



## تأثیر افزودن دراز مدت پسماند گیاهی جو بر مقاومت برشی یک خاک لوم رسی

بهناز آذری مبارکه<sup>۱</sup> و دکتر عباس همت<sup>۲</sup>

۱ و ۲ - به ترتیب دانش آموخته و استاد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

behnazazari131@gmail.com

## چکیده

خاک تحت تأثیر نیروهای بیرونی عمدتاً در اثر تنش‌های برشی گسیخته می‌شود. در این پژوهش نمونه‌های دست‌خورده از خاک سطحی یک طرح پژوهشی درازمدت مدیریت پسماند گیاهی تحت تناوب جو-ذرت برداشت شد. پارامترهای مقاومت برشی (چسبندگی؛  $C$  و زاویه اصطکاک داخلی؛  $\phi$ ) نمونه‌های تهیه‌شده از ۴ روش مدیریت بقایای گیاهی (سوزاندن بقایا،  $Res_B$ ؛ برگرداندن بقایا به خاک،  $Res$ ؛ برگرداندن بقایا همراه با اوره به خاک،  $Res_N$  و برگرداندن بقایا همراه با کود گاوی پوسیده به خاک،  $Res_{FYM}$ ) در دو مقدار رطوبت خاک (برابر ۰/۹ حد خمیری (PL) و (۱/۰۵ PL)) و با دو پیش بار (۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال) با آزمایش برش مستقیم تعیین گردید. در هر دو مقدار رطوبت و پیش بار بیش‌ترین مقدار چسبندگی مربوط به روش مدیریتی  $Res_N$  بود. در پیش‌بار ۱۰۰ کیلوپاسکال و مقدار رطوبت ۱۴/۷ درصد و نیز در پیش‌بار ۲۰۰ کیلوپاسکال و مقدار رطوبت ۱۶/۷ درصد کمترین مقدار چسبندگی مربوط به تیمار  $Res_{FYM}$  بود.

واژه‌های کلیدی: مقاومت برشی، چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و پسماند گیاهی

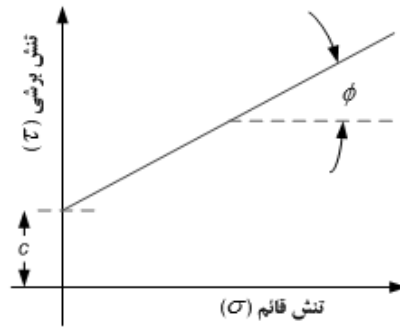
## مقدمه

خاک تحت تأثیر نیروهای بیرونی عمدتاً در اثر تنش‌های برشی گسیخته می‌شود. مقدار تنش برشی بیشینه در لحظه گسیختگی را مقاومت برشی می‌نامند (روشن ضمیر؛ وفائیان، ۱۳۷۶). کولمب (۱۷۷۲) برای نخستین بار رابطه مربوط به مقاومت برشی خاک را به صورت زیر بیان نمود:

$$\tau_{max} = c + \sigma_n \operatorname{tg}\phi \quad (1)$$

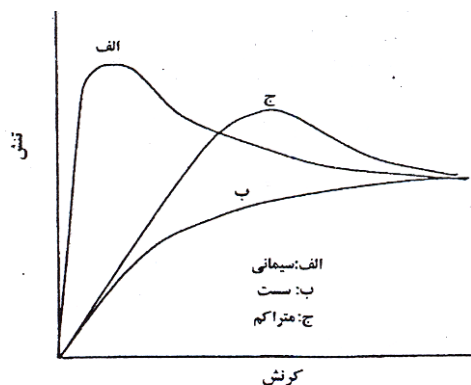
این معادله که یک رابطه تجربی است، به پوش گسیختگی در مختصات  $\tau - \phi$  موسوم است که شیب آن نسبت به امتداد افق ضریب زاویه اصطکاک داخلی (که نشان‌دهنده میزان تأثیر تنش قائم بر مقاومت برشی است) و عرض از مبدا آن

چسبندگی (مقاومت خاک در تنش قائم صفر) می‌باشد (شکل ۱). بنابراین، مقاومت برشی خاک دارای دو پارامتر می‌باشد: چسبندگی<sup>۱</sup> (C) و زاویه اصطکاک داخلی<sup>۲</sup> ( $\phi$ ).



شکل ۱- پوش گسیختگی کولمب.

اگر نمونه‌ای از خاک تحت نیروی برشی قرار گیرد، منحنی تنش برشی- کرنش آن با توجه به شرایط خاک، مشابه یکی از منحنی‌های شکل ۲ خواهد بود. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، خاک سیمانی (منحنی الف) نقطه گسیختگی مشخصی را دارا می‌باشد، در صورتی که یک خاک سست هیچ نقطه مشخص گسیختگی نداشته بلکه با افزایش کرنش (تغییر شکل) تنش برشی تا سطح بیشینه به طور مجانبی (منحنی ب) افزایش می‌یابد. منحنی ج رفتار خاک سفت و متراکم ولی نه سیمانی را نشان می‌دهد. برای منحنی‌های الف و ج، مقدار مقاومت برشی کاملاً معلوم است، ولی برای منحنی ب مشخص نیست. در منحنی ب، به نظر می‌رسد که شکست و در نتیجه تسلیم یا روانی پلاستیکی رخ داده باشد و مقدار مجانب نیروی برشی را می‌توان برابر مقاومت به برش در این وضعیت خاک در نظر گرفت. اگر مقدار تنش عمودی وارد بر خاک تغییر یابد، شکل منحنی‌ها تغییر یافته و در نتیجه مقدار نیروی برشی بیشینه تغییر می‌کند. افزایش نیروی عمودی باعث افزایش نیروی برشی بیشینه می‌گردد. بنابراین مقاومت برشی تابعی از نیروی عمودی وارد بر سطح گسیختگی می‌باشد (بهروزی لار، ۱۳۷۹).



