تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۵، بهمن و اسفند ۱۳۹۶ (ص ۱۰۲۹-۱۰۱۵) DOI: 10.22059/ijswr.2017.136721.667343

تأثیر انواع خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت کششی خاکدانه‌ها و مقاومت فروروی یک خاک لوم سیلتی در همدان

زینب زنگنه بیغش[۱]، حسین بیات[۲*]، فرهاد بایزیدی[۳]، جواد حمزه‌ای[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. دانشیار، گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۴. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۳۰ – تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۳/۱۴- تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۳/۱۷)

چکیده

عملیات مدیریتی خاک تأثیر متفاوتی بر مقاومت در مکش‌های مختلف دارند که به‌ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه تأثیر توأم عوامل خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت کششی خاکدانه‌ها و مقاومت فروروی خاک در مکش‌های متفاوت بررسی شد. اثر عامل خاک‌ورزی در سه سطح شخم با گاوآهن برگردان، چیزل و بدون خاک‌ورزی و عامل گیاه پوششی در سه سطح ماشک، خلر و بدون گیاه پوششی با آزمون فاکتوریل در سه تکرار اعمال شد. پایداری خاکدانه‌ها با روش الک تر، مقاومت کششی خاکدانه‌ها با روش غیرمستقیم دکستر و کروسبرگن و مقاومت فروروی خاک با دستگاه فروسنج ریز اندازه‌گیری شدند. عملیات مدیریتی خاک در مکش ۳۰ کیلوپاسکال بیش‌ترین تأثیر را بر خصوصیات مقاومتی خاک نشان داد. عامل بدون خاک‌ورزی به علت کاهش شدت خاک‌ورزی و دست‌نخورده بودن خاک باعث کاهش مقاومت کششی شد. تیمار خاک‌ورزی حفاظتی-خلر باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در فصل بهار به مقدار ۱۵۵ درصد نسبت به تیمار بدون خاک‌ورزی-بدون گیاه پوششی شد. همچنین تیمار مذکور باعث افزایش مقاومت کششی خاکدانه‌ها در فصل پاییز در دامنه ۷ تا ۴۵ درصد نسبت به سایر تیمارها شد. تیمار خاک‌ورزی حفاظتی-بدون گیاه پوششی در غالب مکش‌ها باعث کاهش مقاومت فروروی نسبت به غالب تیمارها در دامنه ۴/۵ تا ۹۹ درصد شد. احتمالاً علت آن شخم سطحی خاک و کاهش تردد ماشین‌آلات کشاورزی بود. بنابراین کاربرد گیاه پوششی خلر با خاک‌ورزی حفاظتی در زمین‌های زراعی توصیه می‌شود. نتایج مطالعه مقاومت خاکدانه‌ها با انجام تحقیقات بیشتر، می‌تواند در تعیین زمان بهینه انجام عملیات خاک‌ورزی از نظر رطوبتی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: تراکم، خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی حفاظتی، خلر، ماشک

Archive of SID

مقدمه

کشاورزی پایدار از اجزای مهم و تفکیک‌ناپذیر در توسعه کشاورزی نوین است. مدیریت خاک از اجزای اصلی کشاورزی پایدار بوده و خاک‌ورزی از ضروری‌ترین بخش‌های این نوع مدیریت محسوب می‌شود. خاک‌ورزی به‌طورکلی یکی از کارهای اساسی زراعی در کشاورزی است. چراکه بر خواص خاک، محیط و نهایتاً تولید محصول تأثیر دارد (Boydas and Turgut, 2007). با توجه به بحران انرژی در عصر حاضر و ضرورت توجه به افزایش کارآیی مصرف انرژی در تمام بخش‌های تولید، استفاده از روش‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی جزء اولویت‌های تحقیقات دنیا می‌باشد.

روش خاک‌ورزی مرسوم با حداکثر استفاده از ادوات خاک‌ورزی مانند گاوآهن برگردان و دیسک طی چند مرحله باعث فشردگی و تخریب ساختمان خاک می‌شود. فشردگی خاک بر خصوصیات گیاه از قبیل جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، عملکرد محصول، نفوذپذیری آب و زهکشی اثر منفی دارد (Fuentes *et al*., 2004). قابلیت تراکم خاک و تخریب ساختمان خاک در خاک‌ورزی مرسوم به‌طور چشم‌گیری بیش‌تر از خاک‌ورزی حفاظتی است که علت آن می‌تواند ضعیف‌تر بودن ساختمان و سستی ذرات در خاک‌ورزی مرسوم باشد (Pytka, 2001). روش خاک‌ورزی مرسوم، با به هم زدن خاک باعث تجزیه بیش‌تر و سریع‌تر بقایای گیاهی شده و درنهایت موجب کاهش مواد آلی می‌شود (Dorneles *et al*., 2015). خاک‌ورزی حفاظتی، سیستم‌های تولید محصول با مدیریت و حفظ بقایای گیاهی

* نویسنده مسئول : h.bayat@basu.ac.ir

www.SID.ir

می‌باشد که در آن حداقل ۳۰٪ از سطح زمین توسط بقایای گیاهی پس از کشت پوشیده باقی می‌ماند. روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی موجب حفظ بقایا در سطح خاک (Stroosnijder, 2008)، کاهش فرسایش خاک (Wright, 2005)، افزایش تخلخل درشت و پیوستگی خلل و فرج خاک به علت تشکیل خاکدانه‌های پایدار می‌شوند. روش مدیریت خاک برای کنترل تراکم خاک شامل شخم متناوب و استفاده از چیزل توسط چندین محقق گزارش شده است (Tavares Filho *et al*., 2006 and Silva *et al*., 2012). انواع خاک‌ورزی حفاظتی عبارت‌اند از خاک‌ورزی پوششی[1]، خاک‌ورزی پشته‌ای[2]، بی‌خاک‌ورزی[3] و کم خاک‌ورزی[4]. بدون خاک‌ورزی یکی از مؤلفه‌های مهم کشاورزی حفاظتی است. در این روش هیچ نوع عملیات خاک‌ورزی صورت نمی‌پذیرد و تنها ماشین کاشت، کود و بذر را بدون برهم‌خوردگی در خاک قرار می‌دهد (Lugandu, 2013). به هم نخوردن ساختمان خاک در روش بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، باعث حفظ بیش‌تر خصوصیات مهم خاک ازجمله خاکدانه‌ای ماندن، افزایش ماده آلی (Dorneles *et al*., 2015)، نفوذ بیش‌تر آب در خاک (Tullberg, 2010)، حفظ آب و خاک، افزایش عملکرد زراعی (Silva *et al*., 2012) و کاهش فرسایش خاک (Dabney *et al*., 2004) می‌شود.

سالانه مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از مواد غذایی خاک به‌صورت محصول و مواد آلی از زمین‌های زراعی خارج می‌گردد. با خروج این حجم عظیم از مواد گیاهی، منابع تأمین انرژی و مواد غذایی به‌ویژه مواد آلی در خاک به‌تدریج کاهش می‌یابد. از گیاهان پوششی به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی، تولید پایدار، افزایش مواد آلی خاک، بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک (Lamei Hervani *et al*., 2013)، افزایش عملکرد زراعی (Alcántara *et al*., 2011)، حفظ و یا افزایش قابلیت دسترسی سایر گیاهان به عناصر غذایی، جلوگیری از فرسایش خاک و کنترل علف‌های هرز می‌توان استفاده کرد (Bond *et al*., 2003). به هر گیاهی که سطح خاک را پوشانده و باعث بهبود باروری خاک و کاهش علف‌های هرز شود، گیاه پوششی گفته می‌شود (Ghorbani *et al*., 2009). همچنین، این گیاهان می‌توانند یک خاک‌ورزی کننده زنده باشند، زیرا نفوذپذیری خاک را افزایش داده و لایه‌های متراکم خاک را می‌شکنند (Samadani and Montazeri, 2009). بنابراین، به‌کارگیری روش‌های صحیح مدیریت خاک‌ورزی و کاشت گیاهان پوششی می‌تواند گام مؤثری در حفظ خصوصیات فیزیکی و تأمین مواد غذایی خاک و درنهایت نیل به کشاورزی پایدار باشد. برای بررسی تأثیر عملیات مدیریتی مانند روش‌های خاک‌ورزی و گیاهان پوششی بر ساختمان خاک باید از خصوصیات ساختمانی حساس مانند میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها[5] (MWD)، مقاومت کششی[6] (TS) و مقاومت فروروی[7] (PR) استفاده نمود. اندازه‌گیری TS خاکدانه‌ها از روش‌های ارزیابی پایداری ساختمان خاک در برابر تنش‌های مکانیکی می‌باشد (Dexter and Kroesbergen, 1985). مقاومت کششی به‌عنوان نیرو در واحد سطح موردنیاز برای شکستن خاکدانه‌ها به ذرات کوچک‌تر تعریف شده و یک پارامتر با ارزش از ساختمان میکروسکوپی خاک است. مقاومت کششی خاک متأثر از مواد آلی خاک، تخلخل، بافت خاک و مقدار آب خاک است (Imhoff *et al*., 2002 and Munkholm and Kay, 2002). مقایسه دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم (برگردان) و حفاظتی (چیزل) نشان داده است که کم‌ترین شکنندگی و بیش‌ترین مقاومت کششی خاکدانه‌ها در بلندمدت در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی بود، که دلیل آن تخریب کم‌تر خاکدانه‌ها درنتیجه خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد (Munkholm *et al*., 2001). درحالی‌که عملیات بدون خاک‌ورزی در بلندمدت باعث کاهش مقاومت کششی در برابر خاک‌ورزی مرسوم می‌شود (Blanco-Canqui *et al*., 2005a). همچنین مقاومت کششی خاکدانه‌ها در بلندمدت در تیمار بدون خاک‌ورزی نسبت به تیمار خاک‌ورزی با چیزل کم‌تر است (Abid and Lal, 2009). برخی محققین (Abid and Lal, 2009) کاهش مقاومت کششی در سیستم بدون خاک‌ورزی را به افزایش مقدار ماده آلی در بلندمدت نسبت داده‌اند. چراکه سیستم بدون خاک‌ورزی موجب افزایش مقدار مواد آلی در لایه‌های سطحی می‌شود (Conceição *et al*., 2013).

