



## تأثیر افزودن دراز مدت پسماند گیاهی جو بر خواص فشردگی یک خاک لوم رسی

بهناز آذری مبارکه<sup>۱</sup> و 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

تراکم خاک از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند منجر به تخریب فیزیکی خاک گردد. تنش در آستانه تراکم (تنش پیش-تراکمی؛  $\sigma_{pc}$ ) و حساسیت خاک به تراکم (شاخص فشردگی؛  $C_c$ ) پارامترهای مکانیکی لازم برای پیشگیری از تراکم هستند. در این پژوهش به بررسی اثر افزودن دراز مدت پسماند جو بر خواص فشردگی ( $\sigma_{pc}$  و  $C_c$ ) یک خاک لوم رسی پرداخته شد. نمونه‌های دست‌خورده از یک طرح پژوهشی دراز مدت مدیریت بقایای گیاهی تحت تناوب جو-ذرت برداشت شد. خواص فشردگی نمونه‌های خاک تهیه‌شده از ۴ روش مدیریت بقایای گیاهی و بازسازی‌شده در دو مقدار رطوبت (۰/۹ حد خمیری (PL) و ۱/۰۵PL) و با دو پیش بار (۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال) با آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) تعیین گردید. از روش کاساگراند جهت استخراج ویژگی‌های فشردگی خاک از منحنی‌های تنش-نشست استفاده شد. به‌طور کلی روش‌های مختلف مدیریت بقایا بر  $C_c$  و  $\sigma_{pc}$  تخمین‌زده شده اثر قابل توجهی نداشت.

واژه‌های کلیدی: تنش پیش تراکمی، شاخص فشردگی و مدیریت پسماند گیاهی

### مقدمه

خاک‌های غیراشباع تحت نیروهای مکانیکی بیرونی و نیروهای درونی می‌توانند متراکم شوند. تراکم خاک از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند منجر به تخریب فیزیکی خاک شود. تراکم، ساختمان خاک‌های کشاورزی را دگرگون می‌کند و در نتیجه تعدادی از ویژگی‌های مهم خاک را تغییر داده و بر تولید محصول اثر می‌گذارد (سوان و ون، ۱۹۹۴). در سیستم‌های مختلف کشاورزی، خطر تراکم خاک با افزایش اندازه مزارع، افزایش درجه مکانیزاسیون و وزن تراکتور و تجهیزات و کار زیاد روی خاک به منظور دستیابی به نرم‌شدگی بیشتر در خاک، افزایش می‌یابد

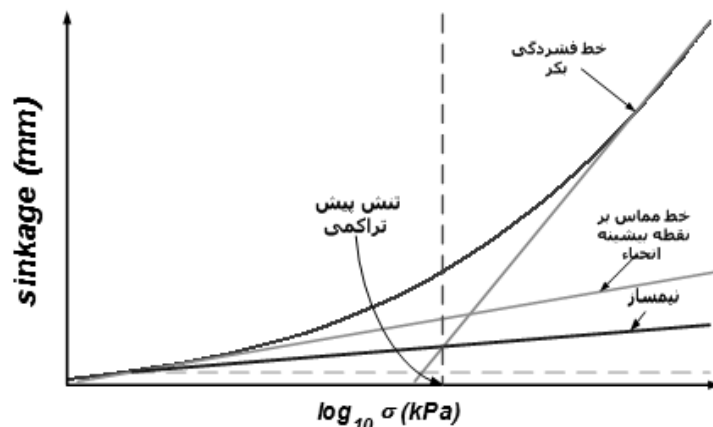
(آسولاین، ۲۰۰۲).

عواملی چند بر تراکم‌پذیری خاک اثر می‌گذارند که عبارتند از: چگالی ظاهری اولیه، ساختار خاک، مواد آلی<sup>۱</sup> (OM)، نمک‌های محلول و مهم‌تر از همه مقدار رطوبت خاک<sup>۲</sup> (MC) (ماپفومو و چاناسیک، ۱۹۹۸). استفاده از پسماند گیاهی به‌عنوان منبع ماده آلی عملیاتی رایج در کشاورزی برای بهبود ساختمان خاک، ظرفیت نگهداری آب، کاهش حجم آب مورد نیاز برای آبیاری می‌باشد. به‌علاوه این مواد عناصر غذایی خاک را نیز افزایش می‌دهند (انتری و همکاران، ۱۹۹۷). مواد آلی تراکم‌پذیری خاک را با افزایش مقاومت خاک به ازم پاشیدگی خاک در اثر برخورد با آب و نیز با افزایش مقدار رطوبت خاک که همچون بالشتکی تراکم را میرا می‌کند، کاهش می‌دهد (اکوا و استون، ۱۹۹۴). بنابراین، برگرداندن پسماند محصول به خاک می‌تواند تراکم‌پذیری خاک را کاهش دهد (برزگر و همکاران، ۲۰۰۰).