شکل ۲- نمودار تنش برشی - کرنش برای سه وضعیت خاک: الف: سیمانی، ب: سست و ج: متراکم.

فاکتورهای زیادی رفتار مکانیکی خاکی را که تحت بارهای برشی قرار گرفته است تحت تاثیر قرار می‌دهند. برخی از این فاکتورها عبارتند از: بافت و ساختمان خاک، مقدار رطوبت، ماده آلی، چگالی ظاهری خاک، نوع وسیله‌ای که بار برشی را

<sup>1</sup> Cohesion

<sup>2</sup> Internal friction angle

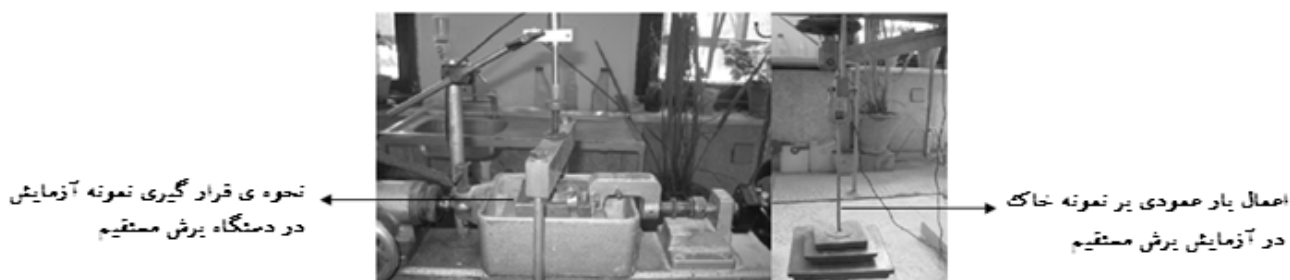
وارد می‌کند و نرخ برش. مقاومت برشی خاک وابستگی زیادی به چگالی و محتوای رطوبت خاک دارد (مودن، ۲۰۰۲؛ اهیو و همکاران، ۱۹۸۵). پژوهشگران زیادی به بررسی ارتباط بین پارامترهای مقاومت برشی و مقدار رطوبت خاک پرداخته‌اند که همگی گزارش کردند که ویژگی‌های مقاومتی خاک در یک دامنه رطوبتی ویژه به حداکثر مقدار خود می‌رسند (کوپیروز و کروسبرگن، ۱۹۶۶؛ لیانگ و همکاران، ۱۹۹۵). کوماندی (۱۹۹۲) گزارش کرد که زاویه اصطکاک داخلی با افزایش مقدار رطوبت کاهش می‌یابد در حالی که وی تغییرات چسبندگی را با تغییر رطوبت غیریکنواخت گزارش نمود. کوپیروز و کروسبرگن (۱۹۶۶) و آیرز (۱۹۸۷) افزایش هر دو پارامتر مقاومت برشی خاک را با افزایش چگالی ظاهری خاک گزارش نمودند. کوماندی (۱۹۹۲) به بررسی اثر نسبت پوکی بر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی روی پنج نمونه خاک پرداخت و دریافت که هر دو پارامتر مقاومت برشی با افزایش نسبت پوکی کاهش می‌یابند. استیب و ترپسترا (۱۹۸۲) بیان نمودند که مواد آلی باعث کاهش چگالی ظاهری و افزایش نگهداشت رطوبت شده که هر دوی این مؤلفه‌ها مقاومت برشی را کاهش می‌دهند (استیب و ترپسترا، ۱۹۸۲). سانگ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش نمودند که با افزایش مواد آلی از ۶/۹۶ به ۱۲/۴۵ درصد زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی هر دو کاهش یافتند (سانگ و همکاران، ۲۰۰۳).