مقاومت فروروی (PR) خاک از دیگر ویژگی‌های ساختمانی حساس به مدیریت خاک بوده و عبارت است از آسانی حرکت یک جسم به داخل خاک که توسط دستگاهی به نام فروسنج اندازه‌گیری می‌شود. بافت خاک، مواد آلی، مقدار آب (Herrick and Jones, 2002)، تراکم، عمق خاک و جرم مخصوص ظاهری از عامل‌های مؤثر بر مقاومت مکانیکی خاک در برابر فروسنج می‌باشند. مقاومت فروروی تحت تأثیر عملیات

1 . Mulch tillage
2 . Ridge tillage
3 . No - tillage
4 . Reduced tillage

5. Mean weight diameter
6. Tensile strength
7. Penetration resistance

Archive of SID

www.SID.ir

مدیریتی قرار می‌گیرد. 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. خاک‌های شخم‌خورده اغلب مقاومت کم‌تری دارند ولی پدیده تراکم مجدد ممکن است در آن‌ها راحت‌تر به‌وجود آید (Munkholm *et al*., 2001). سیستم بدون خاک‌ورزی موجب افزایش مقاومت فروروی خاک می‌شود (Celik, 2011) و خاک‌ورزی حفاظتی با کاهش جرم مخصوص ظاهری باعث کاهش مقاومت فروروی می‌شود. بر اساس برخی مشاهدات مقاومت فروروی در رطوبت‌های متفاوت، روند خاصی را در تیمارهای متفاوت گیاه پوششی نشان نداده است (Ley *et al*., 1993). افزایش مقدار ماده آلی موجب کاهش مقاومت فروروی در یک خاک لوم سیلتی شد (Gao *et al*, 2012) و وابستگی مقاومت فروروی به ماده آلی در شرایط مرطوب مشهودتر از شرایط خشک است (Gao *et al*., 2012). همبستگی بین مقاومت فروروی و درصد رطوبت در ارتباط با نوع و ساختمان خاک است (To and Kay, 2005). همچنین این همبستگی در ارتباط با نوع مدیریت می‌باشد (Lapen *et al*, 2004). اثر توأم گیاهان پوششی و خاک‌ورزی‌های مختلف بر مقاومت کششی و مقاومت فروروی در مکش‌های مختلف در هیچ منبعی گزارش نشده است؛ بنابراین هدف این پژوهش عبارت بود از بررسی اثر کوتاه‌مدت عملیات مدیریتی خاک شامل تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی و اثر متقابل آن‌ها بر پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت کششی خاکدانه‌ها و مقاومت فروروی خاک در مکش‌های متفاوت.

مواد و روش‌ها

اجرای طرح

برای بررسی تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی و نوع گیاه پوششی بر پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت کششی خاکدانه‌ها و مقاومت فروروی خاک در مکش‌های متفاوت، عامل خاک‌ورزی در سه نوع شامل خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان، MP[1])، خاک‌ورزی حفاظتی (شخم با چیزل، CP[2]) و بدون خاک‌ورزی (NT)[3] و عامل گیاه پوششی در سه نوع شامل، خلر، ماشک و بدون گیاه پوششی به‌صورت آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا- همدان (دستجرد)، اجرا شد. به‌طوری‌که در این پژوهش ۲۷ واحد آزمایشی (به ابعاد ۱۲×۲۲ متر) ایجاد شد. در خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان با عمق ۳۰ سانتی‌متر و در خاک‌ورزی حفاظتی از چیزل با عمق کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. گیاه پوششی خلر و ماشک به‌وسیله دست در اسفندماه سال ۸۹ کاشته شد و در خردادماه ۹۰ قبل از رسیدن کامل گیاه پوششی با رعایت دقیق تیمارهای خاک‌ورزی، به خاک برگردانده شد. به‌طوری‌که در خاک‌ورزی مرسوم گیاه پوششی به‌طور کامل با خاک مخلوط و در بدون خاک‌ورزی گیاه پوششی از قسمت یقه قطع و در سطح خاک رها شد و در خاک‌ورزی با چیزل به‌صورت سطحی خاک‌ورزی انجام گرفت. در این نوع خاک‌ورزی با توجه به نوع گاوآهن و شخم سطحی حدود ۳۰ درصد بقایا در سطح خاک باقی ماند. علت استفاده از گیاهان پوششی مذکور این بود که خلر و ماشک جزء خانواده لگوم‌ها می‌باشند و قدرت تثبیت همزیست نیتروژن را دارند که در باروری خاک مؤثر است (Suivan and Diver, 2001). همچنین تاج پوشش زیادی دارند که با پوشش سطح خاک مانع از فرسایش آن می‌شوند و ماده آلی سبز زیادی به خاک اضافه می‌کنند. به همین علت خلر و ماشک به‌عنوان گیاهان پوششی مورد استفاده قرار گرفتند. سپس گیاه اصلی (ذرت دانه‌ای) با فاصله ردیفی ۷۵ سانتی‌متر به‌صورت ردیفی و با دست کاشته شد. کشت ذرت به‌صورت آبی و دوره رشد آن ۴ ماه بود و زمین ازنظر شیب تقریباً مسطح بود. تحقیق حاضر در دو سال زراعی پیاپی انجام شد و شروع طرح مذکور از سال ۸۹ بوده و تمام کارهای انجام‌شده در سال ۸۹-۹۰ دقیقاً در سال ۹۰-۹۱ نیز انجام شد.

نمونه‌برداری خاک در دو نوبت بهار و پاییز سال ۹۱ انجام شد. نمونه‌برداری بهار در خردادماه بعد از کشت گیاه پوششی انجام گرفت و از هر واحد آزمایشی یک نمونه خاک دست‌خورده و یک نمونه خاک دست‌نخورده به‌صورت ساده از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری با استفاده از سیلندرهای استیل با قطر ۵/۱ و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر برداشت شد. چون عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری تحت تأثیر هر دو نوع خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم قرار گرفت، بنابراین امکان مقایسه تأثیر تیمارها در آن وجود داشت. به‌همین علت نمونه‌برداری از عمق مذکور انجام شد. نمونه‌برداری نوبت پاییز در پایان مرحله برداشت محصول (گیاه ذرت)، در مهرماه انجام گرفت. به‌طوری‌که از هر واحد آزمایشی از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری یک نمونه خاک دست‌خورده به‌صورت ساده و ۸

1. Moldboard plow (Conventional tillage)
2. Chisel plow (Minimum tillage)
3. No tillage

Archive of SID

www.SID.ir

نمونه خاک دست‌نخورده، کاملاً از کنار یکدیگر، برداشت شد.

پایداری خاکدانه‌ها

برای به دست آوردن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) از روش الک تر (Kemper and Rosenau, 1986) استفاده شد. با توجه به ویژگی‌های خاک، در این روش اصلاحاتی توسط Bayat (2003) صورت گرفت. مقدار ۳۰ گرم از خاکدانه‌ها با قطر ۴ تا ۸ میلی‌متر (Bayat, 2003) بر روی سری الک‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ میلی‌متری در داخل آب الک شد. پس از ۱۲/۵ دقیقه نوسان کردن الک‌ها (Bayat, 2003)، دستگاه را خاموش کرده و الک‌ها از آب بیرون آورده شد و محتویات هر یک از الک‌ها درون یک پتری دیش شسته شد و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیده و سپس وزن شدند. در مرحله بعد نمونه‌های درون هر پتری که آون خشک شده بودند بر روی همان سری الک‌ها ریخته و شسته شدند. سپس شن مانده بر روی هر الک درون پتری دیش ریخته شد و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و بعد وزن شدند. وزن آب خاکدانه‌های هواخشک با قرار دادن ۱۰ گرم از آن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد و بر پایه gg^{-1} محاسبه شد. از رابطه زیر برای برآورد خاکدانه‌های پایدار در آب[1] (WSAi) استفاده شد:

$$WSAi = (W_{2i} - W_{3i}) / (W_s - \sum W_{3i}) \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

$$W_s = (W_1 / (1 + W_c))$$

که در آن: W_1 جرم کل خاکدانه‌های هواخشک (g)، W_2جرم خشک خاکدانه‌ها در هر یک از الک‌ها (g)، W_3 جرم شن مانده بر روی هر الک (g)، W_C جرم آب خاکدانه‌های هواخشک (g) و W_s جرم آون‌خشک کل (در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) خاکدانه‌ها (g) است.

برای محاسبه MWD از رابطه زیر استفاده شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} x_i WSA_i \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن: MWD میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm) بوده و شاخصی از پایداری خاکدانه‌ها است، i: شاخص کلاس اندازه و n تعداد غربال‌ها که در این آزمایش ۵ الک به کار رفت، x_i: میانگین قطر خاکدانه‌های به‌جامانده بر روی هر الک که برابر میانگین قطر (mm) روزنه‌های غربالی که خاکدانه‌ها بر روی آن به‌جامانده بود و قطر روزنه غربال بالایی آن بود.