یک راه‌حل رایج در جلوگیری از تراکم این است که تنش‌های مجاز وارده به خاک به‌گونه‌ای با ویژگی‌های مکانیکی خاک ارتباط داده شود. برای پیش‌گویی بهتر رفتار تراکمی خاک، تعیین ویژگی‌های مکانیکی‌ای که بتواند تا حدودی رفتار خاک را در مزرعه بیان کند ضروری است (آرویدسون و کلر، ۲۰۰۴). دو مورد از این ویژگی‌ها عبارتند از: تنش پیش‌تراکمی ( $\sigma_{pc}$ ) و شاخص فشردگی ( $C_c$ ) که از منحنی‌های تراکم خاک (منحنی لگاریتم تنش عمودی در برابر یکی از پارامترهای مربوط به حالت تراکمی خاک) استخراج می‌شوند. نمونه‌ای از منحنی تراکم در شکل ۱ نشان داده شده است که در آن لگاریتم تنش در مقابل نشست خاک رسم شده است. همانگونه که از شکل مشخص است منحنی تراکم دارای دو ناحیه متمایز است: یک بخش برگشت‌پذیر الاستیک در تنش‌های پایین و یک بخش خطی در تنش‌های بالاتر که خط فشردگی بکر<sup>۳</sup> (VCL) نام دارد (کلر و آرویدسون، ۲۰۰۷).  $\sigma_{pc}$  به‌عنوان حدفاصل رفتار الاستیک و پلاستیک خاک تعریف می‌شود و نقطه‌ای از منحنی تراکم است که هرگاه خاک تحت تنش‌های کوچک‌تر از آن قرار گیرد ابتدا تغییر شکل الاستیک داده و سپس به حالت اولیه بر می‌گردد، در حالی که در تنش‌های بزرگ‌تر تغییر شکل خاک ماندگار است (کاوالیری و همکاران، ۲۰۰۸). از  $C_c$  به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن حساسیت خاک به تراکم زمانی که سطح تنش وارد شده به خاک بیشتر از  $\sigma_{pc}$  شود استفاده شده است (کوان و همکاران، ۲۰۰۷) که در واقع شیب قسمت خطی منحنی تراکم است. کاساگراند برای اولین بار، روشی ترسیمی برای محاسبه از روی منحنی تراکم ارائه داد (کاساگراند، ۱۹۳۶).

---

1 - Organic matter  
2 - Moisture content  
3 - Virgin compression line



شکل ۱- نمونه‌ای از یک منحنی تراکم و استخراج تنش پیش-تراکمی به روش کاساگراند.

با توجه به شکل ۱ چنانچه از نقطه **D** یعنی نقطه‌ای که انحناء منحنی بیشینه است، مماسی بر منحنی رسم شده و نیمساز زاویه بین این مماس و خط افقی مار بر **D** ترسیم گردد، نقطه برخورد این نیمساز با امتداد مستقیم الخط نمودار (VCL) بیان‌گر  $\sigma_{pc}$  می‌باشد.

### 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 گاه 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 خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) و 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 (به ترتیب برابر ۰/۹ حد خمیری (PL) و ۱/۰۵PL) ساخته شد و سپس نمونه توسط دستگاه CBR تحت پیش بار ۱۰۰ یا ۲۰۰ کیلوپاسکال قرار گرفتند. در وسط هر نمونه، آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) با صفحه‌ای به قطر ۵ سانتی‌متر انجام شد. سپس نمونه‌ای به قطر ۵/۴ و ارتفاع ۴/۹ سانتی‌متر برای آزمایش فشردگی محصور (CCT) از اطراف نمونه بزرگ تهیه شد.

برای تعیین نقطه انحنای بیشینه، بر داده‌های مربوط به هر یک از آزمایش‌ها، توابع ریاضی برازش شد. برای تعیین مقدار شاخص فشردگی ( $C_c$ )، معادله خط VCL با رگرسیون خطی مشخص گردید و شیب آن به عنوان  $C_c$  منظور شد.

