یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

تأثیر انواع خاک‌ورزی، گیاه پوششی و الگوی کشت بر منحنی تراکم خاک در یک خاک لوم‌شنی

حسین بیات[۱*]، زینب زنگنه بیغش[۲]، جواد حمزه‌ای [۳]

[۱] دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا-همدان؛ h.bayat@basu.ac.ir
[۲] دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا-همدان ؛ zangenehh1369@gmail.com
[۳] دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه بوعلی سینا-همدان؛ j.hamzei@gmail.com

چکیده

منحنی تراکم محصور و پارامترهای آن منعکس کننده تأثیر عملیات مدیریتی همانند خاک‌ورزی، گیاهان پوششی و الگوی کشت بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک می‌باشند، که تا کنون در هیچ تحقیقی بررسی نشده است. بنابراین تاثیر ترکیب فاکتورهای خاک‌ورزی در دو سطح شامل شخم با گاوآهن برگردان و شخم با چیزل و گیاه پوششی در دو سطح شامل خلر و بدون گیاه پوششی در کرت‌های اصلی و فاکتور الگوی کشت در سه سطح در کرت‌های فرعی، به صورت آزمون فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر ویژگی‌های تراکم خاک بررسی شد. بدین منظور نمونه‌های دست‌نخورده در مهرماه ۱۳۹۳ برداشت شد. منحنی تراکم محصور خاک اندازه‌گیری و پارامترهای آن محاسبه شدند. در تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی خلر شاخص تراکم کاهش و تنش پیش‌تراکمی افزایش یافت. کمبود مواد آلی در تیمار بدون گیاه پوششی-کدوی خالص موجب کاهش شاخص تورم باربرداری نسبت به سایر تیمارها شد و خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش شاخص تورم بارگذاری نسبت به خاک‌ورزی حداقل شد. بهترین مدیریت کاربرد گیاه پوششی خلر در خاک‌ورزی حفاظتی تحت نظام مخلوط کدوی پوست کاغذی با لوبیا سبز بود، که باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی خاک شد.

کلمات کلیدی: تراکم خاک، نسبت پوکی، خاک‌ورزی، خلر و الگوی کشت

The effects of tillage systems, cover crop and cropping systems on soil compression curve in a Sandy loam soil

Hossein Bayat[a*], Zeinab Zangeneh[b], Javad Hamzei[c]

a. Hossein Bayat: Associate Professor (Ph. D.), Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran. Postal Address: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: h.bayat@basu.ac.ir Other e-mail: hbayat2001@gmail.com. Office phone: +98-81-34424189, Mobile phone: +98-918-8188378. Fax: +98-81-34424189.
b. Zeinab Zangeneh: Former M.Sc. Students of Soil Science, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: zangenehh1369@gmail.com
c. Javad Hamzei: Associate Professor (Ph. D.), Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: j.hamzei@basu.ac.ir.

ABSTRACT

Soil confined compression curve and its parameters can reflect the effect of management operations such as tillage, cover crops and cropping patterns on soil physical and mechanical properties, which was not investigated in any research, so far. Therefore, the effects of the combination of factors of tillage at two levels (conventional and minimal) and cover crop at two levels (with and without cover crop) as the main plots as well as three types of cropping systems (summer squash, green bean, and their intercropping) as subplots, in a design as factorial split-plot based on randomized complete blocks with three replications, on soil compaction characteristics, were investigated. Undisturbed soil samples were taken in the October 2014. Soil confined compression curve was measured and its parameters were calculated. The conventional tillage×Lathyrus (cover crop) treatments decreased compression index and increased pre-compression stress. Without cover crop×summer squash treatments reduced unloading swelling index in comparison with the other treatmrnts and conventional tillage increased the loading swelling index in comparison with minimum tillage. The best management was the application of Lathyrus cover crop in the minimum tillage under the intercropping system, which improved the soil physical-mechanical properties.

Keywords: cropping system, lathyrus, soil compression, tillage, void ratio.

۱- مقدمه

منحنی تراکم محصور خاک یا منحنی تنش- کرنش خاک نشان دهنده رابطه بین لگاریتم تنش و نسبت پوکی است (Keller et al., 2011) و برای ارزیابی رفتار خاک در حین تراکم استفاده می‌شود. منحنی تراکم محصور خاک دارای دو قسمت مجزا از هم است که به صورت دو خط از هم قابل تشخیص بوده که خط تورم[1](SL) و خط تراکم بکر[2](VCL) می‌باشند. رفتار خاک در بخش خط تورم الاستیک بوده و تغییر شکل خاک برگشت‌پذیر است، اما در خط تراکم بکر، حالت پلاستیک دارد و تغییر شکل خاک برگشت ناپذیر است (Koolen and Kuipers, 1983). تنش پیش‌تراکمی[3](P_c) دو بخش الاستیک و پلاستیک را از هم جدا می‌کند. در این منحنی سه ویژگی مهم تراکم خاک قابل محاسبه است که شامل شاخص تراکم[4](C_c)، شاخص تورم[5](C_s) و تنش پیش‌تراکمی[6](P_c) می‌باشند (Keller and Arvidsson, 2007) .