مقاومت کششی خاکدانه‌ها

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی، از خاکدانه‌هایی به قطر ۴ تا ۸ میلی‌متر استفاده شد. علت استفاده از خاکدانه‌هایی به قطر مذکور، سهولت جمع‌آوری آن‌ها و سهولت اندازه‌گیری مقاومت کششی آن‌ها بر اساس دستگاه‌های موجود بود. اندازه‌گیری مقاومت کششی در مکش‌های ماتریک ۱۰، ۳۰، ۱۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های پاییز و در مکش‌های ۱۰، ۳۰، ۱۰۰، ۴۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های بهار انجام شد. دلیل استفاده از این مکش‌های ماتریک گسترده بودن دامنه رطوبتی موردنظر بود. در ابتدا برای هر تیمار و تکرار، ۴۰ خاکدانه به‌طور تصادفی انتخاب شد. اندازه‌گیری مقاومت کششی با روش غیرمستقیم (Dexter and Kroesbergen, 1985) انجام شد. مبنای کار این روش، اندازه‌گیری نیروی فشاری لازم برای خرد کردن یک خاکدانه در میان دو صفحه بارگذاری صاف و موازی است. به دلیل ضعیف بودن خاکدانه‌ها دستگاه تک‌محوری قادر به خواندن نیروی بیشینه شکست آن‌ها نبود. بنابراین از دستگاه دیگری استفاده شد. در این دستگاه قطعه‌ای که مستقیماً روی خاکدانه قرار می‌گیرد، به کمک یک اهرم و ظرف آب انتهای آن بر نمونه نیرو وارد می‌کند (شکل ۱). با افزودن تدریجی آب به ظرف، در مرحله‌ای که تنش بحرانی برابر مقاومت خاکدانه شد، خاکدانه گسسته شده و ترک برمی‌دارد. در این لحظه افزودن آب قطع شده و جرم آب موجود در ظرف قرائت می‌شود (Dexter and Kroesbergen, 1985). مقدار نیروی فشاری لازم برای شکست خاکدانه برحسب نیوتن از رابطه زیر محاسبه شد:

$$F = \left[M_C g \times \left(\frac{x_1}{x_2} \right) \right] \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن: M_C، جرم آب لازم برای شکست خاکدانه (kg)، x_1، طول اهرم بالا (m)، x_2، طول اهرم پایین (m) و g، شتاب ثقل (ms^{-2}) است. درنهایت مقاومت کششی خاکدانه به کمک رابطه زیر محاسبه شد:

(رابطه ۴)

$$Y = 0.576 \times \frac{F}{d_{eff}^2}$$

که در آن: F، نیروی فشاری بیشینه (برحسب نیوتن) مورد نیاز برای شکست خاکدانه، d_{eff}، قطر مؤثر برحسب متر و Y، مقاومت کششی خاکدانه برحسب پاسکال می‌باشد.

(رابطه ۵)

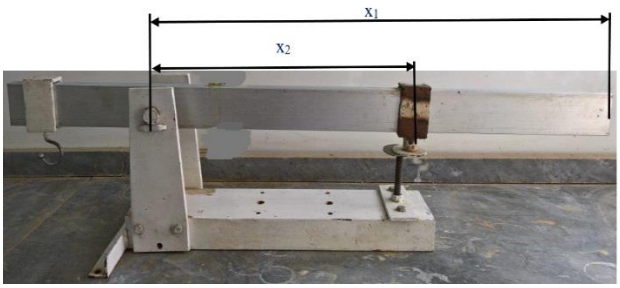
$$d_{eff} = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}$$

1. Water stable aggregates

Archive of SID

www.SID.ir

که در آن: d_{max}، حداکثر قطر خاکدانه (۸ میلی‌متر) و d_{min}، حداقل قطر خاکدانه (۴ میلی‌متر) است.



شکل ۱- دستگاه مورداستفاده برای اندازه‌گیری نیروی لازم برای شکست خاکدانه‌ها.

مقاومت فروروی خاک

برای اندازه‌گیری مقاومت فروروی خاک بر روی نمونه‌های دست‌نخورده در مکش‌های ماتریک ۶، ۱۰، ۳۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال یک مخروط با قطر قاعده ۲ میلی‌متر و زاویه مخروط ۳۰ درجه در داخل کشور طراحی و به دستگاه تک‌محوری مدل ژجیانگ ژئوتکنیکال متصل شد و بدین ترتیب دستگاه فروسنج ریز حاصل شد (شکل ۲). چون یکی از عامل‌های مهم و مؤثر بر مقاومت فروروی رطوبت (Allen and Musick, 1997) و یا مکش خاک است و هدف این تحقیق اندازه‌گیری مقاومت فروروی در مکش‌های مشخص بود و امکان تعادل خاک مزرعه در مکش‌های مشخص نبود، بنابراین راهی جز نمونه‌برداری و اندازه‌گیری مقاومت فروروی در آزمایشگاه وجود نداشت. علت بررسی تأثیر تیمارها بر مقاومت فروروی در مکش‌های مختلف این است که همبستگی بین مقاومت فروروی و درصد رطوبت در ارتباط با نوع و ساختمان خاک (To and Kay, 2005)، نوع مدیریت (Lapen *et al*, 2004) و مواد آلی خاک (Gao *et al*., 2012) می‌باشد. به‌عنوان‌مثال وابستگی مقاومت فروروی به ماده آلی در شرایط مرطوب مشهودتر از شرایط خشک است (Gao *et al*., 2012). به‌همین علت تأثیر انواع خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقاومت فروروی در مکش‌های مختلف بررسی شد تا مشخص شود در کدام مکش‌ها تأثیر عملیات مدیریتی بر مقاومت فروروی بیشترین است. به‌عبارت‌دیگر تأثیر تیمارها بر مقاومت فروروی در کدام مکش‌ها به‌خوبی قابل‌تفکیک است. از کاربردهای نتایج تحقیق این است که با تشخیص حساسیت مقاومت فروروی به عملیات مدیریتی، عملیات خاک‌ورزی در رطوبتی انجام می‌شود که موجب افزایش مقاومت فروروی نگردد.

اندازه‌گیری نیرو در هر سیلندر با دو تکرار و در عمق‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ سانتی‌متر انجام شد. سپس میانگین ۱۲ نقطه اندازه‌گیری برای محاسبه مقاومت فروروی (PR) استفاده شد (Jones, 1983).

$$PR = \frac{F_{average}}{A_{cone}}$$

(رابطه ۶)

که در آن: $F_{average}$، میانگین نیرو برحسب کیلونیوتن و A_{cone}، سطح قاعده مخروط فروسنج (m^2) می‌باشد.

شکل ۲- دستگاه فروسنج ریز

تجزیه‌وتحلیل 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. درصورتی‌که 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 بررسی نرمال بودن ویژگی‌های خاک استفاده کرده‌اند (Moradi *et al*. 2014 and 2015, Kakaeian *et al*., 2015; Blanco-Moure *et al*., 2012). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین 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).

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک موردبررسی در این پژوهش در جدول (۱) نشان داده شده است. بافت خاک موردمطالعه لوم‌سیلتی بود. اسیدیته خاک موردمطالعه بیشتر از خنثی بوده و در دامنه قلیائیت معتدل قرار داشت (Bruse and Rayment, 1982). هدایت الکتریکی نشان داد که خاک موردنظر غیرشور (Rhoades *et al*., 1992) و با توجه به اسیدیته خاک که

Archive of SID
www.SID.ir

کمتر از ۸/۵ بود، در کلاس خاک‌های نرمال قرار گرفت. گنجایش تبادل کاتیونی کم (Metson, 1961) و مقدار بالای آهک خاک، آن را جزء خاک‌های آهکی قرار داد (Hazelton and Murphy, 2007). میزان سنگریزه و پایداری خاکدانه‌های خاک موردمطالعه کم (Kemper and Rosenau, 1986) و میزان جرم مخصوص ظاهری خاک موردبررسی برابر با میزان جرم مخصوص ظاهری خاک‌های کشاورزی بود (Cresswell and Hamilton, 2002).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک موردبررسی.

ویژگی	مقدار
شن (٪)	۲۷/۵۶
سیلت (٪)	۶۵/۴۴
رس (٪)	۷/۰۰
اسیدیته	۷/۸۵
هدایت الکتریکی ($\mu S\ cm^{-1}$)	۱۷۶/۸۴
گنجایش تبادل کاتیونی ($cmol_c\ kg^{-1}\ soil$)	۱۰/۹۰
جرم مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	۱/۴۳
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)	۱/۵۰
سنگریزه (٪)	۸/۰۰
کربنات کلسیم معادل (٪)	۱۹/۸۸

پایداری خاکدانه‌ها

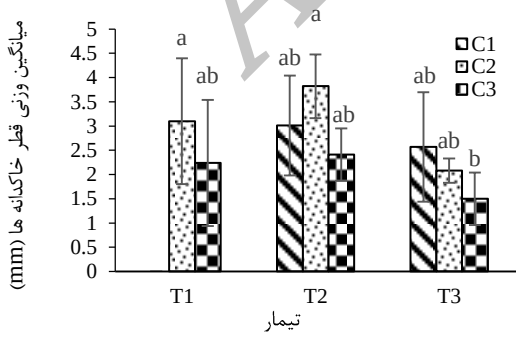
نتایج تجزیه واریانس تأثیر عوامل خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در فصل بهار و پاییز در جدول (۲) نشان داده شده است. عوامل خاک‌ورزی و گیاه پوششی و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بر پایداری خاکدانه‌ها نداشتند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر پایداری خاکدانه‌ها در فصل بهار و پاییز.