## مواد و روش‌ها

مکان نمونه‌برداری خاک، از طرح پژوهشی افزودن دراز مدت بقایای گیاهی به خاک که در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (لورک نجف آباد) بود. طرح پژوهشی یادشده از سال ۱۳۸۰ تحت تناوب جو-ذرت در مزرعه در حال اجرا است. جو هر سال در نیمه اول خرداد ماه برداشت شده و در تیمارهایی که بقایای آن به خاک برگردانده می‌شد، بقایا بلافاصله پس از برداشت جو توسط رتیواتور خرد شده و بدون مخلوط شدن با خاک با شخم توسط گاواهن برگرداندار تا عمق ۳۰ سانتی‌متر به خاک برگردانده می‌شد. بقایایی که به خاک برگردانده می‌شد شامل کل کاه و کلش ریخته شده از پشت کمباین و ته ساقه‌ها بود. وزن بقایا سالانه به طور میانگین ۳۰۰۰-۳۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. تیمارهای طرح شامل سوزاندن بقایا،  $Res_B$ ؛ برگرداندن بقایا به خاک،  $Res$ ؛ برگرداندن بقایا همراه با ۷۲ اوره به خاک،  $Res_N$  و برگرداندن بقایا همراه با ۶۴۳۰ کیلوگرم در هکتار کود گاوی پوسیده به خاک،  $Res_{FYM}$  بود. در هر روش مدیریتی نمونه برداری در سه تکرار صورت گرفت.

نمونه‌های خاک (از خاک هوا-خشک عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متر) با قطر ۲۵/۵ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر با دو مقدار رطوبت مختلف ۱۴/۷ و ۱۶/۷ درصد ساخته شد و برای شبیه‌سازی دو نوع تردد با تراکتور در مزرعه (در بستر کاملاً تهیه شده با چگالی ظاهری  $1/4 \text{ g cm}^{-3}$ ) دو پیش‌بار ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال انتخاب شده و به نمونه‌ها وارد شد (شکل ۳). پس از اعمال پیش‌بار، نمونه بزرگ خاک نیم‌ساعت تحت بار باقی ماند. سپس با قالب‌های دستگاه برش مستقیم به قطر ۶/۳ و ارتفاع ۲ سانتی‌متر، سه نمونه دست نخورده تهیه از نمونه بزرگ گردید. آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت. دیواره قالب‌ها پیش از نمونه‌گیری با یک لایه نازک گریس پوشانده شد تا هنگام خروج نمونه خاک و انتقال آن به جعبه برش نمونه راحت خارج شده و آسیب نبیند. در قسمت‌های بالا و پایین نمونه در جعبه برش دیسک‌های شیار داری که امتداد شیارهای آن‌ها عمود بر امتداد نیروی برش بود قرار گرفت. شیار دیسک‌ها در درون نمونه نفوذ کرده و نمونه را به صورت ثابت در جای خود نگه می‌دارند. جعبه برش به صورت دو نیم جعبه است که در هنگام آزمایش نیم جعبه بالایی ثابت بوده

و نیمه پایینی دارای حرکت افقی می‌باشد و منجر به ایجاد گسیختگی در نمونه می‌گردد. نرخ بارگذاری برشی  $1/0.6$  میلی‌متر بر دقیقه بود.

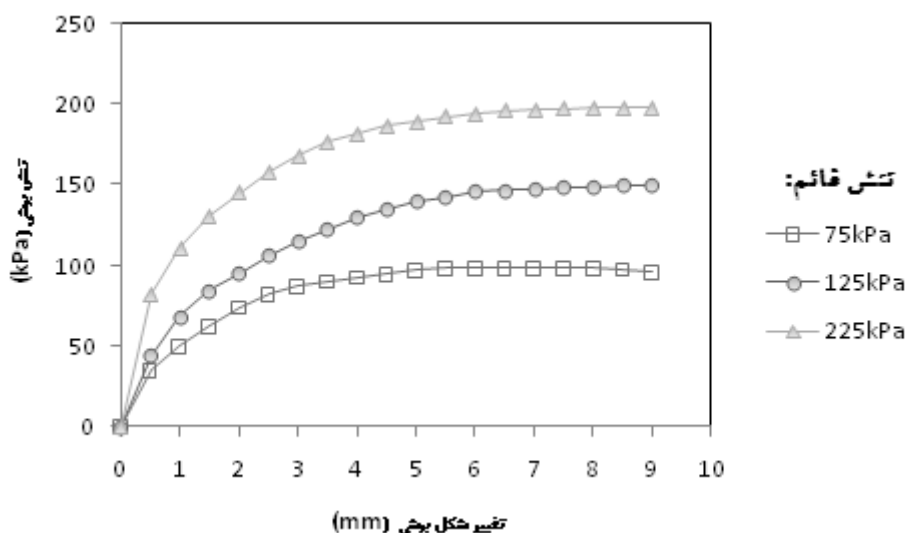


شکل ۳- آزمایش برش مستقیم. مکان قرارگیری نمونه در دستگاه برش مستقیم و روش وارد کردن بار عمودی بر نمونه خاک.