شاخص تراکم نشان‌دهنده قابلیت تراکم و یا مقاومت در برابر تراکم می‌باشد (Kuan et al., 2007) . از دیگر شاخص‌های مهم در تراکم خاک شاخص تورم است که نشان‌دهنده قابلیت ارتجاعی و کشسانی خاک (Kuan et al., 2007) می‌باشد. خاک یک جسم الاستیک و ارتجاعی نیست و به علت طبیعت پلاستیک (ماندگار) در هنگام بارگذاری و باربرداری دچار تغییر شکل ماندگار می‌شود (Janson and Baily, 2002). تنش پیش‌تراکمی ظرفیت تحمل تنش وارده به خاک یا مقاومت در برابر تراکم می‌باشد (Imhoff et al., 2004) . هدف اصلی از ارزیابی تنش پیش‌تراکمی، مطالعه ظرفیت باربرداری خاک در برابر تنش‌های وارد بر آن است که سبب برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب‌تر خواهد شد (Arvidsson and Keller, 2004) .

مدیریت خاک از اجزای اصلی کشاورزی پایدار بوده و خاک‌ورزی که شامل انواع مرسوم، حفاظتی و بدون خاک‌ورزی است از ضروری‌ترین بخش‌های این نوع مدیریت محسوب می‌شود. تأثیر عملیات خاک‌ورزی بر رفتار خاک اساسا به تأثیر بر ساختمان خاک مربوط می‌شود(Bronick and Lal, 2005) . برخی از پژوهشگران نیز بیان کردند که تأثیر تغییر عملیات خاک‌ورزی بر تغییر شکل خاک معنی‌دار بود(Pytka, 2001) . به طوری که قابلیت تراکم در خاک‌ورزی مرسوم به‌طور چشم‌گیری بیش‌تر از خاک‌ورزی حفاظتی بود که دلیل آن می‌تواند ضعیف‌تر بودن ساختمان و سستی ذرات در خاک‌ورزی مرسوم باشد.

عبارت گیاه پوششی برای گونه‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به منظور فراهم آوردن لایه‌ای از بقایای گیاهی در سطح خاک برای فرونشانی علف‌های هرز کشت می‌شوند (Ghorbani et al., 2009). گیاهان پوششی باعث افزایش فعالیت ریشه و ورود مواد آلی به خاک می‌شوند (Villamil et al., 2006). مهم‌ترین منبع ماده آلی خاک بقایای گیاهی هستند. افزودن گیاهان پوششی به خاک یکی از روش های کاهش فشردگی خاک می باشد (Rachel, 2015). افزایش ماده آلی خاک، به علت افزایش مقاومت خاک به تغییر شکل و افزایش ویژگی کشسانی خاک، باعث کاهش تراکم‌پذیری می‌شود (Braida et al., 2006) . گیاهان پوششی می‌توانند یک خاک‌ورزی کننده زنده باشند، زیرا باعث نفوذپذیری بهتر خاک می‌گردند و لایه‌های متراکم خاک را می‌شکنند (Samadani and Montazeri, 2009) .

کشت مخلوط، کشت همزمان دو یا چند گیاه در یک قطعه زمین در طول یک سال زراعی می‌باشد (Sullivan et al., 2003)، که نسبت به تک کشتی باعث افزایش ماده آلی خاک، حفاظت خاک، بهبود راندمان استفاده از منابع و کاهش رشد علف‌های هرز (Mazaheri, 2008) و کاهش تراکم خاک می‌شود.

همانگونه که ذکر شد، گیاهان پوششی و کشت مخلوط دارای تأثیر زیادی بر ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی خاک از جمله مقاومت در مقابل تراکم، رفتار تراکمی خاک و در نتیجه منحنی تراکم محصور دارند. از طرف دیگر منحنی تراکم محصور و پارامترهای آن منعکس کننده تاثیر عملیات مدیریتی همچو ن خاک‌ورزی، گیاهان پوششی و کشت مخلوط بر خاک می‌باشند. با این وجود تاثیر همزمان سه فاکتور مذکور بر این منحنی تا کنون در هیچ تحقیقی بررسی نشده است. بنابراین هدف این پژوهش، بررسی تأثیر ترکیب انواع خاک‌ورزی و گیاه پوششی زمستانه خلر بر تراکم خاک در نظام مخلوط الگوی کشت به منظور بهبود روش‌های مدیریتی کشاورزی و کاهش مشکلات ناشی از تراکم خاک و تولید محصول با توجه به مقدار نسبتا کم مواد آلی در خاک‌های زراعی ایران و اثرات زیست محیطی استفاده مداوم از ماشین‌آلات کشاورزی انجام بود.

---

[1] Swelling line
[2] Virgin compression line
[3] Pre-compaction stress
[4] Compaction index
[5] Swelling index
[6] Pre-compaction stress

۲- بخش مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت و محل اجرای آزمایش