منابع تغییر	درجه آزادی	MWD (mm)	
		بهار	پاییز
		میانگین مربعات خطا	
تکرار	۲	۱/۱۴^{ns}	۱/۳۹^{ns}
خاک‌ورزی	۲	۲/۵۸^{ns}	۸/۷۲^{ns}
گیاه پوششی	۲	۲/۳۱^{ns}	۴/۱۹^{ns}
اثر متقابل	۴	۰/۴۴^{ns}	۰/۷۳^{ns}
خطا	۱۶	۰/۷۴	۵/۶۲

^{ns}: نشان‌دهنده عدم تأثیر معنی‌دار می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن اثر متقابل عوامل خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر پایداری خاکدانه‌ها در فصل بهار در شکل (۳) نشان داده شده است. در بخش اثر متقابل برای نمونه‌های بهار، تیمار خاک‌ورزی حفاظتی - خلر موجب افزایش معنی‌دار پایداری خاکدانه‌ها نسبت به تیمار بدون خاک‌ورزی- بدون گیاه پوششی شد (شکل ۳)؛ بنابراین خاک‌ورزی حفاظتی با دست‌کاری کم‌تر خاک و حفظ بقایای گیاهی (گیاه پوششی خلر) باعث بهبود مواد آلی، افزایش پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک و کیفیت فیزیکی خاک شد. کاشت گیاهان پوششی در زمستان به دلیل تأثیر مکانیکی ریشه‌ها و ترشح مواد چسبنده می‌تواند به تجمع خاکدانه‌ها و بهبود ساختار خاک منجر شود (Rosa *et al*., 2012). سایر پژوهشگران نیز عنوان کرده‌اند که کاربرد گیاهان پوششی از تخریب ساختمان خاک و فرسایش آن جلوگیری کرده و ترددپذیری خاک نسبت به ماشین‌آلات را بهبود می‌بخشد (Virto *et al*., 2012). ارتباط بین پایداری خاکدانه‌ها و افزایش مقدار MWD با ماده آلی، باعث بهبود خاکدانه‌سازی و ایجاد خاکدانه‌های بزرگ‌تر خواهد شد (Bouajila and Gallali, 2010). چراکه در این تحقیق نیز خاک‌ورزی حفاظتی با حفظ بقایای گیاه پوششی خلر باعث افزایش MWD شد. درواقع برجای ماندن بقایای گیاهی (کاه و کلش) نسبت به حذف کامل این بقایا از خاک، سبب افزایش معنی‌دار درصد خاکدانه‌های پایدار در آب می‌شود (Choudhury *et al*., 2014). نقش مواد آلی در افزایش پایداری خاکدانه‌ها و به دنبال آن ایجاد خاکدانه‌های بزرگ‌تر و افزایش مقدار MWD با افزایش نیروی پیوستگی بین خاکدانه‌ها توسط ترکیبات موجود در مواد آلی مرتبط است (Annabi *et al*., 2007). مقایسه میانگین پایداری خاکدانه‌ها با آزمون دانکن در تیمارهای متفاوت خاک‌ورزی و گیاه پوششی برای نمونه‌های پاییز تفاوت معنی‌داری نشان نداد (داده‌ها نشان داده نشده است).



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر سطوح خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm) برای نمونه‌های بهار. T_1، T_2 و T_3 به ترتیب نشان‌دهنده خاک‌ورزی مرسوم (برگردان)، حفاظتی (چیزل) و بدون خاک‌ورزی و C_1، C_2 و C_3 به ترتیب نشان‌دهنده گیاه پوششی ماشک، خلر و شاهد می‌باشند. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

Archive of SID

www.SID.ir

مقاومت کششی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر عوامل خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها در مکش‌های مختلف در جدول (۳) نشان داده شده است. علت بررسی تأثیر تیمارها بر مقاومت کششی در مکش‌های مختلف این است که منحنی مقاومت کششی یا وابستگی مقاومت کششی به رطوبت بیان‌کننده تأثیر غالب رطوبت بر مقاومت مکانیکی خاک است (Lou *et al.*, 2009). بین مقاومت کششی و مکش خاک یک همبستگی مثبت وجود دارد و این همبستگی در ارتباط با نوع و ساختمان خاک (Chaplain *et al.*, 2011) و مدیریت خاک می‌باشد؛ بنابراین تأثیر مکش (یا رطوبت) و سایر ویژگی‌ها مانند بافت، ساختمان، ماده آلی و مدیریت خاک بر مقاومت کششی دارای برهمکنش است. به‌عبارت‌دیگر تأثیر تیمارهای مختلف بر مقاومت کششی در مکش‌های مختلف، متفاوت است؛ بنابراین تشخیص اینکه در چه مکشی اثر تیمارهای مدیریتی بر مقاومت کششی و درنتیجه ساختمان خاک بیشترین مقدار است، حائز اهمیت فراوان است. چراکه باعث تشخیص و تفکیک اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت کششی درنتیجه ساختمان خاک می‌گردد که این نکته در تحقیق حاضر مورد تأکید بوده است. از سوی دیگر افزایش مقاومت کششی نیروی کششی لازم برای ادوات خاک‌ورزی را افزایش می‌دهد؛ بنابراین پاسخ به این سؤال که در دامنه رطوبتی مناسب برای تردد ادوات خاک‌ورزی، چه عملیات مدیریتی انجام شود تا با کاهش مقاومت کششی، نیروی کششی و درنتیجه انرژی و هزینه لازم برای عملیات خاک‌ورزی کاهش یابد حائز اهمیت می‌باشد که با اندازه‌گیری مقاومت کششی در مکش‌های متفاوت، تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی و گیاه پوششی می‌توان به آن پاسخ داد. اثر اصلی عامل خاک-ورزی بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها در مکش ۳۰ کیلوپاسکال نمونه‌های پاییز معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) بود. در سایر مکش‌ها، مقاومت کششی خاکدانه‌های نمونه‌های بهار و پاییز تحت تأثیر تیمارهای موردبررسی (در سطح معنی‌داری ۵ درصد) قرار نگرفتند. با توجه به زمان‌بر بودن فرآیند تشکیل و افزایش مقاومت خاکدانه‌ها زمان لازم برای اثرگذاری تیمارها کم بوده و احتمالاً در طولانی‌مدت تأثیر مثبت تیمارها بر ساختمان خاک مشاهده می‌شود.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقاومت کششی در فصل بهار و پاییز.

منابع تغییر	درجه آزادی	مکش (kPa)				
		۱۰	۳۰	۱۰۰	۴۰۰	۸۰۰	۱۵۰۰
		میانگین مربعات خطا					
		بهار					
تکرار	۲	۵/۹۲^{ns}	۱/۴۶^{ns}	۸/۴۲^{ns}	۱۸/۸۸^{ns}		۱/۱۶^{ns}
خاک‌ورزی	۲	۱/۴۸^{ns}	۴/۸۰^{ns}	۲/۵۵^{ns}	۲/۹۸^{ns}		۳۲/۹۳^{ns}
گیاه پوششی	۲	۳/۵۰^{ns}	۲/۱۰^{ns}	۱/۷۶^{ns}	۱۷/۵۹^{ns}		۳/۸۱^{ns}
اثر متقابل	۴	۲/۵۵^{ns}	۱/۷۶^{ns}	۸/۳۷^{ns}	۱۰/۴۱^{ns}		۲۲/۲۳^{ns}
خطا	۱۶	۵/۲۱	۲/۱۲	۱۱/۰۷	۲۱/۰۰		۱۵/۳۷
		پاییز					
تکرار	۲	۵/۸۲^{ns}	۴/۲۰^{ns}	۳/۰۴^{ns}	۴/۸۳^{ns}	۸/۴۰^{ns}	۲۴/۵۹^{ns}
خاک‌ورزی	۲	۳/۳۰^{ns}	۸/۴۰*	۳/۵۹^{ns}	۱۷/۱۵^{ns}	۴/۰۴^{ns}	۱/۰۲^{ns}
گیاه پوششی	۲	۳/۱۴^{ns}	۶/۲۰^{ns}	۱/۸۹^{ns}	۹/۱۸^{ns}	۹/۳۰^{ns}	۶/۶۲^{ns}
اثر متقابل	۴	۱/۴۸^{ns}	۵/۲۱^{ns}	۱/۷۱^{ns}	۷/۷۵^{ns}	۸/۰۲^{ns}	۲۱/۳۲^{ns}
خطا	۱۶	۲/۶۷	۱/۷۴	۲/۱۸	۷/۱۱	۲۱/۳۷	۱۰/۹۸

* و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار می‌باشند.

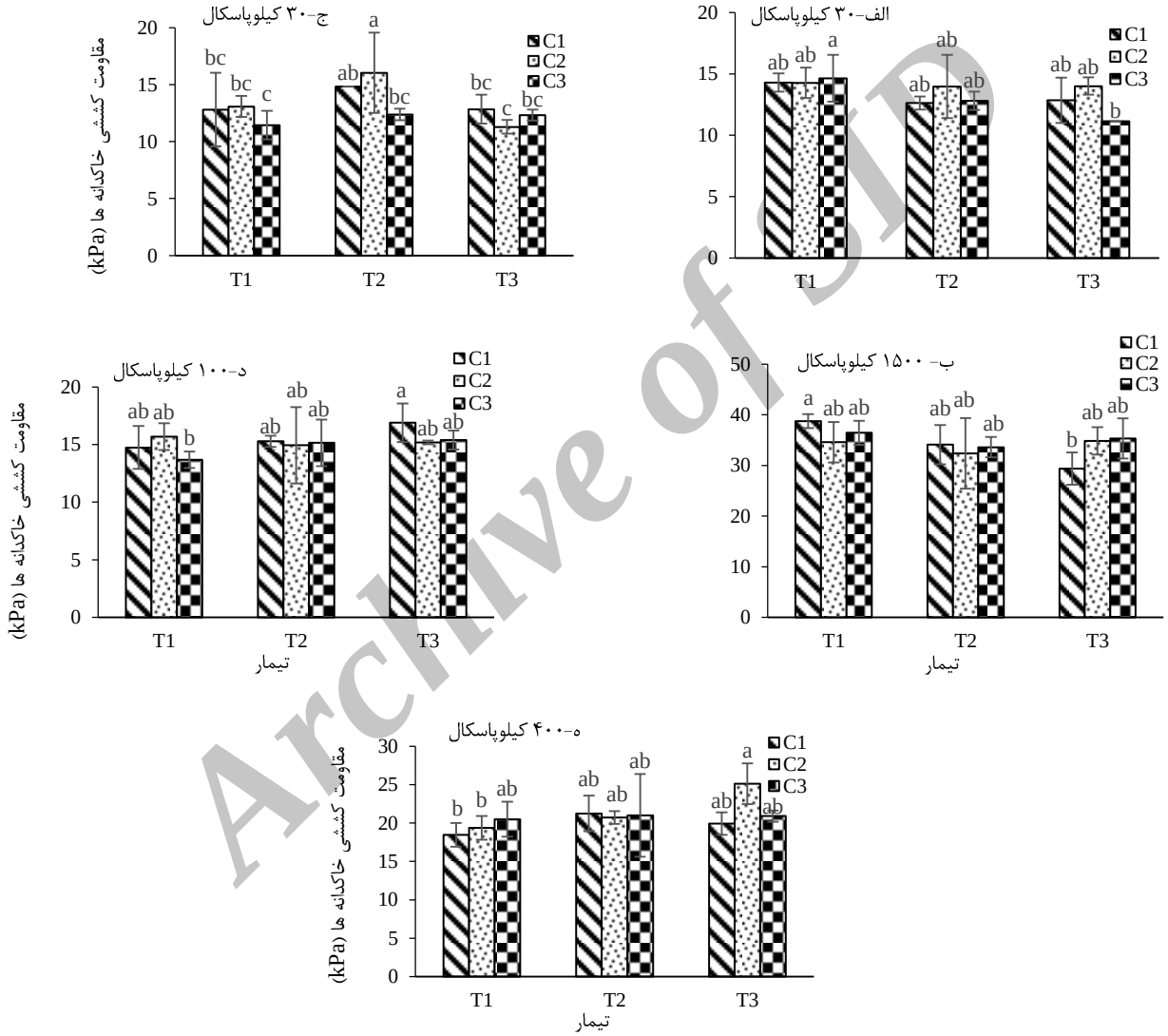
مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار بدون خاک‌ورزی- بدون گیاه پوششی موجب کاهش معنی‌دار مقاومت کششی نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم- بدون گیاه پوششی در بخش اثر متقابل در مکش ۳۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های بهار شد (شکل ۴- الف). تیمار خاک‌ورزی مرسوم- ماشک موجب افزایش معنی‌دار مقاومت کششی نسبت به تیمار بدون خاک‌ورزی- ماشک در مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های بهار شد (شکل ۴- ب). در سایر مکش‌ها تفاوت معنی‌داری بین تیمارها