با توجه به شکل نمودار لگاریتم تنش-نشست، سه معادله‌ی چندجمله‌ای درجه چهار (معادله ۱)، نمایی (معادله ۲) و معکوس چندجمله‌ای درجه دو (معادله ۳) برازش شد:

$$S = a(\log \sigma)^4 + b(\log \sigma)^3 + c(\log \sigma)^2 + d(\log \sigma) \quad (1)$$

$$S = \exp(a' + b'(\log \sigma) + c'(\log \sigma)^2) \quad (2)$$

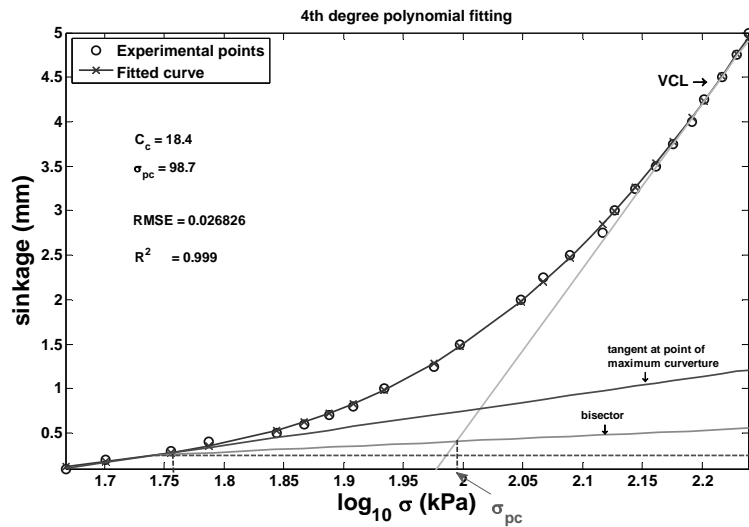
$$S = a'' / [1 + b''(\log \sigma) + c''(\log \sigma)^2] \quad (3)$$

که  $a, b, c$  و  $e$  در معادله ۱،  $a', b', c'$  در معادله ۲ و  $a'', b'', c''$  در معادله ۳ پارامترهای برازش هستند. انتخاب بهترین معادله در هر آزمایش بر اساس داشتن بیشترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) و کمترین جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بود. تمامی موارد فوق با استفاده از نرم افزار MatLab به ترتیب زیر به دست آمد. برای انتخاب بهترین برازش سه نکته مورد نظر قرار گرفت: الف) مدل برازش یافته باید دارای ضریب تبیین ( $R^2$ ) بزرگ‌تر از ۹۸ درصد باشد، ب) داده‌های آن کمترین انحراف استاندارد (RMSE) را دارا باشند و ج) در نقطه انحنای بیشینه، مدل به خوبی بر داده‌ها برازش شده باشد. مورد آخر با تشخیص فردی بررسی شد. بر این اساس در اغلب موارد مدل چندجمله‌ای درجه چهار، بهترین برازش را تأمین نمود. در مواردی هم مدل نمایی بهتر از چندجمله‌ای درجه چهار بود. در میان آزمایش‌ها مواردی بود که مدل‌های معکوس درجه دوم و نمایی به خوبی بر داده‌ها برازش نمی‌شدند و مدل چندجمله‌ای درجه چهار دو شرط اول بهترین برازش را داشت، اما نقطه انحنای بیشینه در ابتدای منحنی قرار می‌گرفت و شیب خط مماس بر آن منفی می‌شد که با توجه به روند صعودی داده‌ها شیب منفی غیرمنطقی بود. در این موارد مدل چندجمله‌ای درجه پنج امتحان شد که تمام شرایط یک برازش خوب را داشت. بنابراین در بیشتر موارد از مدل چندجمله‌ای درجه چهار و در مواردی هم از مدل‌های چندجمله‌ای درجه پنج و نمایی استفاده شد.

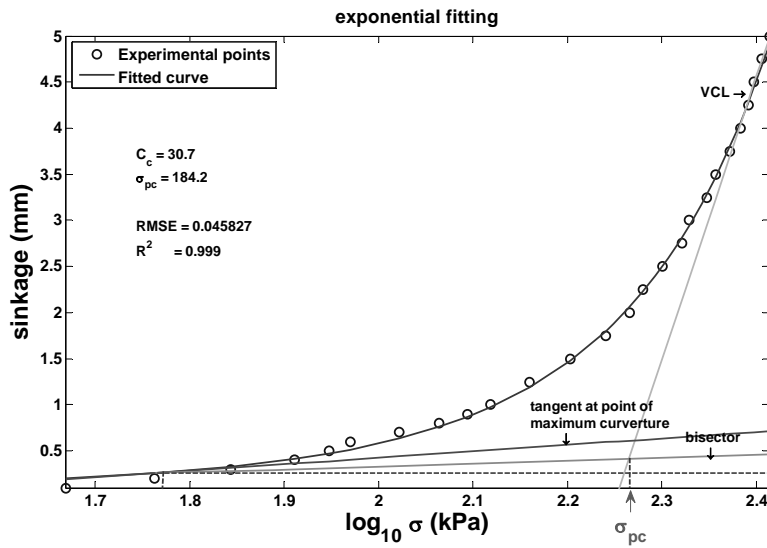
تجزیه واریانس داده‌ها برای هر ویژگی در قالب طرح کرت خرد شده-فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی انجام پذیرفت. در مورد ویژگی‌هایی که اثر فاکتورها بر آنها در جدول تجزیه واریانس معنی‌دار بود، برای مقایسه میانگین فاکتورها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) استفاده شد. تجزیه آماری با استفاده از نرم افزارهای SAS و اکسل انجام پذیرفت.