این آزمایش در سال‌های زراعی ۸۹ تا ۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا واقع در روستای دستجرد در فاصله ۳۷ کیلومتری از شهر همدان اجرا شد. در منطقه مورد بررسی در طی سال‌های ۸۹-۹۲ فاکتور خاک‌ورزی در سه سطح شامل خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی (NT[1]) و فاکتور گیاه پوششی در سه سطح شامل، خلر، ماشک و بدون گیاه پوششی به صورت آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اعمال گردید و محصول ذرت کشت شد. در سال زراعی ۹۲-۹۳، برای بررسی تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی، نوع گیاه پوششی و الگوی کشت بر منحنی تراکم محصور خاک لوم‌شنی، ترکیب فاکتور خاک‌ورزی در دو سطح (خاک‌ورزی مرسوم،MP[2] و خاک‌ورزی حفاظتی،CP[3]) به همراه گیاه پوششی در دو سطح (خلر و بدون گیاه پوششی) در کرت‌های اصلی و الگوی کشت در سه سطح (کشت خالص کدوی پوست کاغذی، کشت خالص لوبیا سبز و کشت مخلوط افزایشی ۵۰ درصد لوبیا سبز با کدوی پوست کاغذی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند و طرح به صورت آزمون فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان‌دار با عمق حداکثر ۳۰ سانتی‌متر و در خاک‌ورزی حفاظتی از چیزل (خاک‌ورزی سطحی) با عمق کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. در ۱۵ اسفند ماه سال ۱۳۹۲ گیاه پوششی کشت شد و در ۵ خرداد ۱۳۹۳ قبل از رسیدن گیاه پوششی به مرحله برداشت کامل، بسته به تیمار خاک‌ورزی، گیاه پوششی بر سطح خاک باقی ماند و یا در اثر خاک‌ورزی برگرداندار با خاک مخلوط شد. کشت گیاه کدوی پوست کاغذی، لوبیا سبز و کشت مخلوط آن‌ها در ۱۲ خرداد ماه ۱۳۹۳ به طور همزمان انجام شد. در پایان فصل زراعی نمونه برداری خاک دست‌نخورده از عمق ۵ -۱۰ سانتی‌متر با استفاده از ۳۶ سیلندر استیل با قطر ۵/۲ و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر انجام شد.

۲-۲- منحنی تراکم محصور خاک

برای انجام آزمایش تراکم محصور خاک از دستگاه تک محوری[4](CBR) استفاده شد. آزمایش تراکم محصور در درون سیلندر صلب (نمونه‌های دست‌نخورده به قطر ۵/۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر) توسط پیستون متحرک به سمت پایین متراکم شد و تنش روی پیستون و تغییر حجم خاک به طور پیوسته ثبت شد. برای این آزمایش ازنمونه‌های دست‌نخورده که از دستگاه صفحات فشاری در مکش ۴۰۰ کیلوپاسکال خارج و رطوبت آن تعیین می‌شود استفاده گردید. اعمال بار بر نمونه توسط استوانه دستگاه CBR، با نرخ بارگذاری ۱ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. این آزمایش در دو مرحله بارگذاری و باربرداری صورت گرفت. به این صورت که در مرحله بارگذاری تعداد ۱۰۰ قرائت با فواصل ۰/۰۱ میلی‌متری که در هر یک از این فاصله‌ها به اندازه ۱۰ کیلوپاسکال به نمونه تنش وارد شد و در مرحله باربرداری تعداد ۳۳ قرائت با فواصل ۰/۰۳ میلی‌متری انجام شد. زمانی که نشان‌گر رینگ نیرو یک دور کامل بزند مرحله بارگذاری تمام و مرحله باربرداری آغاز شد. همچنین در برخی نمونه‌ها خروج آب از خاک به عنوان پایان آزمایش در نظر گرفته می‌شد (Koolen, 1974). با انجام این آزمون، منحنی نسبت پوکی در هر تنش یا CCC[5] در خاک‌های غیراشباع، که کاهش در حجم خاک با افزایش تنش به‌علت خروج هوا از خاک بود، به‌دست آمد (Koolen and Kuipers, 1989). سپس مدل گمپرتز (Gompertz, 1825) ، (معادلهٔ ۱) با استفاده از تابع بهینه‌ساز Solver نرم‌افزار EXCEL ۲۰۱۳ بر داده‌های مربوط به بارگذاری تراکم محصور برازش شد.

---

[1] No tillage
[2] Moldboard plow(Conventional tillage)
[3] Chisel plow (Minimum tillage)
[4] California bearing ratio
[5] Confined compression curve

$$e = a + c\exp\left\{-\exp\left[b(\log\sigma - m)\right]\right\}$$ معادلهٔ ۱

$$Cc = \frac{bc}{\exp(1)}$$ معادلهٔ ۲

$$Cs_{Loadin-25kPa} = \frac{e_0 - e_{25kPa}}{\log(25kPa)}$$ معادلهٔ ۳

$$Cs_{unloading-800kPa} = \frac{e_{final} - e_{800kPa}}{\log(800kPa)}$$ معادلهٔ ۴

در معادلهٔ ۱ e، نسبت پوکی؛ σ، مقدار تنش بر حسب کیلوپاسکال و a، b، c و m پارامترهای تجربی مدل بوده که با برازش مدل بر داده‌های آزمایشگاهی منحنی تراکم محصور به‌دست آمدند. با استفاده از این پارامترها شاخص تراکم با معادلهٔ ۲ محاسبه شد. شاخص تورم در بخش بارگذاری نمودار با معادلهٔ ۳، و در بخش باربرداری با معادلهٔ ۴ محاسبه شد (Gregory et al., 2006). تنش پیش‌تراکمی با روش کاساگراند[1] (Casagrande, 1936) به‌دست آمد.