Archive of SID

www.SID.ir

مشاهده نشد. احتمالاً علت نتیجه به‌دست آمده کاهش شدت خاک‌ورزی و دست‌نخورده بودن خاک در تیمار بدون خاک‌ورزی بود. روش بدون‌خاک‌ورزی باوجود بقایای گیاهی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شود (Bahrani *et al*., 2007)، ولی با توجه به اینکه نمونه‌برداری در بهار انجام شده و هنوز ماده آلی حاصل از گیاهان پوششی به عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری نرسیده و از سوی دیگر هنوز بقایای آلی سال زراعی نیز به خاک اضافه نشده، بنابراین ماده آلی آن کم بوده و موجب کاهش مقاومت کششی خاکدانه‌ها شده است. نتیجه مشابهی توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Macks *et al*., 1996 and Blanco-Canqui *et al*., 2005a).

روش بدون خاک‌ورزی که معمولاً تمام بقایای گیاهی را بر سطح خاک بجای می‌گذارد، باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک می‌شود (Ahmadvand *et al*., 2015).



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر سطوح خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها (kPa) برای نمونه‌های بهار در مکش‌های الف- ۳۰ و ب- ۱۵۰۰ کیلوپاسکال و نمونه‌های پاییز در مکش‌های ج- ۳۰، د- ۱۰۰ و ه- ۴۰۰ کیلوپاسکال. T_1، T_2 و T_3 به ترتیب نشان‌دهنده خاک‌ورزی مرسوم (برگردان)، حفاظتی (چیزل) و بدون خاک‌ورزی و C_1، C_2 و C_3 به ترتیب نشان‌دهنده گیاه پوششی ماشک، خلر و شاهد می‌باشند. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

تیمار خاک‌ورزی حفاظتی- خلر موجب افزایش معنی‌دار مقاومت کششی نسبت به تمام تیمارها به‌جز تیمار خاک‌ورزی حفاظتی - ماشک در بخش اثر متقابل در مکش ۳۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های پاییز شد (شکل ۴- ج). احتمالاً علت آن ماده آلی اضافه‌شده توسط خلر در خاک‌ورزی حفاظتی بود که با ترکیب مناسب ماده آلی با خاک موجب تقویت پیوند بین ذرات خاک و افزایش مقاومت کششی شد. مدیریت خاک از طریق کاشت گیاهان پوششی می‌تواند به افزایش ماده آلی خاک منجر

Archive of SID
www.SID.ir

شود (Ramos *et al*., 2010). درواقع گیاه پوششی خلر در مقایسه با گیاه ماشک و بدون گیاه پوششی با افزایش مقاومت کششی خاکدانه‌ها تأثیر بیش‌تری در بهبود ساختمان خاک داشت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار ماده آلی، مقاومت کششی خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد (Watts and Dexter, 1998). گیاهان پوششی با افزایش کربن، نیتروژن و بیوماس میکروبی خاک، کیفیت و باروری خاک را حفظ کرده و می‌توانند به پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی کمک نمایند (McDaniel *et al*., 2014).

تیمار خاک‌ورزی مرسوم- بدون گیاه پوششی موجب کاهش معنی‌دار مقاومت کششی نسبت به تیمار بدون خاک- ورزی- ماشک در مکش ۱۰۰ کیلوپاسکال شد (شکل ۴- د). احتمالاً علت آن افزایش ماده آلی ناشی از ماشک در تیمار بدون خاک‌ورزی است. مقدار مواد آلی موجود در خاک شدیداً تحت تأثیر شیوه خاک‌ورزی بوده و روش‌های بدون خاک‌ورزی باعث افزایش میزان مواد آلی خاک می‌گردند (Chauhan *et al*., 2002 and Conceição *et al*., 2013)، درنتیجه مقاومت کششی خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. بقایای گیاهان پوششی نسبت به شیوه‌های تولید پایدار به‌ویژه در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی مزایای بسیاری دارند (Russo *et al*., 2006). ازجمله مزایای کشت گیاهان پوششی می‌توان به جلوگیری از آبشویی نیتروژن در پاییز و زمستان، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کنترل علف‌های هرز و بیماری‌ها، حفظ رطوبت خاک، افزایش مواد آلی خاک، تعدیل درجه حرارت روزانه خاک، افزایش تنوع زیستی و درنهایت افزایش عملکرد محصولات زراعی اشاره کرد (Gabriel and Quemada, 2011).

تیمار بدون خاک‌ورزی- خلر باعث افزایش معنی‌دار مقاومت کششی نسبت به تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم در هر دو سطح گیاه پوششی ماشک و خلر در مکش ۴۰۰ کیلوپاسکال شد (شکل ۴- ه). در سایر مکش‌ها تفاوت معنی‌داری بین مقاومت کششی تیمارها مشاهده نشد. بنابراین احتمالاً افزایش مکش آب خاک در مکش ۴۰۰ کیلوپاسکال و مکش‌های بالاتر باعث کاهش اثر تیمارها و عدم تفکیک اثر آن‌ها بر خصوصیات مقاومتی خاک شده و درنتیجه نتایج آماری اختلاف معنی‌داری را بین تیمارهای مختلف نشان نداد. چراکه معنی‌دار بودن تأثیر تیمارها بر مقاومت کششی در مکش ۳۰ کیلو پاسکال (مکش میانی) نشان‌دهنده این موضوع است.

شرایط رطوبتی متفاوت نمونه‌های خاک پیش از انجام آزمایش، موجب تأثیر متفاوت تیمارها بر مقاومت کششی خاک در رطوبت‌های مختلف می‌شود (Dickson *et al*., 1991 and Beare and Bruce, 1993). در مکش‌های میانی، مانند ۳۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های بهار و ۳۰، ۱۰۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های پاییز به علت اعمال تیمارهای خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر خاک موردبررسی (با اقلیم نیمه‌خشک) گسیختگی ترد همانند خاک‌های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب دنیا که از پایداری ساختمانی بالایی برخوردارند، مشاهده شد. برای اندازه- گیری مقاومت کششی خاک‌های انگلستان از مکش‌های ماتریک کم‌تر از ۱۰۰ کیلوپاسکال استفاده شد (Causarano, 1993). مقاومت کششی خاکدانه‌های خاک‌های دانمارک در مکش‌های ماتریک ۱۰ و ۳۰ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد (Munkholm and Kay, 2002). شاید بتوان اثر متفاوت تیمارها بر مقاومت کششی در مکش‌های مختلف را با تغییر نیروهای دگردوستی و هم‌دوستی با رطوبت خاک توجیه نمود. در مکش‌های بالا (رطوبت‌های خیلی کم) نیروی هم‌دوستی به‌اندازه‌ای زیاد است که مانع تفکیک اثر تیمارها بر مقاومت کششی خاک می‌گردد. در رطوبت‌های بالا و نزدیک اشباع نیز به علت عدم حضور نیروهای دگردوستی و هم‌دوستی مقاومت خاک آن‌قدر پایین است که اثر تیمارها قابل‌تفکیک نیست. با افزایش رطوبت، نیروی هم‌دوستی بین ذرات خاک و خاکدانه‌ها کاهش و نیروی دگردوستی افزایش می‌یابد (Ros *et al*., 2011) و به یک حد متعادلی می‌رسد. به‌همین علت اثر معنی‌دار تیمارها بیشتر در مکش‌های میانی (مکش ۳۰ کیلوپاسکال) مشاهده شد. احتمالاً علت اینکه در مکش‌های مختلف اثر تیمارها در دو فصل پاییز و بهار یکسان نبود، تغییر مقاومت کششی در طول فصل درنتیجه تشکیل نقاط ضعیف و تراکم ذرات خاک توسط کانی‌های رسی دیسپرس‌شده باشد. تردد چرخ‌ها باعث کاهش تردی و افزایش مقاومت کششی خاکدانه‌ها می‌شود؛ زیرا انرژی ورودی ماشین- آلات موجب شکست پیوندهای بین ذرات خاک شده و درنتیجه مقدار رس دیسپرس‌شده افزایش پیدا می‌کند. ویژگی منافذ خاک تحت تأثیر رفتار مکانیکی خاک است، به‌ویژه هنگامی‌که شکست کششی رخ می‌دهد. شکست کششی به دلیل گسترش ترک در نمونه‌ها رخ می‌دهد (Hallett *et al*., 1995).