## نتایج و بحث

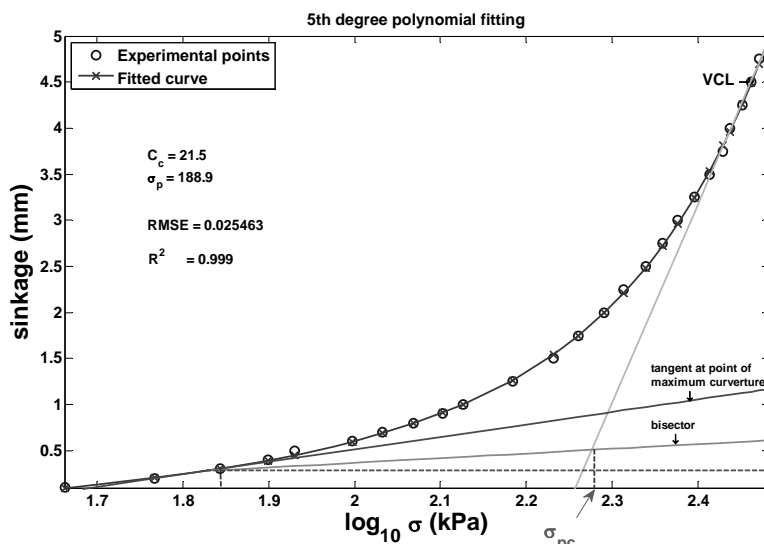
نمونه‌هایی از منحنی‌های برازش شده بر داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها همراه با نتایج در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. به دلیل یکسان نبودن مقیاس محورهای افقی و عمودی به نظر می‌رسد که نیمساز زاویه خط مماس بر نقطه انحنای بیشینه با افق این زاویه را به دو قسمت تقسیم نکرده است.



شکل ۲- منحنی تغییرات مقدار نشست صفحه با لگاریتم تنش قائم وارد شده به خاک. O نقاط تجربی حاصل از آزمایش و \_ منحنی درجه چهار برازش شده بر آن.  $\sigma_{pc}$ : تنش پیش-تراکمی (kPa). VCL: خط فشردگی بکر.  $C_c$ : شاخص فشردگی (mm/kPa).



شکل ۳- منحنی تغییرات مقدار نشست صفحه با لگاریتم تنش قائم وارد شده به خاک. O نقاط تجربی حاصل از آزمایش و \_ منحنی نمایی برازش شده بر آن.  $\sigma_{pc}$ : تنش پیش-تراکمی (kPa). VCL: خط فشردگی بکر.  $C_c$ : شاخص فشردگی (mm/kPa).

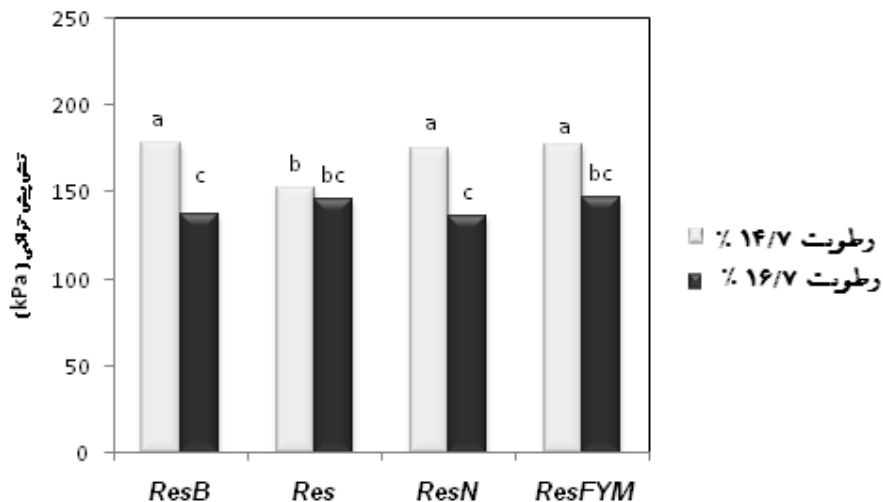


شکل **Error! No text of specified style in document.** منحنی تغییرات مقدار نشست صفحه با لگاریتم تنش قائم وارد شده به خاک. 0 نقاط تجربی حاصل از آزمایش و \_ منحنی درجه پنج برازش شده بر آن.  $\sigma_{pc}$ : تنش پیش-تراکمی (kPa).  
 VCL: خط فشردگی بکر.  $C_c$ : شاخص فشردگی (mm/kPa).