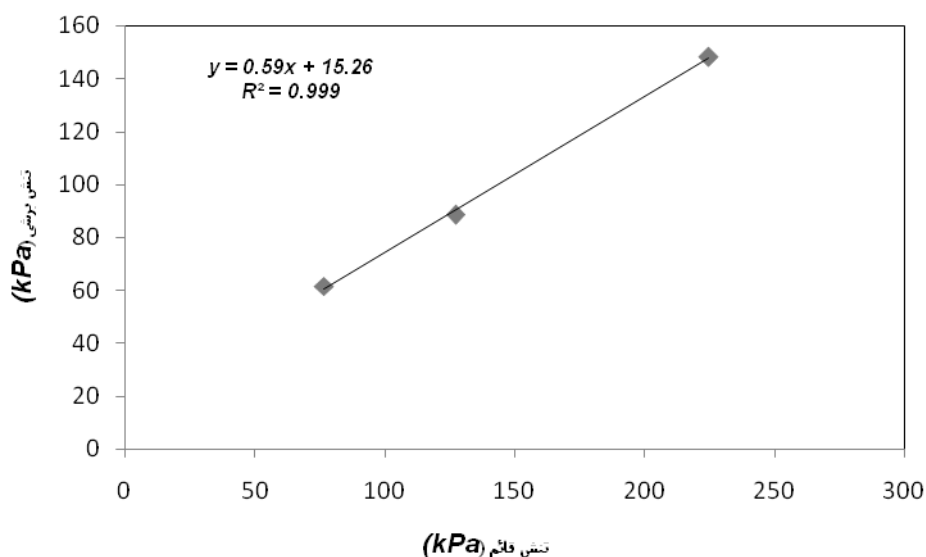
سه بار عمودی ۱۷، ۳۳ و ۶۴ کیلوگرم (برابر ۷۵، ۱۲۵، ۲۲۵ کیلو پاسکال) استفاده شد. در هر ثانیه جابجایی سنج‌های افقی و عمودی قرائت گردید و برای هر آزمایش قرائت‌ها تا ۹ دقیقه ادامه یافت. نمودار تنش-تغییر مکان برشی (افقی) در هر آزمایش رسم شد. چون نوع گسیختگی خاک در آزمایش‌ها از نوع فشاری بود و قله‌ای روی منحنی تنش برشی - جابجایی برشی مشاهده نشد، برای تعیین تنش برشی بیشینه مقدار تنش برشی در جابجایی برشی برابر ۱۰ درصد قطر نمونه به عنوان تنش در نقطه گسیختگی در نظر گرفته شد. سپس با توجه به ۳ بار عمودی، مقادیر تنش برشی در برابر تنش عمودی ترسیم شده و یک خط به این نقاط برازش شد و به این ترتیب پارامترهای چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) تعیین شد.

### نتایج و بحث

نمونه‌ای از نمودار آزمایش برش مستقیم در سه سطح تنش قائم برای یافتن تنش برشی بیشینه در شکل ۴ آورده شده است و نمونه‌ای از نمودار تنش‌های برشی بیشینه در برابر بار قائم برای بدست آوردن معادله موهر کولمب در شکل ۵ ارائه شده است. همانطور که شکل ۴ نشان می‌دهد در کلیه سطوح بار قائم گسیختگی از نوع نرم (فشاری) می‌باشد. اثر مدیریت بقایای گیاهی، رطوبت و بار و اثر متقابل‌های دوگانه مدیریت بقایای گیاهی و رطوبت، و مدیریت بقایای گیاهی و پیش‌بار و نیز اثر متقابل سه گانه مدیریت بقایای گیاهی، رطوبت و پیش‌بار بر چسبندگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، در حالی که اثر متقابل دوگانه رطوبت و پیش‌بار بر این پارامتر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود.



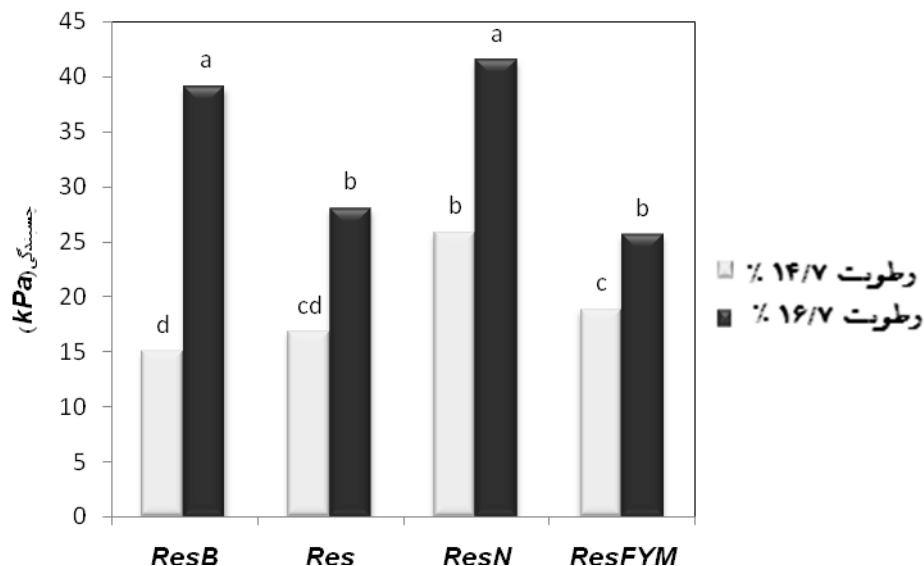
شکل ۴- نمونه ای از نمودار تنش برشی - تغییر شکل برشی در آزمایش برش مستقیم.