مقاومت فروروی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقاومت فروروی خاک در مکش‌های مختلف در جدول (۴) نشان داده شده است. اثر عوامل خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقاومت فروروی تنها در مکش‌های ۶ و ۱۰ کیلوپاسکال معنی‌دار بودند. مقاومت فروروی فقط برای نمونه‌های پاییز مورد اندازه‌گیری و بررسی قرار گرفت. مقایسه میانگین تأثیر سطوح خاک‌ورزی و

Archive of SID
www.SID.ir

گیاه پوششی بر مقاومت فروروی (PR) نشان داد که در مکش‌های ۱۰،۶، ۳۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال اثر متقابل تیمارها، بر مقاومت فروروی معنی‌دار بود (شکل ۵). نیروی چسبندگی زیاد بین ذرات خاک و آب در مکش‌های بالا مانع از تفکیک اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقاومت فروروی شد که احتمالاً این علت معنی‌دار نشدن مقاومت فروروی در مکش‌های بالا بود. وابستگی مقاومت فروروی به مقدار آب در تیمارهای مختلف مدیریت متفاوت است (Ley *et al*., 1993). نمی‌توان مقادیر مقاومت فروروی اندازه‌گیری شده در بازه‌های زمانی متفاوت که در آن جرم مخصوص ظاهری و مقدار رطوبت متغیر است را با هم مقایسه کرد (Constantini, 1996). بنابراین نمی‌توان مقادیر مقاومت فروروی اندازه‌گیری شده در مکش‌های مختلف که مقدار رطوبت متفاوتی دارند را با هم مقایسه کرد.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقاومت فروروی در فصل پاییز.

مکش (kPa)								
منابع تغییر	درجه آزادی	[a]۶	۱۰	۳۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۸۰۰	۱۵۰۰
		میانگین مربعات خطا							
تکرار	۲	۰/۰۰۶^{ns}	۱۲۹۵۹۶^{ns}	۱۱۰۱۲^{ns}	۱۳۵۸۹۲^{ns}	۳۱۵۸۲^{ns}	۴۱۷۸۴۳۵^{ns}	۱۲۵۳۷۷۰^{ns}	۲۴۴۶۵۶۶^{ns}
خاک‌ورزی	۲	۰/۲۰۴*	۲۸۳۴۲۲۰**	۳۲۹۲۰۲^{ns}	۲۱۱۹۳۴۲^{ns}	۱۴۹۰۸۴۷^{ns}	۴۱۱۵۵۴۰^{ns}	۶۱۶۰۲۶^{ns}	۶۹۸۸۲۰۵^{ns}
گیاه پوششی	۲	۰/۳۵۴**	۲۶۹۵۶۶۷**	۱۳۶۹۰۱۹^{ns}	۱۷۴۷۹۰۱^{ns}	۱۰۷۷۵۳۳^{ns}	۵۱۳۱۱۵۰^{ns}	۱۰۱۷۲۲^{ns}	۶۴۶۸۸۸^{ns}
اثر متقابل	۴	۰/۰۳۲^{ns}	۱۲۱۵۴۳^{ns}	۱۴۲۰۰۱۳^{ns}	۱۷۴۴۴۴۱^{ns}	۵۲۴۶۹۵^{ns}	۵۲۸۷۹۹۹^{ns}	۳۸۵۰۱۶^{ns}	۹۱۵۶۳۵۲^{ns}
خطا	۱۶	۰/۰۶۰	۳۷۶۰۴۰	۶۵۷۲۳۰	۱۳۳۹۰۵۷	۱۱۱۷۸۸۶	۲۳۱۸۵۴۸	۲۹۳۴۲۴۹	۴۸۷۳۳۸۴

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

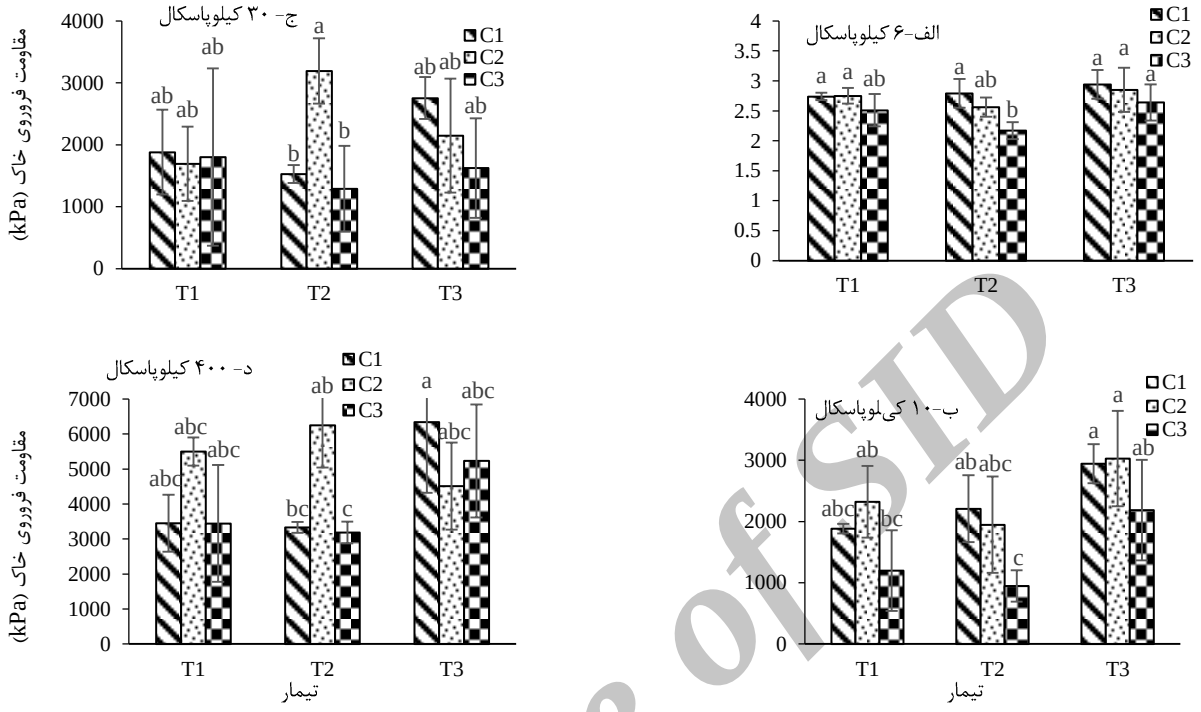
[a] مقاومت فروروی در مکش ۶ کیلوپاسکال با تبدیل log نرمال شد.

در مکش ۶ کیلوپاسکال، تیمار خاک‌ورزی حفاظتی - بدون گیاه پوششی مقاومت فروروی را نسبت به همه تیمارها کاهش داد، هرچند که این کاهش نسبت به دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم- بدون گیاه پوششی و خاک‌ورزی حفاظتی - خلر معنی-دار نبود (شکل ۵-الف). احتمالاً علت آن تردد کم‌تر ماشین‌آلات کشاورزی و شخم سطحی خاک بود. Da Veiga *et al*. (2007) گزارش کردند که کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک سطحی در خاک‌ورزی با چیزل (حفظ بقایای گیاهی) نسبت به خاک-ورزی مرسوم باعث کاهش مقاومت فروروی در خاک‌ورزی حفاظتی (چیزل) می‌شود. Voorhees, (1983) هم گزارش کرد که خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان در دو خاک دارای تراکم و بدون تراکم، باعث کاهش مقاومت فروروی گردید. خاک‌ورزی هم می‌تواند باعث نرم شدن خاک و هم باعث فشردگی خاک گردد که بستگی به مقدار آب خاک، نوع خاک و نوع عملیات خاک‌ورزی دارد (Voorhees, 1983). دیگر محققان نیز گزارش کردند که مقاومت فروروی خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی قرار گرفت (Alvarez and Steinbach, 2009).

در مکش ۱۰ کیلوپاسکال، تیمار خاک‌ورزی حفاظتی - بدون گیاه پوششی مقاومت فروروی را نسبت به تمام تیمارها به‌جز خاک‌ورزی مرسوم- ماشک، خاک‌ورزی مرسوم- بدون گیاه پوششی و خاک‌ورزی حفاظتی - خلر به‌طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۵- ب). تیمار خاک‌ورزی حفاظتی با دست‌کاری کم-تر خاک و افزایش منافذ درشت باعث کاهش مقاومت فروروی شد. روش خاک‌ورزی حفاظتی با دست‌کاری کم‌تر خاک پایداری خاکدانه‌ها را بهبود می‌دهد (Paustian *et al*., 1997). روند تغییرات مقاومت فروروی در مکش ۱۰ و ۶ کیلوپاسکال تقریباً مشابه بود. در مکش ۱۰ کیلوپاسکال تیمار خاک‌ورزی مرسوم-بدون گیاه پوششی مقاومت فروروی را نسبت به دو تیمار بدون خاک‌ورزی با گیاه پوششی ماشک و خلر به‌طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۵- ب). احتمالاً سست شدن خاک در اثر خاک‌ورزی مرسوم باعث کاهش مقاومت فروروی در کوتاه‌مدت می‌گردد. به‌ویژه این‌که طول مدت این تحقیق نیز کوتاه بود. درواقع عملیات خاک‌ورزی با ایجاد تغییر در ساختمان خاک سبب کاهش مقاومت فروروی می‌شود و تفاوت در میزان شکستن لایه‌های خاک و سست نمودن آن می‌تواند علت تفاوت میزان کاهش مقاومت فروروی برای خاک‌ورزی‌های مختلف باشد (Safari *et al*., 2013). برخی محققین نیز گزارش کردند که مقاومت فروروی خاک در سیستم بدون خاک‌ورزی مقادیر بالاتر و در سیستم خاک‌ورزی مرسوم مقادیر کم‌تری را نشان داد (Celik, 2011). مقاومت خاک بدون عملیات کشاورزی در لایه شخم (لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) بیش‌تر از خاک شخم‌خورده است (Wilkins *et al*., 2002). همچنین ریشه گیاهان در خاک-ورزی مرسوم (کولتیواتور) نسبت به کشت بدون خاک‌ورزی

Archive of SID
www.SID.ir

دارای وسعت بیش‌تری می‌باشد (Chen *et al.*, 2005). شاید توسعه بیشتر ریشه‌ها در خاک‌ورزی مرسوم نیز از دیگر عوامل مؤثر بر کم بودن مقاومت فروروی در این نوع خاک‌ورزی باشد.