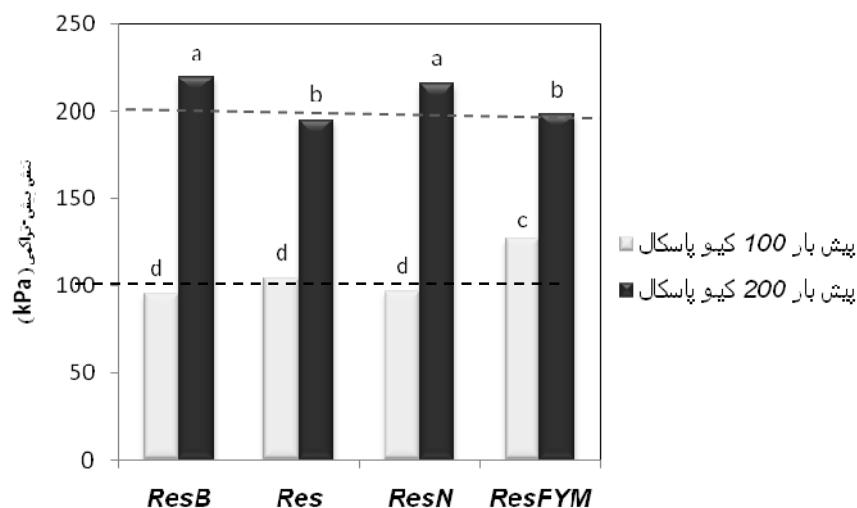
نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش PST نشان داد که اثر رطوبت و پیش‌بار در سطح احتمال ۱ درصد بر تنش پیش-تراکمی معنی‌دار بود و مدیریت بقایای گیاهی فاقد اثر معنی‌داری بر این پارامتر بود. تمامی اثرهای متقابل دوگانه و سه‌گانه در سطح احتمال ۱ درصد، معنی‌دار بود. میانگین تنش پیش-تراکمی در کلیه تیمارهای مدیریت بقایای گیاهی ۱۵۶/۳ کیلوپاسکال بود. با افزایش رطوبت از ۱۴/۷ به ۱۶/۷ درصد تنش پیش-تراکمی به اندازه ۱۷ درصد کاهش یافت. با دو برابر نمودن پیش‌بار تنش پیش-تراکمی به اندازه ۹۶ درصد افزایش یافت (جدول ۱). همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در تمام روش‌های مدیریت بقایا، با افزایش مقدار رطوبت از ۱۴/۷ به ۱۶/۷ درصد، تنش پیش-تراکمی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، بجز برای روش برگرداندن بقایا به خاک که این کاهش معنی‌دار نبود. این کاهش ناشی از تفاوت تنش مؤثر (انتقال یافته به ذرات خاک) در دو مقدار رطوبت است. با توجه به شکل ۶ با افزایش پیش‌بار از ۱۰۰ به ۲۰۰ کیلو پاسکال در تمام روش‌های مدیریت بقایا، تنش پیش-تراکمی افزایش معنی‌داری یافته است که بیشترین مقدار افزایش مربوط به روش سوزاندن بقایا می‌باشد. در پیش‌بار ۱۰۰ کیلو پاسکال، در خصوص تیمار  $\sigma_{pc}$ ,  $Res_{FYM}$  بیش تخمینی داشت، در صورتی که در پیش‌بار ۲۰۰ کیلو پاسکال، مقادیر  $\sigma_{pc}$  بدست آمده در تیمارهای  $Res_B$  و  $Res_N$  بیش تخمینی داشت (شکل ۶).

با توجه به جدول مقایسه میانگین اثر متقابل پیش‌بار، مقدار رطوبت و مدیریت بقایا (جدول ۲)، در هر دو سطح پیش‌بار، تنش پیش-تراکمی تخمین‌زده‌شده بسیار نزدیک به مقدار پیش‌بار وارد شده به خاک بود. در پیش‌بار ۱۰۰ کیلوپاسکال در هر دو مقدار رطوبت تنش پیش-تراکمی در روش برگرداندن بقایا همراه با کود گاوی پوسیده به خاک (که در آن درصد ماده آلی خاک نسبت به سایر موارد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود) بیشترین مقدار را داشت. در سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در این پارامتر وجود نداشت. در پیش‌بار ۲۰۰ کیلوپاسکال روند تغییرات تنش پیش-تراکمی در روش‌های مختلف مدیریت بقایا برای دو مقدار رطوبت ۱۴/۷ و ۱۶/۷ درصد متفاوت بود. در رطوبت ۱۴/۷ درصد،

تیمارهای Res<sub>B</sub> و Res<sub>N</sub> دارای بیشترین مقدار تنش پیش-تراکمی بوده و تیمار Res دارای کمترین میزان تنش پیش-تراکمی بود. در مقدار رطوبت ۱۶/۷ درصد، تنش پیش-تراکمی در تیمار Res<sub>FYM</sub> به طور معنی داری کمتر از تیمار Res بود و در میزان تنش پیش-تراکمی بین سایر تیمارها اختلاف معنی داری مشاهده نشد.