۳-۲- آنالیز آماری

رسم نمودارها توسط نرم‌افزار EXCEL ۲۰۱۳ و بررسی نرمال بودن خطا با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Zamani, 2011) با استفاده از نرم‌افزار MiniTab انجام شد. در صورتی‌که توزیع خطا نرمال نبود داده‌ها با انجام تبدیل نرمال شدند. آزمون‌های متعددی برای بررسی نرمال بودن خطا و یا داده‌ها وجود دارد که از بین آنها این آزمون برای ویژگی‌های خاک توصیه شده است (Mohammadi, 2006) . محققان متعددی هم از این آزمون برای نرمال کردن ویژگی‌های خاک استفاده کرده‌اند (Blanco-Moure et al., 2012; Moradi et al., 2014). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین بر روی متغیرهای شاخص تراکم، شاخص تورم باربرداری، شاخص تورم بارگذاری و تنش پیش‌تراکمی با استفاده از نرم‌افزار SAS.9.1 انجام شد و برای مقایسه میانگین تیمارها آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد (SAS, 2002) .

۳- نتایج و بحث

مشخصه تراکم خاک یک ویژگی بنیادی مکانیک خاک است که بیان کننده تأثیر تنش مؤثر بر پارامترهای حجمی خاک می‌باشد. به‌طور معمول این مشخصه به‌وسیله روابط لگاریتمی تنش نرمال مؤثر با نسبت پوکی (e) یا کرنش عمودی بیان می‌شود.

۳-۱- تأثیر فاکتورهای متفاوت خاک¬ورزی، گیاه پوششی و الگوی کشت بر پارامترهای منحنی تراکم محصور

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی فاکتور خاک‌ورزی در پایه ۱ درصد آماری بر شاخص تراکم و در پایه ۵ درصد آماری بر شاخص تورم بارگذاری و تنش پیش‌تراکمی معنی‌دار بود. اثر اصلی فاکتور گیاه پوششی در پایه ۱ درصد آماری بر شاخص تراکم و در پایه ۵ درصد آماری بر تنش پیش‌تراکمی معنی‌دار بود. اثر متقابل دو طرفه فاکتور خاک‌ورزی × گیاه پوششی در پایه ۵ درصد آماری بر تنش پیش‌تراکمی و اثر متقابل سه طرفه فاکتور خاک‌ورزی × گیاه پوششی × الگوی کشت در پایه ۵ درصد آماری بر شاخص تراکم و شاخص تورم باربرداری معنی‌دار بودند (جدول ۱).

[1] Casagrande

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر خاک‌ورزی، گیاه پوششی و الگوی کشت بر پارامترهای منحنی تراکم محصور.

Table 1. Results of analysis of variance of the effect of tillage, cover crop and cropping sytems on the parameters of the confined compression curve.

Mean squares					
Pre-compression stress (kPa)	Loading swelling index	Unloading swelling index	Compression index	Degree of freedom	Sources
785 ns	0.00001 ns	0.00001 ns	0.001 ns	2	Replication
4926 *	0.00004 *	0.00003 ns	0.040 **	1	Tillage
4822 *	0.00003 ns	0.00002 ns	0.140 **	1	Cover crop
3514 *	0.00001 ns	0.00002 ns	0.013 ns	1	Tillage×
624	0.000006	0.00001	0.004	6	Main error
3689 ns	0.000002 ns	0.00003 ns	0.007 ns	2	Cropping system
711 ns	0.00002 ns	0.00004 ns	0.006 ns	2	Tillage×
1819 ns	0.000004 ns	0.00004 ns	0.003 ns	2	Cover crop×cropping system
2064 ns	0.00001 ns	0.00001 *	0.019 *	2	Tillage× cover crop × cropping system
3957	0.00001	0.00002	0.004	16	Subsidiary error

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد، تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

ns, * and ** show no-significant effect at P < 0.05, significant effect at P < 0.05 and P < 0.01, respectively.

۱-۱-۳- شاخص تراکم

مقایسه میانگین آزمون دانکن (Zamani, 2011)، اثر متقابل سه طرفه فاکتور خاکورزی × گیاه پوششی × الگوی کشت نشان داد که تیمار خاک‌ورزی مرسوم- خلر-لوبیای خالص، شاخص تراکم را به‌طور معنی‌داری نسبت به همه تیمارها کاهش داد، البته این کاهش نسبت به دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم-خلر-کشت مخلوط ۵۰ درصد و خاک‌ورزی مرسوم-خلر-کدوی خالص معنی‌دار نبود (شکل ۱- A). همچنین تیمار خاک‌ورزی حفاظتی-بدون گیاه پوششی-کشت مخلوط ۵۰ درصد موجب افزایش معنی‌دار شاخص تراکم نسبت به سایر تیمارها شد که این افزایش نسبت به دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم-بدون گیاه پوششی-لوبیای خالص و خاک‌ورزی حفاظتی-بدون گیاه پوششی-کدوی خالص معنی‌دار نبود (شکل ۱- A). خاک‌ورزی مرسوم با افزایش مقاومت مکانیکی خاک (Salih et al., 1998) و گیاه پوششی خلر با افزایش مواد آلی سبب کاهش معنی‌دار شاخص تراکم شدند. خاک‌ورزی عمیق باعث شکست پیوستگی شخم که توسط خاک‌ورزی‌های قبلی و لایه‌های متراکم طبیعی خاک ایجاد شده، می‌شود. افزایش عمق خاک‌ورزی از ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر باعث افزایش جابه‌جایی خاک تا ۷۵ درصد می‌شود (Gerontidis et al., 2001). مقدار جابه‌جایی خاک به‌وسیله خاک‌ورزی وابسته به نوع و خصوصیات وسیله یا ابزاری است که استفاده می‌شود.