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر سطوح خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقاومت فروروی خاکدانه‌ها (kPa) برای نمونه‌های پاییز در مکش‌های الف- ۶، ب- ۱۰، ج- ۳۰ و د- ۴۰۰ کیلوپاسکال. T_1، T_2 و T_3 به ترتیب نشان‌دهنده خاک‌ورزی مرسوم (برگردان)،حفاظتی (چیزل) و بدون خاک‌ورزی و C_1، C_2 و C_3 به ترتیب نشان‌دهنده گیاه پوششی ماشک، خلر و شاهد می‌باشند. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.مقاومت فروروی در مکش ۶ کیلوپاسکال با تبدیل لگاریتمی نرمال شد.

در مکش ۳۰ کیلوپاسکال تیمار خاک‌ورزی حفاظتی - خلر نسبت به دو سطح دیگر گیاه پوششی در همین تیمار خاک‌ورزی مقاومت فروروی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۵- ج). گیاه پوششی خلر نقش مهمی را در افزایش مقاومت فروروی خاک داشت که احتمالاً به علت افزایش مقاومت ساختمانی خاک (مقاومت واحدهای ساختمانی خاک) در برابر نیروی خارجی در این رطوبت بود و به همین علت مقاومت فروروی را افزایش داد. ماده آلی با مکانیسم پیچیده‌ای بر مقاومت خاک اثر می‌گذارد. چراکه با افزایش پایداری خاکدانه‌ها و مقاومت مکانیکی خاک موجب افزایش مقاومت فروروی می‌شود. با ورود مواد آلی به خاک میزان تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد (Rusta and Golchin, 2005). مواد آلی با افزایش پایداری ساختمان خاک و افزایش خاصیت الاستیسیته خاک موجب کاهش تراکم‌پذیری خاک شده (Sherani *et al.*, 2010) و بنابراین موجب افزایش مقاومت فروروی خاک می‌شوند. مواد آلی خاک مهم‌ترین عامل در پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک می‌باشند (An *et al.*, 2010).

در مکش ۴۰۰ کیلوپاسکال تیمار خاک‌ورزی حفاظتی - بدون گیاه پوششی نسبت به دو تیمار خاک‌ورزی حفاظتی - خلر و بدون خاک‌ورزی- ماشک مقاومت فروروی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۵- د). احتمالاً علت نتیجه حاصله افزایش مقاومت ساختمانی خاک توسط گیاه پوششی خلر در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی -خلر و کاهش شدت خاک‌ورزی و دست‌نخورده بودن خاک در سیستم بدون خاک‌ورزی تیمار بدون خاک‌ورزی-ماشک بود. خاک‌ورزی سبب کاهش مقاومت فروروی و افزایش نفوذپذیری می‌شود (Rasuli and Abaspur, 2008).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مطابق با مدیریتی که برای بهبود ساختمان خاک انجام شد، مهم‌ترین فاکتورهای مدیریتی تأثیرگذار بر افزایش پایداری خاکدانه‌ها و مقاومت کششی خاکدانه‌ها، خاک‌ورزی حفاظتی به همراه استفاده از گیاه

Archive of SID
www.SID.ir

پوششی خلر می‌باشد که سهم بسزایی در افزایش کربن آلی و بهبود ساختمان خاک دارند؛ اما مقاومت فروروی خاک در خاک-ورزی حفاظتی بدون همراهی گیاه پوششی خلر کاهش یافت؛ زیرا گیاه پوششی خلر باعث افزایش مقاومت واحدهای ساختمانی خاک در برابر نیروهای خارجی شد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که عملیات مدیریتی خاک در مکش ۳۰ کیلوپاسکال بیش‌ترین تأثیر را بر خصوصیات مقاومتی خاک نشان دادند. احتمالاً علت آن تغییرات نیروهای دگردوستی و هم‌دوستی با تغییر آب خاک باشد؛ بنابراین بهتر است جهت تشخیص تأثیر عملیات مدیریتی بر خصوصیات خاک، بررسی‌ها در یک رطوبت بهینه انجام شود. افزون بر توصیه کاربرد خاک-ورزی حفاظتی همراه با استفاده از گیاه پوششی خلردر زمین-های زراعی به کشاورزان، نتایج مطالعه پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت کششی خاکدانه‌ها و مقاومت فروروی خاک با انجام تحقیقات بیشتر می‌تواند در تعیین زمان بهینه انجام عملیات خاک‌ورزی ازنظر رطوبتی و انتخاب نوع مدیریت مناسب استفاده شود. با توجه به اینکه این طرح در کوتاه‌مدت (دوساله) انجام شد، اثر گیاه پوششی بر پارامترهای مقاومت کششی و مقاومت فروروی روند واضحی نشان نداد و همچنین در برخی موارد نتایج به‌طور واضح مشاهده نشد.

REFERENCES

Abid, M., and Lal, R. (2009). Tillage and drainage impact on soil quality: II. Tensile strength of aggregates, moisture retention and water infiltration. *Soil and Tillage Research, 103*(2), 364-372.

Ahmadvand, G., and Hajinia, S (2015). The impact of different caver crope and tillage systems on soil physical properties and yield of potatoes. *Journal of Crop Production* 8, 163-182 (In Farsi).

Alcántara, C., Pujadas, A., and Saavedra, M. (2011). Management of cruciferous cover crops by mowing for soil and water conservation in southern Spain. Agricultural Water Management 98, 1071-1080.

Allen, R. R., and J.T. Musick (1997). Tillage method and depth effects on furrow irrigation infiltration. Appl. Eng. Agric 13, 737-742.

Alvarez, R. and. Steinbach. H. S. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research 104, 1-15.

Annabi, M., Houot, S., Francou, C., Poitrenaud, M., and Bissonnais, Y. L. (2007). "*Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities*". Soil Science Society of America Journal 71, 413-423.

An, S., Mentler, A., Mayer, H., and and Blumc, W. E. H. (2010). Soil aggravation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. Catena 81, 226-233.

Bahrani, M. J., Raufat, M.H., and Ghadiri, H (2007). Influence of wheat residue management on irrigated corn grain production in a reduced tillage system. Soil Till .Res 94, 305-309.

Bayat, H. (2003). The effect of tillage and wheels traffic on soil physical properties. Masters thesis soil, School of Agriculture, Bu Ali Sina University (In Farsi).

Bayat, H., Mahbubi, A. E., Hajabbasi, M. A., Mossadeghi, M. R (2007). The effect of tillage systems and a variety of agricultural machines on Bulk Density, Cone Index and Structural Stability of a sandy loam soil. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 42, 451-461. (In Farsi).

Beare, M. H., and Bruce, R. R. (1993). A comparison of methods for measuring water-stable aggregates: implications for determining environmental effects on soil structure. *Geoderma, 56*(1), 87-104.

Blanco-Canqui, H., Lal, R., Owens, L.B., Post, W.M., Izaurralde, R.C (2005a). Mechanical properties and soil organic carbon of soil aggregates in the northern Appalachians. Soil Science Society of America Journal 69, 1472–1481.

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

Bond, W., Turner, R., and Grundy, A. (2003). A review of non-chemical weed management. *HDRA, the Organic Organisation, Ryton Organic Gardens, Coventry, UK*. 81 pp.

Bouajila, A., and Gallali, T. (2010). "Land use effect on soil and particulate organic carbon, and aggregate stability in some soils in Tunisia". African Journal of Agricultural Research 5, 764-774.

Boydaş, M. G., and Turgut, N. (2007). Effect of tillage implements and operating speeds on soil physical properties and wheat emergence. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 31, 399-412.

Bruce, R. C., and Rayment, G. E (1982). Analytical methods and interpretations used by the Agricultural Chemistry Branch for Soil and Land Use Surveys.

Causarano, H. (1993). Factors affecting the tensile strength of soil aggregates. *Soil and Tillage Research, 28*(1), 15-25.

Celik I, G. H., Budak M and Akpinar C (2010). Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semiarid Mediterranean soil conditions. Geoderma 160, 236-243.

Archive of SID

www.SID.ir

Celik, I. (2011). Effects of Tillage Methods on Penetration Resistance, Bulk Density and Saturated Hydraulic Conductivity in a Clayey Soil Conditions. Agricultural Sciences 17, 143-156.

Chauhan, B. S., A. Yadav and R. K. Malik. (2002). "Zero tillage and its impac soil properties: a brief review. In: Malik, R.K., Balyan, R.S., Yadav, A., Pahwa, S.K. (Eds.) , Herbicide Resistance Management and Zero Tillage in Rice–Wheat System". March. 2002, 6-4 CCSHAU, Hisar, India, 109–114 .

Chen, Y., Cavers, C., Tessier, S., Monero, F., and Lobb, D. (2005). Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil. *Soil and Tillage Research, 82*(2), 161-171.

Choudhury . S. G Srivastava. S. Singh, R. C., S.K . Sharma, D.K. Singh, S.K. Sarkar, D. (2014). "Tillage and residue management effect on soil aggregation,organic carbon dynamics and yield attribute in rice-wheacroping system under reclaimed sodic soil". Soil and Tillage Research, 136, 76-83.