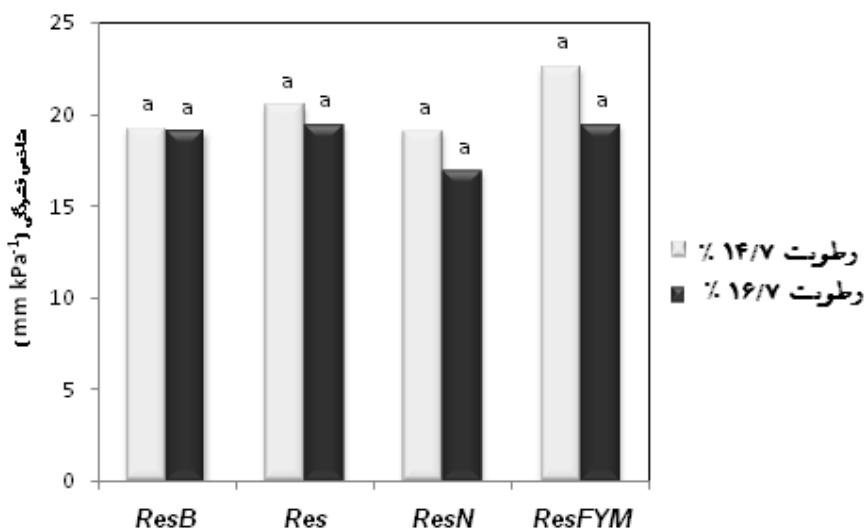
شکل ۵- اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی و مقدار رطوبت خاک بر تنش پیش-تراکمی در آزمایش PST.



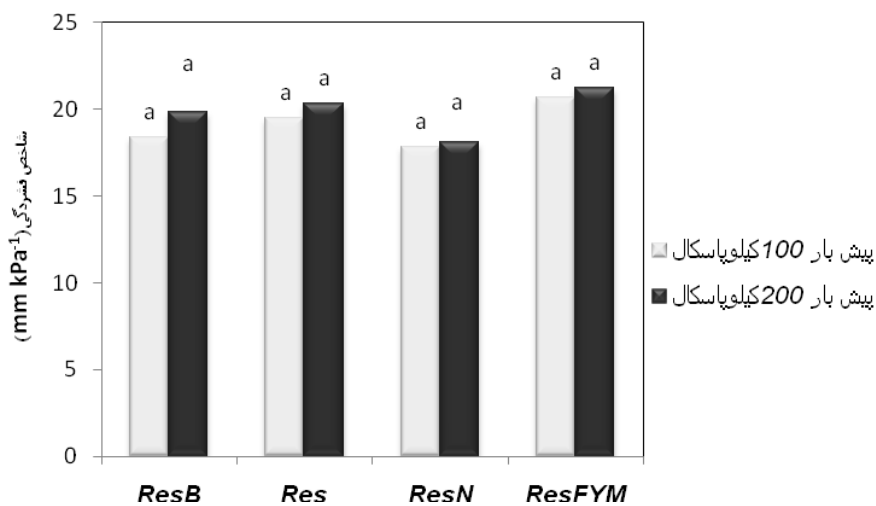
شکل ۶- اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی و پیش بار بر تنش پیش-تراکمی خاک در آزمایش PST.

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر مدیریت بقایا و پیش بار بر شاخص فشردگی در آزمایش PST معنی دار نبود، در حالی که مقدار رطوبت اثری معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد بر این پارامتر داشت. میانگین شاخص فشردگی در کلیه تیمارهای مدیریت بقایای گیاهی ۱۹/۵ بود. با افزایش رطوبت از ۱۴/۷ به ۱۶/۷ درصد شاخص فشردگی به اندازه ۸ درصد کاهش یافت. با دو برابر شدن پیش بار، شاخص فشردگی ۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۱). اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی و مقدار رطوبت خاک بر شاخص فشردگی در شکل ۷ نشان داده شده است. با افزایش درصد

رطوبت خاک در تمام روش‌های مدیریت بقایا، شاخص فشردگی کاهش می‌یافت که البته در هیچ موردی این کاهش معنی‌دار نبود. با توجه به شکل ۸ که اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی و پیش‌بار را بر تنش پیش-تراکمی نشان می‌دهد، با افزایش پیش‌بار در تمام روش‌ها شاخص فشردگی کاهش یافت که این کاهش در هیچ موردی معنی‌دار نبود. همانگونه که در جدول مقایسه میانگین اثرهای متقابل پیش‌بار، رطوبت و مدیریت بقایا (جدول ۲) مشاهده می‌شود به طور کلی در شاخص فشردگی به دست آمده از آزمایش نشست صفحه‌ای بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.