گیاهان پوششی یک مولفه صحیح از سیستم زراعی برای حفاظت خاک و آب هستند. گیاهان پوششی خاک را در مقابل فرسایش پیوسته حفاظت، ساختمان خاک را بهبود و حاصلخیزی خاک را زیاد می‌کنند. گیاهان پوششی سبب بهبود ساختمان و ویژگی‌های حجمی خاک می‌شوند (Higashi et al., 2014). افزودن ماده آلی به خاک، به علت افزایش مقاومت خاک به تغییر شکل و افزایش ویژگی کشسانی خاک، باعث کاهش تراکم‌پذیری می‌شود (Braida et al., 2006) . همچنین کاهش شاخص تراکم در اثر اعمال گیاهان پوششی به دلیل افزایش خاصیت پیوند دهندگی ذرات خاک و کاهش تغییر شکل خاک در برابر نیروهای خارجی می‌باشد (Mosaddeghi et al., 2000). گیاهان پوششی راهکار خوبی برای کاهش اثرات تراکم خاک می‌باشند (Hamza and Anderson, 2005). از طرفی با اعمال تنش خارجی به خاک، در مکش بالاتر از 33 کیلوپاسکال میزان نگهداشت آب در خاک افزایش می‌یابد، که علت آن افزایش سطح تماس بین خاکدانه‌ها به دلیل شکسته شدن خاکدانه‌ها، کاهش حجم منافذ درشت و افزایش منافذ ریز می‌باشد که به دنبال آن موجب کاهش شاخص تراکم می‌شود.

۲-۱-۳- شاخص تورم

در بخش اثر متقابل سه طرفه، تیمار خاک‌ورزی حفاظتی × بدون گیاه پوششی × کشت مخلوط ۵۰ درصد به طور معنی‌داری شاخص تورم باربرداری را نسبت به سایر تیمارها افزایش داد، البته این افزایش نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم × بدون گیاه پوششی × لوبیای خالص معنی‌دار نبود (شکل ۱- B). کمبود مواد آلی در تیمار بدون گیاه پوششی-کدوی خالص موجب کاهش شاخص تورم باربرداری نسبت به سایر تیمارها شد. کشت مخلوط یکی از مؤلفه‌های کشاورزی پایدار محسوب می‌شود، که این نظام مخلوط نسبت به تک کشتی باعث کاهش آفات و بیماری‌ها (Gomez et al., 2005)، حفاظت خاک (Ghanbari, 2000)، بهبود راندمان استفاده از منابع و کاهش رشد علف‌های هرز (Mazaheri, 2008) و افزایش مواد آلی می‌شود. بین شاخص

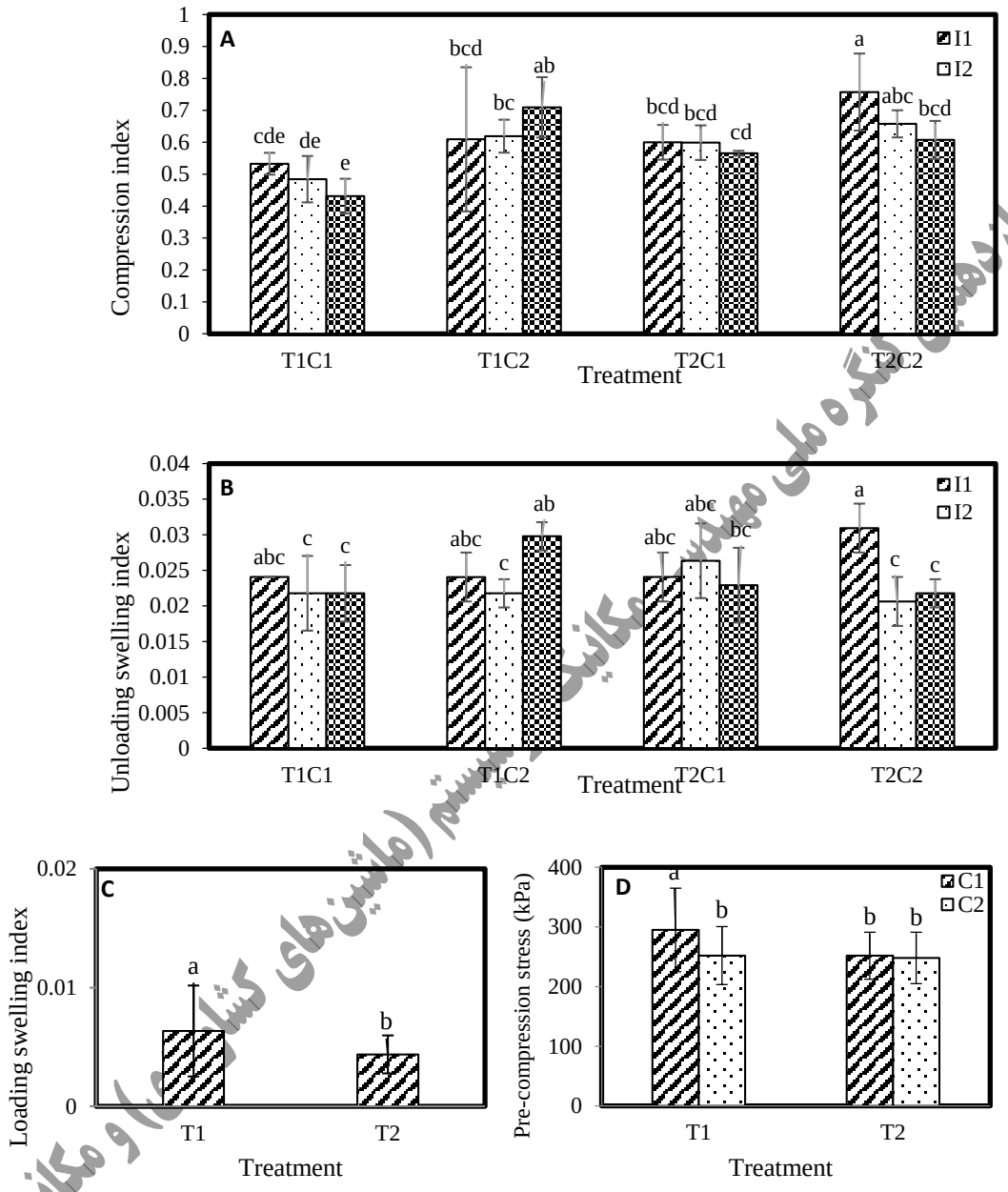
تورم و ماده آلی رابطه مثبت وجود دارد (Keller et al., 2011)، بنابراین کشت مخلوط با افزایش ماده آلی و بهبود روابط بین ذرات خاک موجب افزایش شاخص تورم شد.