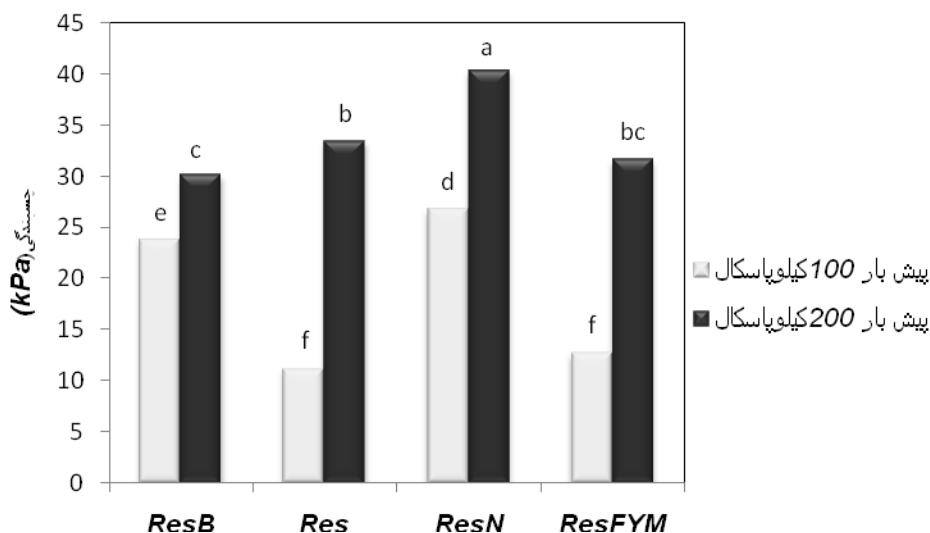
شکل ۵- نمونه ای از نمودار تنش های برشی بیشینه در برابر بار قائم (پوش گسیختگی کلمب).

با افزایش مقدار رطوبت خاک از ۱۴/۷ به ۱۶/۷ درصد، چسبندگی به اندازه ۷۵ درصد افزایش یافت. با دو برابر شدن پیش بار چسبندگی به اندازه ۸۲ درصد افزایش یافت (جدول ۱).

اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی و رطوبت بر چسبندگی در شکل ۶ نشان داده شده است. با افزایش مقدار رطوبت از ۱۴/۷ به ۱۶/۷ درصد در تمام روش های مدیریت بقایا، چسبندگی به طور معنی داری افزایش یافت. اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی و پیش بار نشان داد که با افزایش پیش بار از ۱۰۰ کیلوپاسکال به ۲۰۰ کیلوپاسکال، در همه روش های مدیریت بقایای گیاهی چسبندگی به طور معنی داری افزایش یافت. بیشترین مقدار افزایش که برابر ۲۲/۳ کیلوپاسکال بود در روش برگرداندن بقایا به خاک مشاهده شد و کمترین افزایش برابر ۶/۴ کیلوپاسکال و مربوط به روش سوزاندن بقایا بود (شکل ۷).

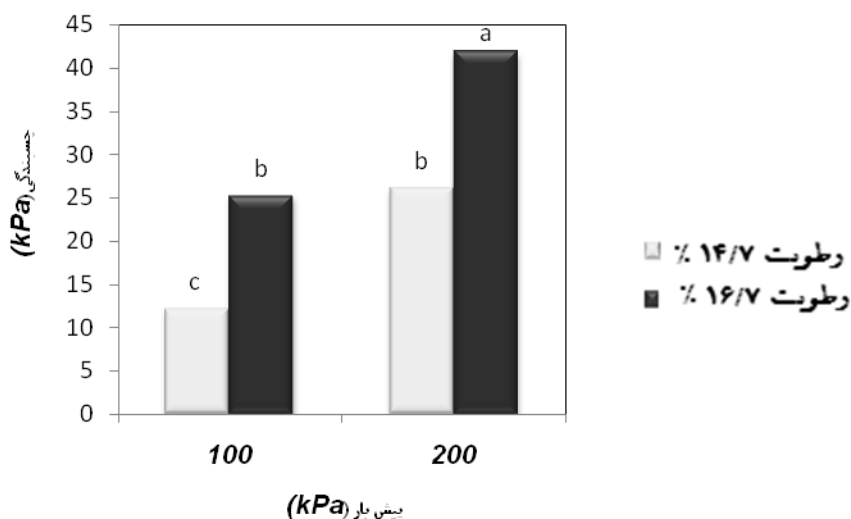


شکل ۶- اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی و مقدار رطوبت خاک بر چسبندگی.