شکل ۷- اثر متقابل مدیریت بقایا و مقدار رطوبت خاک بر شاخص فشردگی.



شکل ۸- اثر متقابل مدیریت بقایا و پیش‌بار بر شاخص فشردگی.



جدول ۱- تاثیر مدیریت بقایای گیاهی، مقدار رطوبت خاک و پیش‌بار بر میانگین تنش پیش-تراکمی (kPa) و شاخص فشردگی (mm/kPa).

| پارامترهای اندازه گیری شده |                    | عوامل آزمایشی   |
|----------------------------|--------------------|---|
| شاخص فشردگی                | تنش پیش-تراکمی     | مدیریت بقایای گیاهی   |
| 19/12 <sup>a</sup>         | 157/4 <sup>a</sup> | سوزاندن بقایا (Res <sub>B</sub> )                                     |
| 19/92 <sup>a</sup>         | 149/4 <sup>a</sup> | برگرداندن بقایا (Res)   |
| 17/98 <sup>a</sup>         | 155/9 <sup>a</sup> | برگرداندن بقایا به همراه اوره (Res <sub>N</sub> )                     |
| 20/98 <sup>a</sup>         | 162/5 <sup>a</sup> | برگرداندن بقایای گیاهی به همراه کود گاوی پوسیده (Res <sub>FYM</sub> ) |
|                            |                    | رطوبت خاک (%)   |
| 20/32 <sup>a</sup>         | 171/0 <sup>a</sup> | 14/7 (0/9 PL)   |
| 18/68 <sup>b</sup>         | 141/6 <sup>b</sup> | 16/7 (1/05 PL)  |
|                            |                    | پیش‌بار (kPa)   |
| 19/12 <sup>a</sup>         | 105/7 <sup>b</sup> | ۱۰۰   |
| 19/88 <sup>a</sup>         | 206/9 <sup>a</sup> | ۲۰۰   |

در هر ستون میانگین‌های هر عامل آزمایشی که در یک حرف مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۰.۰۵ بر اساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۲- مقایسه میانگین\* ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها

| پارامترهای اندازه‌گیری شده |                      | شرایط اولیه آزمایش |                  | مدیریت بقایای گیاهی   |
|----------------------------|----------------------|--------------------|------------------|---|
| شاخص تراکم<br>(mm/kPa)     | تنش پیش-تراکمی (kPa) | رطوبت<br>(%)       | پیش‌بار<br>(kPa) |   |
| 18/3 <sup>a</sup>          | 101/4 <sup>h</sup>   | ۱۴/۷               | ۱۰۰              | سوزاندن بقایا (Res <sub>B</sub> )   |
| 20/1 <sup>a</sup>          | 254/5 <sup>a</sup>   | ۱۴/۷               | ۲۰۰              |   |
| 18/5 <sup>a</sup>          | 88/9 <sup>h</sup>    | ۱۶/۷               | ۱۰۰              |   |
| 19/6 <sup>a</sup>          | 185/0 <sup>cde</sup> | ۱۶/۷               | ۲۰۰              |   |
| 20/3 <sup>a</sup>          | 105/8 <sup>gh</sup>  | ۱۴/۷               | ۱۰۰              | بازگرداندن بقایا (Res)  |
| 20/6 <sup>a</sup>          | 199/6 <sup>c</sup>   | ۱۴/۷               | ۲۰۰              |   |
| 18/7 <sup>a</sup>          | 102/2 <sup>h</sup>   | ۱۶/۷               | ۱۰۰              |   |
| 20/0 <sup>a</sup>          | 190/2 <sup>cd</sup>  | ۱۶/۷               | ۲۰۰              |   |
| 18/1 <sup>a</sup>          | 96/9 <sup>h</sup>    | ۱۴/۷               | ۱۰۰              | بازگرداندن بقایا به همراه اوره (Res <sub>N</sub> )                        |
| 20/1 <sup>a</sup>          | 254/3 <sup>a</sup>   | ۱۴/۷               | ۲۰۰              |   |
| 17/6 <sup>a</sup>          | 96/0 <sup>h</sup>    | ۱۶/۷               | ۱۰۰              |   |
| 16/1 <sup>a</sup>          | 176/3 <sup>de</sup>  | ۱۶/۷               | ۲۰۰              |   |
| 22/2 <sup>a</sup>          | 131/3 <sup>f</sup>   | ۱۴/۷               | ۱۰۰              | بازگرداندن بقایای گیاهی به همراه کود<br>پوسیده گاوی (Res <sub>FYM</sub> ) |
| 22/9 <sup>a</sup>          | 224/4 <sup>b</sup>   | ۱۴/۷               | ۲۰۰              |   |
| 19/2 <sup>a</sup>          | 123/1 <sup>fg</sup>  | ۱۶/۷               | ۱۰۰              |   |
| 19/6 <sup>a</sup>          | 171/5 <sup>e</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.