مقایسه میانگین آزمون دانکن بخش اثر اصلی فاکتور خاک‌ورزی نشان داد که تیمار خاک‌ورزی مرسوم موجب افزایش معنی‌دار شاخص تورم بارگذاری نسبت به تیمار خاک‌ورزی حفاظتی شد (شکل ۱- C). سیستم خاک‌ورزی مرسوم، مقاومت خاک را تا عمق بیش‌تری نسبت به سیستم کم خاک‌ورزی در هر دو مرحله (قبل از کشت و زمان حداکثر سرعت رشد) کاهش می‌دهد (Shirani et al, 2011). علت این امر عمق بیش‌تر خاک نرم در تیمار گاوآهن برگردان در مقایسه با دیسک سطحی می‌باشد. از طرف دیگر خاک‌ورزی برگردان‌دار، مواد الی موجود را به‌طور کامل با خاک مخلوط می‌کند. ماده‌آلی نیز موجب افزایش قابلیت الاستیک خاک و در نتیجه افزایش شاخص تورم خاک می‌شود. به‌همین علت خاک‌ورزی مرسوم موجب افزایش شاخص تورم شد. قابلیت نفوذ آب در خاک در اثر استفاده از گاوآهن برگردان‌دار افزایش می‌یابد (Quincke et al., 2007). خاک‌ورزی حفاظتی نیز منجر به افزایش میزان رطوبت خاک می‌گردد (Singh and Haile, 2007). بنابراین خاک‌ورزی بر بخش‌های مهمی از خصوصیات خاک از قبیل دما، ذخیره و پراکنش رطوبت در خاک (Lampurlanés et al., 2001) و تراکم خاک اثر می‌گذارد (Lapen et al., 2004) .

۳-۱-۳- تنش پیش تراکمی

مقایسه میانگین آزمون دانکن در بخش اثر متقابل دو طرفه فاکتور خاک‌ورزی × گیاه پوششی نشان داد که تیمار خاک‌ورزی مرسوم-گیاه پوششی خلر به طور معنی‌داری تنش پیش‌تراکمی را نسبت به سایر تیمارها افزایش داد (شکل ۱-D). ماده آلی مقدار تنش پیش‌تراکمی را کاهش می‌دهد (Da Veiga et al., 2007) ، اما در این مکش (۴۰۰ کیلوپاسکال) گیاه پوششی خلر در خاک‌ورزی مرسوم که همراه با افزایش عمق خاک‌ورزی است تنش پیش‌تراکمی را افزایش داد. در مکش‌های بالا ماده آلی باعث تشدید پیوند ذرات شده و از تراکم خاک جلوگیری کرده و تنش پیش‌تراکمی را افزایش داد. چرا که تأثیر مقدار کربن آلی بر تراکم خاک به رطوبت وابسته است. به‌طوری‌که با افزایش کربن آلی تراکم در رطوبت‌های زیاد افزایش یافته و در شرایط خشک کاهش می‌یابد. شاخص تراکم با افزایش نسبت حجمی آب، تحت تأثیر کربن آلی، بیش‌تر می‌شود (Pereira et al., 2007) . گیاهان پوششی باعث افزایش فعالیت ریشه و افزایش ورود مواد آلی به خاک می‌شوند (Villamil et al., 2006). کاهش تراکم خاک توسط گیاهان پوششی در چندین مطالعه مشاهده شده است (Rachel, 2015). همچنین گیاهان پوششی باعث افزایش نفوذ آب و هوا در خاک‌های بسیار تراکم یافته شدند (Chen et al., 2014).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران