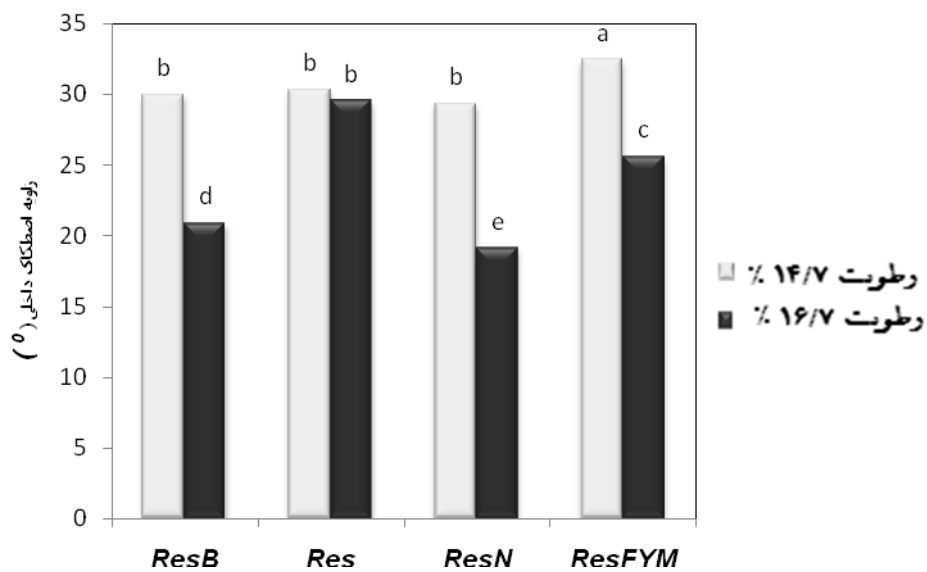
شکل ۷- اثر متقابل مدیریت بقایا و پیش‌بار بر چسبندگی خاک در آزمایش برش مستقیم.

در هر دو سطح پیش‌بار (۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال)، افزایش مقدار رطوبت از ۱۴/۷ به ۱۶/۷ درصد باعث افزایش معنی‌داری در چسبندگی شد. در هر سطح رطوبت، با افزایش پیش‌بار چسبندگی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۸). در هر دو سطح رطوبتی و برای هر دو سطح پیش‌بار، بیشترین مقدار چسبندگی مربوط به تیمار ResN بود. در پیش‌بار ۱۰۰ کیلو پاسکال و مقدار رطوبت ۱۴/۷ درصد و نیز در پیش‌بار ۲۰۰ کیلو پاسکال و مقدار رطوبت ۱۶/۷ درصد کمترین مقدار چسبندگی مربوط به تیمار ResFYM بود (جدول ۲).

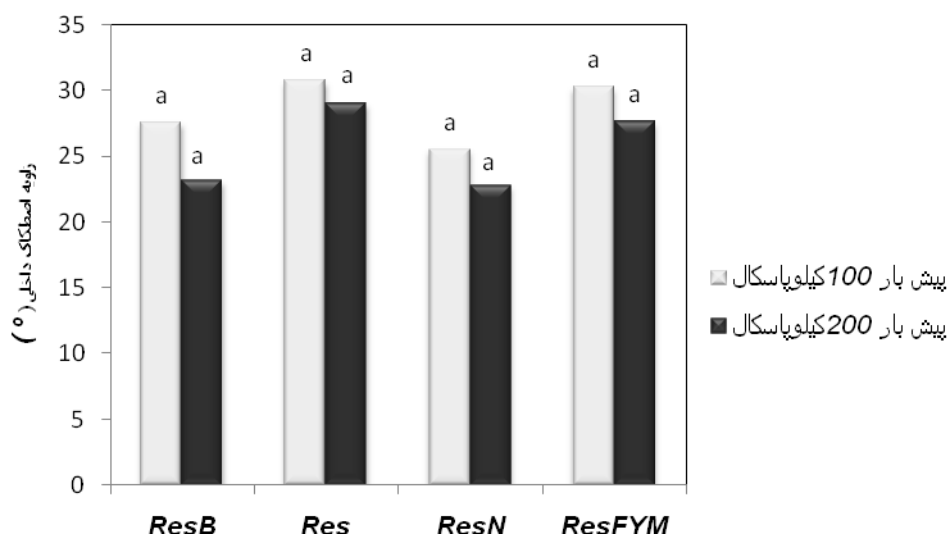


شکل ۸- اثر متقابل پیش بار و مقدار رطوبت خاک بر چسبندگی.

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که مدیریت بقایای گیاهی، رطوبت و پیش بار و نیز اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی و رطوبت در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری بر زاویه اصطکاک داخلی دارند. سایر اثر متقابل‌های دو و سه گانه بر این پارامتر معنی‌دار نبود. با افزایش مقدار رطوبت از ۱۴٪ به ۱۶٪ درصد، زاویه اصطکاک داخلی به اندازه ۲۳ درصد کاهش یافت، ولی با دو برابر شدن پیش بار زاویه اصطکاک داخلی به اندازه ۱۰ درصد کاهش یافت (جدول ۱). اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی و رطوبت در شکل ۹ نشان داده شده است. افزایش رطوبت در تمام روش‌ها باعث کاهش در زاویه اصطکاک داخلی شد که این کاهش در تمام موارد به جز روش برگرداندن بقایا به خاک، معنی‌دار بود. با توجه به شکل ۱۰ که اثر متقابل مدیریت بقایا و پیش بار را نشان می‌دهد، افزایش پیش بار در تمام روش‌های مدیریت بقایا باعث کاهش زاویه اصطکاک داخلی شد که این کاهش معنی‌دار نبود. همچنین اثر متقابل مقدار رطوبت و پیش بار (شکل ۱۱)، نشان داد که در هر دو سطح پیش بار افزایش مقدار رطوبت از ۱۴٪ به ۱۶٪ درصد باعث کاهش زاویه اصطکاک داخلی شد. این کاهش نیز معنی‌دار نبود. در رطوبت ۱۴٪ درصد برای هر دو سطح پیش بار بیشترین مقدار زاویه اصطکاک داخلی مربوط به تیمار Res<sub>FYM</sub> بود. ولی در رطوبت ۱۶٪ بیشترین مقدار مربوط به تیمار Res بود (جدول ۲).

