shear test and uniaxial compression test in the laboratory and van shear in the field. Tests on undisturbed samples were done on a clayey- silt at thre levels of moisture contents and depth . The effects of moisture content and depth were estimated on the shear stress using factorial experiments in completely randomized design with three replications. The shear stress values determined by three methods significantly were affected by depth and soil moisture conditions. Results showed that increasing in depth and moisture content increased shear stress and decreased shear strength parameters. Also, the results showed that the estimated values of shear strength by direct shear test is close the am determined by the van shear in-situ. Shear stress depends on the test methods. Direct shear test showed a better condition than two other methods. Shear test is the easy, cheap and reproducible method to estimate the shear strength of soil a it can be used in sustainable management of soil (soil traffic ability aspects and tillage).

Keywords: direct shear test, uniaxial compression test, van shear test, shear strength