Conceição, P. C. Dieckow., J.; Bayer, C (2013). Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. Soil and Tillage Research 129, 40-47.

Constantini, A. (1996). Relationships betwin cone penetration resistance, bulk density and moisture content in uncultivated,repacked, and cultivated hardsetting and nonhardsetting soils from the coastal lowlands of south-east Queensland. NZ J. For Sci, 26, 395-412.

Cresswell, H. P., and Hamilton, G. J (2002). Bulk density and pore space relations. In Soil physica measurement and interpretation for land evaluation: A laboratory. Eds N. J. McKenzie, H. Cresswell and K. Coughlan. CSIRO Publishing: Melbourne handbook. 58-35

Dabney, S. M., G.V. Wilson, K. C. Mcgregor and G. R. Foster (2004). History, residue and tillage effects on erosion of loessial soil. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering 47, 767–775.

Da Veiga, M., Horn, R., Reinert, D. J., and Reichert, J. M. (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.

Dexter, A., and Kroesbergen, B. (1985). Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. *Journal of Agricultural Engineering Research, 31*(2), 139-147.

Dickson, E., Rasiah, V., and Groenevelt, P. (1991). Comparison of four prewetting techniques in wet aggregate stability determination. *Canadian Journal of Soil Science, 71*(1), 67-72.

Dorneles, E. P., Lisboa, B. B., Abichequer, A. D., Bissani, C. A., Meurer, e. j., and Vargas, L. K (2015). Tillage, fertilization systems and chemical attributes of a Paleudult. Scientia Agricola 72, 175-186.

Fuentes JP, Flury. M. and. Bezdicek. D. (2004). Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie, conventional till, and no-till. Soil Sience Society American Journal 68, 1679- 1688.

Gabriel, J. L., and Quemada, M (2011). Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: Yield, N uptake and fertilizer fate. Eur. J. Agro 34, 133-143.

Gao, W., Watts, C., Ren, T., and Whalley, W. (2012). The effects of compaction and soil drying on penetrometer resistance. *Soil and Tillage Research, 125*, 14-22.

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

Hallett, P., Dexter, A., and Seville, J. (1995). Identification of pre-existing cracks on soil fracture surfaces using dye. *Soil and Tillage Research, 33*(3), 163-184.

Hazelton, P. A., and Murphy, B. W. (2007). "*Interpreting soil test results: what do all the numbers mean?*," CSIRO publishing.Herrick, J. E., and Jones, T. L. (2002). A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. Soil Science Society of America Journal 66, 1320-1324.

Imhoff, S., da Silva, A.P., Dexter, A (2002). Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. Soil Science Society of America Journal 66, 1656–1661.

Jin, K., Sleutel, S., and Buchan, D (2009). Changes of enzyme activities under different tillage practices in the Chinese Loess Plateau. Soil Till. Res 104, 115-120.

Jones, C. A. (1983). Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. Soil Science Society of America Journal 47, 1208-1211.

Kemper, W. D. a. Rosenau. C. R. (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed., Agron. Monog. 9. ASA and SSSA, Madison, WI., PP. 425-442.

Khazai, A., Mosadeghi, M.R. and Mahboubi, A.R. (2008). "Effect of laboratory condition, organic matter content, clay and calcium carbonates on mean weight diameter and tensile strength of aggregates in some Hamadan soils". J. Sci. Tech. of Agri. Natural Resource 12, 123-134.

Lamei Hervani, J. (2013). Assessment of dry forage and crude protein yields. competition and advantage indices in mixed cropping of annual forage legume crops with barley in rainfed comditions of Zanjan province in Iran. Seed and Plant Production Journal 29, 169-183. (In Farsi).

Lapen, D., Topp, G., Gregorich, E., and Curnoe, W. (2004). Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario,

Archive of SID

www.SID.ir

Canada. *Soil and Tillage Research, 78*(2), 151-170.

Ley, G., Mullins, C., and Lal, R. (1993). Effects of soil properties on the strength of weakly structured tropical soils. *Soil and Tillage Research, 28*(1), 1-13.

Lugandu, S. (2013). Factors Influencing the Adoption off Conservation Agriculture by Smallholder Farmers in Karatu and Kongwa Districts of Tanzania. Presented at REPOA's 18th Annual Research Workshop held at the Kunduchi Beach Hotel, Dares Salaam, Tanzania, 55.

Macks, S., Murphy, B., Cresswell, H., and Koen, T. (1996). Soil friability in relation to management history and suitability for direct drilling. *Soil Research, 34*(3), 343-360.

McDaniel M, Tiemman. L. and Grandy. A. (2014). Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. Ecological Applications 24, 560–570.

Metson, A. J. (1961). Methods of chemical analysis for soil survey samples. Soil Bureau Bulletin No. 12, New Zealand Department of Scientific and Industrial Research.Government Printer: Wellington, New Zealand, 168–175.

Mohammadi, J (2006). Pedometry-First volume: Classic Statistics. Pelk Press. p 531.

Moradi, F., Khalili Moghaddam, B., Gafari, Cirrus and Ghorbani Dashtaki, Sh (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).

Munkholm, L. J., Schjønning, P., and Rasmussen, K. J. (2001). Non-inversion tillage effects on soil mechanical properties of a humid sandy loam. *Soil and Tillage Research, 62*(1), 1-14.

Munkholm, L. J., Schjønning, P., and Kay, B. D. (2002). Tensile strength of soil cores in relation to aggregate strength, soil fragmentation and pore characteristics. *Soil and Tillage Research, 64*(1), 125-135.

Paustian, K., Collins, H. P., and Paul, E. A. (1997). "*Management controls on soil carbon*". Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL. Management controls on soil carbon, 15-49.

Pytka, J. (2001). "Load effecte upon soil stress and deformation state in structured and disturbed sandy loam for two tillage treatments". Soil and tillage research 3, 123-139.

Ramos ME, B. E., García PA and Robles AB (2010). Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: effects on soil quality. Applied Soil Ecology 44, 6-14.

Rasouli Sherbyani, V. and. Abbaspoor Gilandeh., Y (2008). Effects of different tillage on some soil physical properties. Proceedings of the Fifth National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. *Mashhad Ferdowsi University.* (In Farsi).

Rhoades, J. D., Kandial A., and Mashali, A. M (1992). The use of saline water for crop production. Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Rome., 48.

Rosa HA, S. D., Veloso G, Santos RF, Souza SNM, Marins AC and Borosi A, (2012). Effects of the use of cover crops in the structure of an oxisol managed by a no-till farming system in the west of Paraná. Brazilian Journal of Food, Agriculture and Environment 10, 1278-1280.

Ros, V. V., Souza, C.M.A., Vitorino, A.C.T., and Rafull, L. Z. L (2011). Oxisol resistance to penetration in no-till system after sowing. 31, 1104-1114.

Russo, V. M., Kindiger, B., and Webber, C.L (2006). Pumpkin yield and weed populations following annual ryegrass. J. Sus. Agri 28.

Rusta, M. G. A. Golchin., A. (2005). Theory of the formation of aggregates. soil and water conservation extension Journal, 1(3), 87-92. (In Farsi).

Safari, a., Asudar, M. A., Ghasemi-Nejad, M., Abdali Mashhadi, A. R. (2013). The impact of different tillage methods and crop residue on soil physical properties and wheat yield. Journal of Agricultural and sustainable production 23(2), 49-59. (In Farsi).

Samadani, B., and M. Montazeri. (2009). The use of cover crop in sustainable agriculture. *Iranian Research Institute of Plant Protection Press*, 186 pp. (In Farsi).

Sas, L. E. (2002). Getting started with the SAS learning edition. Cary, 200.

Sherani, H., Hajabbasi., M.A., Afuni, M., and Hemat, A. (2010). The effect of tillage systems and organic fertilizers on soil penetration resistance under corn cultivation. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 51, 141-154 (In Farsi).

Silva, S. G. C. Silva., A.P.; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A. and SÁ, J.C.M. . R. (2012). Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. Bras. Ci. Solo 36, 547-555.

Suivan, P., and Diver. S. (2001). Overview of cover crops and green manures fundamentals of sustainable agriculture. NCAT Agriculture Specialist.

Stroosnijder, L. (2008). Modifying land management in order to improve efficiency of rainwater use in the African highlands. Soil & Tillage Research 103(2), 247-256.

Tavares Filho, J. Fonseca., I.C.B.; RIBON, A.A. and, and BARBOSA, G. M. C. (2006). Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Ci. Rural 36, 996-999.

To, J., and Kay, B. (2005). Variation in penetrometer resistance with soil properties: the contribution of

Archive of SID

www.SID.ir

effective stress and implications for pedotransfer functions. *Geoderma*, *126*(3), 261-276.

Tullberg, J. (2010). Tillage, traffic and sustainability—a challenge for ISTRO. Soil and Tillage Research 111, 26-32.

Virto I, I. M., Fernández-Ugalde O, Urrutia I, Enrique A and Bescansa P (2012). Soil quality evaluation following the implementation of permanent cover crops in semi-arid vineyards. Organic matter, physical and biological soil properties. Spanish Journal of Agricultural Research 10, 1121-1132.

Voorhees, W. (1983). Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating wheel-induced soil compaction. *Soil Science Society of America Journal*, *47*(1), 129-133.

Watts, C., and Dexter, A. (1998). Soil friability: theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. *European Journal of Soil Science*, *49*(1), 73-84.

Wilkins, D., Siemens, M., and Albrecht, S. (2002). Changes in soil physical characteristics during transition from intensive tillage to direct seeding. Transactions-American Society of Agricultural Engineers, 45(4), 877-880.

Wright, A. L. and. Hons., F (2005). Tillage impacts on soil aggregation and carbon and nitrogen sequestration under wheat cropping swquences Soil and Tillage Research 84, 67-75.

Zamani, P. (2011). Statistical designs in animal science. Bu-Ali Sina University Hamedan Press. (In Farsi).

Archive of SID

www.SID.ir