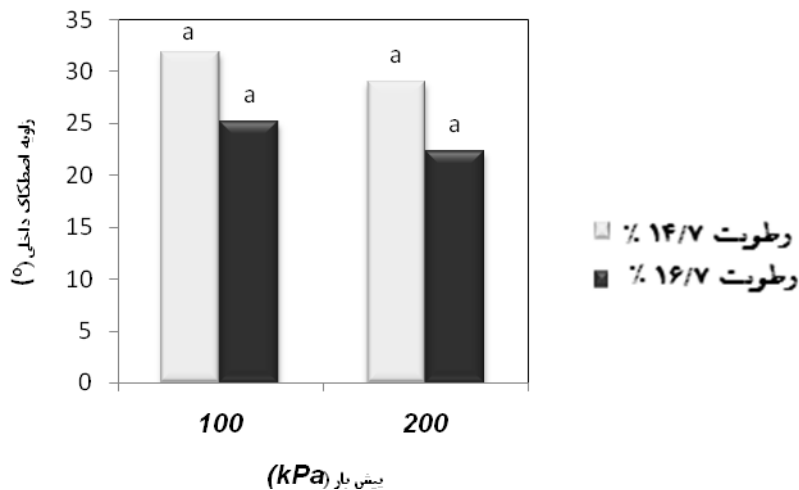


شکل ۹- اثر متقابل مدیریت بقایا و مقدار رطوبت خاک بر زاویه اصطکاک داخلی در آزمایش برش مستقیم.



شکل ۱۰- اثر متقابل مدیریت بقایا و پیش بار بر زاویه اصطکاک داخلی در آزمایش برش مستقیم.





شکل ۱۱- اثر متقابل مقدار رطوبت خاک و پیش‌بار بر زاویه اصطکاک داخلی در آزمایش برش مستقیم.

### نتیجه‌گیری

۱. با افزایش رطوبت از ۱۴/۷ به ۱۶/۷ درصد، چسبندگی به اندازه ۷۵ درصد افزایش یافت و با دو برابر شدن پیش‌بار، این پارامتر به اندازه ۸۲ درصد افزایش یافت.
۲. میانگین زاویه اصطکاک داخلی در کلیه تیمارهای افزودن بقایا، ۲۷/۱۴ درجه بود. با افزایش رطوبت زاویه اصطکاک داخلی به اندازه ۲۲ درصد کاهش یافت و افزایش پیش‌بار باعث ۱ درصد کاهش در زاویه اصطکاک داخلی شد.
۳. در هر دو مقدار رطوبت و پیش‌بار، بیش‌ترین مقدار چسبندگی مربوط به روش مدیریتی Res<sub>N</sub> بود. در پیش‌بار ۱۰۰ کیلوپاسکال و مقدار رطوبت ۱۴/۷ درصد و نیز در پیش‌بار ۲۰۰ کیلوپاسکال و مقدار رطوبت ۱۶/۷ درصد کمترین مقدار چسبندگی مربوط به تیمار Res<sub>FYM</sub> بود.

جدول ۱- تاثیر مدیریت بقایای گیاهی، مقدار رطوبت و پیش‌بار بر میانگین چسبندگی (kPa) و زاویه اصطکاک داخلی (°) خاک.

پارامترهای مقاومت برشی		عوامل آزمایشی
زاویه اصطکاک داخلی	چسبندگی	
		مدیریت بقایای گیاهی
25/4 <sup>b</sup>	27/0 <sup>b</sup>	سوزاندن بقایا (Res <sub>B</sub> )
29/9 <sup>a</sup>	22/4 <sup>c</sup>	بازگرداندن بقایا (Res)
24/2 <sup>b</sup>	33/6 <sup>a</sup>	بازگرداندن بقایا به همراه اوره (Res <sub>N</sub> )
29/0 <sup>a</sup>	22/2 <sup>c</sup>	بازگرداندن بقایای گیاهی به همراه کود پوسیده گاوی (Res <sub>FYM</sub> )
		رطوبت خاک (٪)
30/5 <sup>a</sup>	19/1 <sup>b</sup>	(0/7 PL) 14/7

23/7 <sup>b</sup>	33/5 <sup>a</sup>	(1/05 PL) 16/7
		پیش بار (kPa)
28/6 <sup>a</sup>	18/7 <sup>b</sup>	۱۰۰
25/7 <sup>b</sup>	33/9 <sup>a</sup>	۲۰۰

\* در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک‌اند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۰.۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۲- مقایسه میانگین \* ویژگی‌های اندازه‌گیری شده