شکل ۱- الف- مقایسه میانگین تأثیر متقابل سه طرفه خاک‌ورزی × گیاه پوششی × الگوی کشت بر شاخص تراکم، ب- مقایسه میانگین تأثیر متقابل سه طرفه خاک‌ورزی × گیاه پوششی × الگوی کشت بر شاخص تورم باربرداری پ- مقایسه میانگین اثر اصلی خاک‌ورزی بر شاخص تورم بارگذاری و ت- مقایسه میانگین تأثیر متقابل دو طرفه خاک‌ورزی × گیاه پوششی بر تنش پیش‌تراکمی (**kPa**). **T1** و **T2** به ترتیب نشان‌دهنده خاک‌ورزی مرسوم (برگرداندار) و حفاظتی (چیزل)، **C1** و **C2** به ترتیب نشان‌دهنده گیاه پوششی خلر و شاهد و **I1** ، **I2** و **I3** به ترتیب کشت مخلوط ۵۰ درصد کدوی خالص و لوبیای خالص می‌باشند. **TC** نشان دهنده اثر متقابل خاک‌ورزی × گیاه پوششی و **TCI** اثر متقابل خاک‌ورزی × گیاه پوششی × الگوی کشت می‌باشند. خطوط عمودی بر روی ستون‌ها نشان‌دهنده انحراف استانداردها می‌باشند.

Figure 1. A. Mean comparison of the effect of tillage× cover crop × cropping system on compression index, B. Mean comparison of the effect of tillage× cover crop × cropping system on unloading swellin index, C. Mean comparison of the effect of tillage on loading swelling index, D. Mean comparison of the effect of tillage× cover crop on pre-compression stress. T1 and T2 show the conventional and minimum tillage systems, respectively. C1 and C2 show the Lathyrus cover crop and without cover crop, respectively. I1, I2 and I3 show the intercropping, summer squash and green bean, respectively. TC show the interaction of tillage× cover crop and TCI show the interaction of tillage× cover crop × cropping system. Error bars on the columns show the standard deviations.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مطابق با مدیریتی که برای بهبود ساختمان خاک و کاهش تراکم خاک انجام شد، مهمترین فاکتورهای مدیریتی تأثیرگذار بر کاهش تراکم خاک و افزایش نسبت پوکی، خاک‌ورزی حفاظتی به همراه استفاده از گیاه پوششی خلر تحت نظام مخلوط کدوی پوست کاغذی با لوبیا سبز می‌باشد که سهم بسزایی در افزایش کربن آلی و بهبود ساختمان خاک دارند، اما شاخص تراکم خاک در خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی خلر کاهش یافت و علت آن افزایش مقاومت مکانیکی خاک و تاثیر ماده الی بود. تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی خلر باعث افزایش تنش پیش‌تراکمی و کاهش نسبت پوکی به علت متراکم شدن لایه‌های خاک و افزایش جرم مخصوص ظاهری در اثر خاک‌ورزی مرسوم و به احتمال زیاد تشدید پیوند ذرات در مکش‌های بالا توسط ماده آلی از تراکم بیشتر خاک جلوگیری کرد. کمبود مواد آلی در تیمار بدون گیاه پوششی-کدوی خالص موجب کاهش شاخص تورم باربرداری نسبت به سایر تیمارها شد و خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش شاخص تورم بارگذاری نسبت به خاک‌ورزی حداقل شد. بهترین مدیریت کاربرد گیاه پوششی خلر در خاک‌ورزی حفاظتی تحت نظام مخلوط کدوی پوست کاغذی با لوبیا سبز بود. زیرا باعث کاهش تراکم خاک و افزایش نسبت پوکی شد. بنابراین افزون بر توصیه کاربرد خاک‌ورزی حفاظتی همراه با استفاده از گیاه پوششی خلر تحت الگوی کشت مخلوط در زمین‌های زراعی به کشاورزان، نتایج مطالعه تراکم خاک با انجام تحقیقات بیشتر می‌تواند در انتخاب نوع مدیریت مناسب، کاهش مشکلات ناشی از تراکم خاک و تولید محصول استفاده شود. با توجه به اینکه این طرح در کوتاه مدت (۴ ساله) انجام شد، اثر خاک‌ورزی، گیاه پوششی و الگوی کشت بر پارامترهای تراکم خاک روند واضحی نشان نداد و نیاز به تحقیقات بیشتر می‌باشد.

۵- مراجع

Arvidsson, J.a., Keller, T., 2004. Soil precompression stress: I. A survey of Swedish arable soils. Soil and Tillage research 77(1), 85-95.

Blanco-Moure, Nuria Angurel, Luis A Moret-Fernández, David López, Victoria, M., 2012. Tensile strength and organic carbon of soil aggregates under long-term no tillage in semiarid Aragon (NE Spain). Geoderma 189, 423-430.

Braida, João Alfredo Reichert, José Miguel Veiga, Milton da Reinert, José, D., 2006. Mulch and soil organic carbon content and their relationship with the maximum soil density obtained in the proctor test. Revista Brasileira de Ciência do Solo 30(4), 605-614.

Bronick, C.J.a., Lal, R., 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. Soil and Tillage research 81(2), 239-252.

Casagrande, A., 1936. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance.

Chen, L.C., Papandreou, G., Kokkinos, I., Murphy, K., Yuille, A.L., 2014. Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected crfs. arXiv preprint arXiv:1412.7062.

Da Veiga, Milton Horn, Rainer Reinert, Dalvan José Reichert, Miguel, J., 2007. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. Soil and Tillage Research 92(1), 104-113.

Gerontidis, DV St Kosmas, C Detsis, B Marathianou, Maria Zafirious, T Tsara, M., 2001. The effect of moldboard plow on tillage erosion along a hillslope. Journal of Soil and Water Conservation 56(2), 147-152.