نتیجه‌های کلی به‌دست آمده از این پژوهش عبارتند از:

- در پیش‌بار ۱۰۰ کیلو پاسکال در هر دو سطح رطوبتی ۱۴/۷ و ۱۶/۷ درصد، تنش پیش-تراکمی در روش مدیریتی Res<sub>FYM</sub> افزایش معنی‌داری نسبت به روش Res<sub>B</sub> نشان داد.
- در پیش‌بار ۲۰۰ کیلو پاسکال در هر دو سطح رطوبتی ۱۴/۷ و ۱۶/۷ درصد، تنش پیش تراکمی در روش مدیریتی Res<sub>FYM</sub> کاهش معنی‌داری نسبت به روش Res<sub>B</sub> نشان داد.
- روش‌های مختلف مدیریت بقایا اثر معنی‌داری بر شاخص تراکم نداشت.

- افزایش رطوبت از ۱۴/۷ به ۱۶/۷ درصد باعث کاهش معنی دار تنش پیش تراکمی و شاخص تراکم شد و افزایش پیش بار باعث افزایش معنی دار تنش پیش تراکمی شد.

#### منابع و مأخذ

1. Arvidsson, J. & Keller, T. 2004. Soil precompression stress I. A survey of Swedish arable soils. *Soil & Tillage Research*. Vol 77, 85-95.
2. Assouline, S. 2002. Modeling soil compaction under uniaxial compression. *Journal of Soil Science*. 66, 1784-1787.
3. Barzegar, A. R., Asoodar, M.A. & Ansari, M. 2000. Effectiveness of sugarcane residue incorporation at different water contents and the Proctor compaction loads in reducing soil compactibility. *Soil & Tillage Research*. 57: 167-172.
4. Casagrande, A. 1936. Determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: *International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 22-26 June, Cambridge, MA, Vol3, 60-64.
5. Cavalieri, K. M. V., Arvidsson, J., da Silva, A. P. & Keller, T. 2008. Determination of precompression stress from uniaxial compression tests. *Soil & Tillage Research*. Vol 98, 17-26.
6. Ekwue, E. I. & Stone, R. J. 1994. Effect of peat on the compactibility of some Trinidadian soils. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol 57, 129-136.
7. Entry, J. A., Wood, B. H., Edwards, J. H. & Wood, C. W. 1997. Influence organic by products and nitrogen source on chemical and microbiological status of agricultural soil. *Biology and Fertility of Soils*. Vol 24, 196-204.
8. Keller, T. & Arvidsson J. 2007. Compressive properties of some Swedish and Danish structured agricultural soils measured in uniaxial compression tests. *European Journal of Soil Science*. Vol 58, 1373-1381.
9. Kuan, H. L., Hallett, P. D., Griffiths, B. S, Gregory, A. S., Watts, C. W & Whitmore A. P. 2007. The biological and physical stability and resilience of a selection of Scottish soils to stresses. *Journal of Soil Science*. Vol 58, 811-821.
10. Mapfumo, E. & Chanasyk D. S. 1998. Guidelines for safe trafficking and cultivation, and resistance-density-moisture relations of three disturbed soils from Alberta. *Soil & Tillage Research*. 46: 193-202.
11. Soane, B. D. & van Ouwerkerk, C. 1994. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science Publishers, B.V.

**Abstract**

Soil compression is one of the major causes of soil degradation. One of the common solutions to prevent soil compaction is to estimate the soil stress at its compaction threshold (pre-compaction stress,  $\sigma_{pc}$ ) and the soil sensitivity to more compaction (compression index,  $C_c$ ) if the applied stress level is higher than its  $\sigma_{pc}$  value. In this research, disturbed soil samples were taken from clay loam topsoil (0- 20 cm soil layer) from a long-term (7-year) residue management under barley-corn rotation. Repacked soil samples taken from four residue management treatments were prepared at two water contents (0.9 plastic limit, PL and 1.05 PL) and two preloads (100 and 200 kPa). Then, the compressive properties ( $\sigma_{pc}$ ,  $C_c$ ) were obtained using plate sinkage test (PST). Casagrande method was considered to determine the  $\sigma_{pc}$ . In general, the residue management treatments did not have any significant effect on the predicted values of the compressive properties ( $\sigma_{pc}$ ,  $C_c$ ).

**Keywords:** Pre-compaction stress, Compression index and Residue management