پارامترهای مقاومت برشی	شرایط اولیه آزمایش			مدیریت بقایای گیاهی
	زاویه اصطکاک داخلی (O)	چسبندگی (kPa)	رطوبت (%)	
32/29 <sup>a</sup>	13/5 <sup>fg</sup>	۱۴/۷	۱۰۰	سوزاندن بقایا (Res <sub>B</sub> )
27/6 <sup>a</sup>	16/5 <sup>ef</sup>	۱۴/۷	۲۰۰	
23/0 <sup>a</sup>	34/2 <sup>b</sup>	۱۶/۷	۱۰۰	
18/8 <sup>a</sup>	43/9 <sup>a</sup>	۱۶/۷	۲۰۰	
30/9 <sup>a</sup>	10/3 <sup>gh</sup>	۱۴/۷	۱۰۰	بازگرداندن بقایا (Res)
29/7 <sup>a</sup>	23/2 <sup>d</sup>	۱۴/۷	۲۰۰	
30/6 <sup>a</sup>	12/1 <sup>g</sup>	۱۶/۷	۱۰۰	
28/5 <sup>a</sup>	43/8 <sup>a</sup>	۱۶/۷	۲۰۰	
31/4 <sup>a</sup>	16/4 <sup>ef</sup>	۱۴/۷	۱۰۰	بازگرداندن بقایا به همراه اوره (Res <sub>N</sub> )
27/3 <sup>a</sup>	35/1 <sup>b</sup>	۱۴/۷	۲۰۰	
19/8 <sup>a</sup>	37/2 <sup>b</sup>	۱۶/۷	۱۰۰	
18/4 <sup>a</sup>	45/6 <sup>a</sup>	۱۶/۷	۲۰۰	
33/3 <sup>a</sup>	8/2 <sup>h</sup>	۱۴/۷	۱۰۰	بازگرداندن بقایای گیاهی به همراه کود
31/6 <sup>a</sup>	29/4 <sup>c</sup>	۱۴/۷	۲۰۰	
27/3 <sup>a</sup>	17/3 <sup>e</sup>	۱۶/۷	۱۰۰	
23/8 <sup>a</sup>	33/9 <sup>b</sup>	۱۶/۷	۲۰۰	

\* در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک‌اند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۰.۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

۱. بهروزی لار، م. ۱۳۷۹. اصول طراحی ماشینهای کشاورزی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی. مرکز انتشارات علمی.
۲. روشن ضمیر، م. ع.، جزوه آزمایشگاه مکانیک خاک، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. وفائیان، م. ۱۳۷۶. خواص مهندسی خاک. نشر ارکان اصفهان.
4. Ayers, P. D. 1987. Moisture and bulk density effects on soil shear strength parameters for coarse grained soils. Transactions of the ASAE. Vol 31, 1282–1287.
5. Komandi, G. 1992. On the mechanical properties of soil as they affect traction. Journal of Terramechanics. Vol 29, 373–380.
6. Kuipers, H. & Kroesbergen, B. 1966. The significance of moisture content, pore space, method of sample preparation and type of shear annulus used in laboratory torsional shear testing on soils. Journal of Terramechanics. Vol 3, 17–28.
7. Liang, Y., Hettiaratchi, D. R. P. & O'Callaghan, J. R. 1995. Mohr-Coulomb parameters and soil indentation tests. In: Proceedings of the International Conference on Soil Dynamics. 17–19 June. Auburn, Alabama.
8. Mouazen, A. M. 2002. Mechanical behaviour of the upper layers of a sandy loam soil under shear loading. Journal of Terramechanics. Vol 39, 115-126.
9. Ohu, J. O., Raghavan, G. S. V. & Mckyes. E. 1985. Peatmoss effect on the physical and hydraulic characteristics of compacted soils. Transactions of the ASAE. Vol 28, 240-242.
10. Song, Y. S., Yun, J. M., Hong, W. P. & Kim, T. H. 2003. Investigation of solid waste soil as road construction material. Environmental Geology. Vol 44, 203-209.
11. Stibbe, E. & Terpstra, R. 1982. Effects of penetration resistance on emergence and early growth of silage corn in a laboratory experiment with sandy soil. Soil & Tillage Research. Vol 2, 143-153.

### Abstract

Under external forces, these are actually the shear stresses that cause soil rupture. In this research, disturbed soil samples were taken from clay loam topsoil from a long-term residue management under barley-corn rotation. Repacked soil samples taken from four residue management treatments (residue burning, ResB; residue incorporation, Res; residue incorporation with urea application, ResN; residue incorporation with farmyard manure application, ResFYM) were prepared at two water contents (14.7 and 16.7%; equivalent to 0.9 plastic limit, PL and 1.05 PL, respectively) and two preloads (100 and 200 kPa). Soil shear strength parameters (cohesion,  $c$  and internal friction angle,  $\phi$ ) were measured using a direct shear box test. For all scenarios (different moisture and preload) the maximum cohesion was seen in Res<sub>N</sub> method. For both cases the preload of 100 kPa with 14.7% moisture and also for 200 kPa preload with 16.7% moisture, the minimum cohesion was seen in Res<sub>FYM</sub> method.

**Keywords:** Shear strength, Residue management, Cohesion, Internal friction angle.