Ghanbari, B., A, 2000. Intercropped wheat and bean as a low-input forage, PhD thesis. Wye College. Univ. London.

Ghorbani, R., M. H. Rashed Mohassel, S. A. Hosseini, S. K. Mousavi, Ghalibaf, K.H., 2009. Sustainable weed management. Ferdowsi University of Mashhad Press, 924.

Gomez, Jerez, Pilar Céspedes-Lorente, José Valle-Cabrera, Ramón, 2005. Organizational learning capability: a proposal of measurement. Journal of business research 58(6), 715-725.

Gompertz, B., 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. Philosophical transactions of the Royal Society of London 115, 513-583.

Gregory, AS Whalley, WR Watts, CW Bird, NRA Hallett, PD Whitmore, A., 2006. Calculation of the compression index and precompression stress from soil compression test data. Soil and Tillage Research 89(1), 45-57.

Hamza, M.a., Anderson, W., 2005. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. Soil and Tillage Research 82(2), 121-145.

Higashi, Tatsuya Yunghui, Mu Komatsuzaki, Masakazu Miura, Shigenori Hirata, Toshiyuki Araki, Hajime Kaneko, Nobuhiro Ohta, Hiroyuki, 2014. Tillage and cover crop species affect soil organic carbon in Andosol, Kanto, Japan. Soil and Tillage Research 138, 64-72.

Imhoff, Silvia Da Silva, Alvaro Pires Fallow, David, 2004. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility of Hapludox. Soil Science Society of America Journal 68(1), 17-24.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

Keller, Lamandé, T., Schjønning, M., Dexter, P., R, A., 2011. Analysis of soil compression curves from uniaxial confined compression tests. Geoderma 163(1), 13-23.
Keller, T.a., Arvidsson, J., 2007. Compressive properties of some Swedish and Danish structured agricultural soils measured in uniaxial compression tests. European Journal of Soil Science 58(6), 1373-1381.
Koolen, A., 1974. A method for soil compactibility determination. Journal of Agricultural Engineering Research 19(3), 271-278.
Koolen, A., Kuipers, H., 1989. Soil deformation under compressive forces, Mechanics and Related Processes in Structured Agricultural Soils. Springer, pp. 37-52.
Koolen, A.a., Kuipers, H., 1983. Agricultural Soils Mechanics. Advanced Series in Agrigultural Science, 13. Springer Verlag Heidelberg.
Kuan, H., Hallett, P., Griffiths, B., Gregory, A., Watts, C., Whitmore, A., 2007. The biological and physical stability and resilience of a selection of Scottish soils to stresses .European Journal of Soil Science 58(3), 811-821.
Lampurlanés, J Angás, P Cantero-Martınez, C., 2001. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semiarid conditions. Field Crops Research 69(1), 27.۴۰-
Lapen, DR Topp, GC Gregorich, EG Curnoe, W., 2004. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. Soil and Tillage Research 78(2), 151-170.
Mazaheri, D., 2008. Intercropping. (2nd Ed.). Tehran, Iran) .In Farsi.(
Mohammadi, J., 2006. Pedometry-First volume: Classic Statistics. Pelk Press, 531.
Moradi, F., Khalili Moghaddam, B., Gafari, C., Ghorbani Dashtaki, S., 2014. mechanized cultivation and long-term impact on some soil physical properties in a number of sugar cane agro-industry in Khuzestan province. Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology) 27, 1153-1165(In Farsi).
Mosaddeghi, MR Hajabbasi, MA Hemmat, A Afyuni, M., 2000. Soil compactibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. Soil and Tillage Research 55(1), 87-97.
Pereira, JO Défossez, P Richard, G., 2007. Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system .European Journal of Soil Science 58(1), 34-44.
Pytka, J., 2001. Load effect upon soil stress and deformation state in structured and disturbed sandy loam for two tillage treatments. Soil and Tillage Research 59(1), 13-25.
Quincke, JA Wortmann, CS Mamo, M Franti, T Drijber, RA Garcia, J., 2007. One-time tillage of no-till systems. Agronomy Journal 99(4), 1104-1110.
Salih, AA Babikir, HM Ali, SAM, 1998. Preliminary observations on effects of tillage systems on soil physical properties, cotton root growth and yield in Gezira Scheme, Sudan. Soil and Tillage Research 46(3), 187-191.
Samadani, B., and , Montazeri, M., 2009. The use of cover crop in sustainable agriculture. Iranian Research Institute of Plant Protection Press. (In Persian), 186.
SAS, L.E., 2002 .Getting started with the SAS Learning Edition. Cary, 200.
Singh, B.R.a., Haile, M., 2007. Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen use efficiency of tef (Eragrostis tef (Zucc.) Trotter) and soil properties. . Soil and Tillage
Research 94, 55-63.
Sullivan, Enid J Reimus, Paul W Counce, A, D., 2003. Transport of a reactive tracer in saturated alluvium described using a three-component cation-exchange model. Journal of contaminant hydrology 62, 675-694.
Villamil, MB Bollero, GA Darmody, RG Simmons, FW Bullock, D., 2006. No-till corn/soybean systems including winter cover crops. Soil Science Society of America Journal 70(6), 1936-1944.
Zamani, P., 2011. Statistical designs in animal science. Bu-Ali Sina University Hamedan Press. (In Farsi.(

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران