



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره سوم، ۱۳۹۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

اثر روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک در تناوب گندم- ذرت

*جهانبخش میرزاوند^۱، سیدعلی اکبر موسوی^۲، عبدالمجید ثامن^۳،

صادق افضل‌نیا^۴ و نجفعلی کریمیان^۵

^۱ دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، ^۲ استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، ^۳ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز،

^۴ دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، ^۵ استاد سابق گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۳

چکیده

سابقه و هدف: خاک مهم‌ترین عامل تولید محصولات کشاورزی است. عملیات خاک‌ورزی با تأثیر بر ویژگی‌های خاک بر عملکرد محصول مؤثر است. روش‌های شخم، نفوذ آب به خاک را تغییر می‌دهند. افزودن بقایا به خاک، سبب بهبود نفوذ آب به خاک می‌شود. در خاک‌ورزی محدود پایداری خاکدانه‌ها و شدت نفوذ آب به خاک بیش‌تر از روش شخم مرسوم است. عدم مدیریت صحیح ماده آلی و خاک‌ورزی شدید، سبب فشردگی خاک‌های کشاورزی ایران شده است. بنابراین تغییر روش خاک‌ورزی از روش‌های مرسوم به روش‌های حفاظتی اجتناب‌ناپذیر است. خاک‌ورزی حفاظتی سبب بهبود ساختمان خاک، افزایش راندمان آب و کاهش هزینه تولید می‌شود. هدف این پژوهش ارزیابی اثر مدیریت بقایای گیاهی و روش‌های خاک‌ورزی بر میزان هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک $[K(\psi)]$ ، در تناوب گندم- ذرت در منطقه نیمه‌خشک جنوب ایران در استان فارس بود.

مواد و روش‌ها: تیمارهای پژوهش شامل دو نوع مدیریت بقایای گیاهی (شامل حفظ بقایای عمودی و حذف تمام بقایا) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه روش خاک‌ورزی: خاک‌ورزی مرسوم (CT)، کم‌خاک‌ورزی (MT) و بدون خاک‌ورزی (NT) به‌عنوان فاکتور فرعی به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به‌صورت مزرعه‌ای در یک خاک با بافت لوم رسی سیلتی انجام شد. $K(\psi)$ به‌وسیله دستگاه نفوذسنج مکشی در مکش‌های صفر، ۲، ۴، ۸، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر در شش تکرار (در دو نقطه از هر کرت) اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در خاک محل آزمایش پس از کشت اول (گندم) و کشت دوم (ذرت) با کاهش مکش اعمال‌شده، $K(\psi)$ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. میزان این افزایش در مکش صفر در مقایسه با مکش ۱۵ سانتی‌متر، در خاک کشت اول و دوم به‌ترتیب ۶۵۵ و ۴۲۰ درصد بود. اثر روش‌های شخم بر میزان $K(\psi)$ در خاک گندم و ذرت معنی‌دار بود ($P < 0/01$). اثر بقایای گیاهی بر $K(\psi)$ در خاک ذرت معنی‌دار بود ($P < 0/01$). با کم شدن شدت خاک‌ورزی در هر دو خاک، $K(\psi)$ کاهش یافت. بنابراین حداکثر و حداقل میزان این فاکتور به‌ترتیب در روش‌های شخم مرسوم و بی‌خاک‌ورزی به‌دست آمد. با تغییر روش خاک‌ورزی از CT به MT و NT، $K(\psi)$ به‌ترتیب ۴/۵ و ۱۵

* مسئول مکاتبه: jmirzavand@shirazu.ac.ir

درصد در خاک گندم و ۹/۳ و ۲۹/۸ درصد در خاک ذرت کاهش یافت. با حفظ بقایای کشت اول، $K(\psi)$ در خاک ذرت به میزان ۱۵/۴ درصد کاهش یافت. در خاک ذرت در مقایسه با خاک گندم، $K(\psi)$ در تمام مکش‌های به کار رفته، به طور معنی‌داری کاهش یافت. در خاک گندم ۱۳/۲۴ درصد جریان آب در خلل فرج ریز (MicP) با قطر کم‌تر از ۱/۵ میلی‌متر و ۸۶/۷۶ درصد جریان در خلل و فرج درشت (MacP) با قطر بزرگ‌تر از ۱/۵ میلی‌متر اتفاق افتاد. در صورتی که این میزان برای خاک ذرت به ترتیب ۱۹/۲۲ و ۸۰/۷۷ درصد بود. همچنین با تغییر روش‌های خاک‌ورزی درصد جریان آب در MacP، در هر دو خاک تحت تأثیر قرار گرفت. به نحوی که کم‌ترین مقدار جریان در MacP در هر دو کشت در CT به ترتیب به میزان ۸۴/۹۶ و ۷۹/۴۹ درصد در خاک گندم و ذرت اتفاق افتاد. اما بیش‌ترین مقدار جریان آب در MacP در کشت اول در NT و در کشت دوم در MT حاصل شد، که به ترتیب ۹۰/۴۷ و ۸۱/۹۵ درصد بود.

نتیجه‌گیری: کاهش تردد ماشین‌آلات در روش‌های حفاظتی سبب افزایش خلل و فرج درشت در مقایسه با روش‌های مرسوم شد. در هر دو کشت خلل و فرج درشت نقش بارزتری از خلل و فرج ریز در انتقال آب در خاک داشتند. کاهش عملیات خاک‌ورزی و حفظ بقایای گیاهی سبب کاهش هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک (مکش ۱۵ تا صفر سانتی‌متر) شد. این کاهش در خاک، بعد کشت ذرت بیش‌تر از گندم بود.

واژه‌های کلیدی: بی‌خاک‌ورزی، فارس، کم‌خاک‌ورزی، نفوذسنج مکشی

مقدمه

خاک‌ورزی شدید در هنگام کاشت محصول، بیش‌تر خاک‌های کشاورزی احتمالاً فاقد ساختمان مناسب و دچار نوعی فشردگی است. بنابراین تغییر روش خاک‌ورزی از روش‌های مرسوم به روش‌های حفاظتی اجتناب‌ناپذیر است. در خاک‌ورزی حفاظتی با کم کردن عملیات خاک‌ورزی و حفظ مقدار کافی بقایای گیاهی در سطح خاک، ضمن بهبود ساختمان خاک و افزایش راندمان آب، نیروی کار، انرژی مصرفی و هزینه تولید کاهش می‌یابد. اثر مثبت خاک‌ورزی حفاظتی بر قدرت نگهداری آب خاک و بهبود ساختمان خاک توسط پژوهندگان مختلف گزارش شده است (۷، ۱۹، ۲۰).

امروزه در عرصه کشاورزی سه نوع خاک‌ورزی از جمله روش خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی متداول است. در خاک‌ورزی مرسوم، با گاواهن برگردان‌دار خاک زیر و رو شده و پس از آن چندین بار با دیسک زدن و ماله‌کشی زمین آماده کشت می‌شود. در این روش به دلیل تردد زیاد

خاک یکی از مهم‌ترین عامل تولید محصولات کشاورزی است. عملیات خاک‌ورزی با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بر عملکرد محصول مؤثر است (۱۰). هدف از عملیات خاک‌ورزی کاهش مقاومت، بهبود ساختمان و افزایش نفوذپذیری خاک، دفن بقایای گیاهی، کنترل علف‌های هرز، تماس کامل بذر، اختلاط کود و سم با خاک و برهم‌زدن ساختار لوله‌های موئین خاک برای کاهش تبخیر آب از خاک می‌باشد (۱۳). با کشف انرژی بخار آب و استخراج سوخت‌های فسیلی انقلابی تدریجی در وسایل شخم و دیگر ادوات کشاورزی رخ داد. هم‌اکنون تراکتورهای عظیم‌الجثه با ۳۰۰ اسب بخار برای انجام عملیات خاک‌ورزی در بعضی از مناطق کشاورزی به کار می‌روند که در برخی اوقات خود عامل فشردگی خاک هستند. در ایران به علت رعایت نکردن تناوب، انجام کشت‌های متراکم تک‌محصولی، عدم مدیریت صحیح ماده آلی و

خاک کاهش می‌یابد (۲). در ارتباط با کاهش هدایت هیدرولیکی خاک در بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم نتایج مشابهی توسط سایر پژوهندگان نیز گزارش شده است (۵، ۲۳، ۳۷). از طرفی در پژوهش‌های هورن و همکاران (۱۹۹۲) هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های شخم‌خورده و بدون شخم تفاوت معنی‌داری نداشت (۱۸). اندازه‌گیری صحرایی (مزرعه‌ای) هدایت هیدرولیکی غیراشباع، به‌طور غیرمستقیم بیانگر وضعیت ساختمان و تخلخل خاک می‌باشد که تحت‌تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت خاک تغییر می‌کند (۴۱). دستگاه نفوذسنج مکشی بدون ایجاد دست‌خوردگی در خاک به‌طور غیرمستقیم وضعیت ساختمان خاک و همچنین میزان نفوذپذیری خاک که تحت‌تأثیر ساختمان خاک است را اندازه‌گیری می‌کند (۳۱). خصوصیات هیدرولیکی نزدیک به اشباع که در توجیه فرآیند حرکت آب و املاح در خاک مهم بوده و به‌طور طبیعی در بیش‌ترین میزان خود در آستانه اشباع شدن خاک از آب اتفاق می‌افتد، به‌وسیله دستگاه نفوذسنج مکشی قابل اندازه‌گیری می‌باشد (۶، ۴۲). در یک خاک بافت متوسط، در سه سامانه خاک‌ورزی، هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع اندازه‌گیری شده به‌وسیله دستگاه نفوذسنج مکشی، در بی‌خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری کم‌تر از شخم مرسوم بوده ولی در سامانه کم‌خاک‌ورزی با دو سامانه دیگر تفاوت معنی‌داری نداشته است (۲۷). از طرفی رینولد و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در خاک لومی رسی سیلتی در شخم مرسوم بیش‌تر از بی‌خاک‌ورزی در حالی‌که در یک خاک شنی برعکس بود (۳۵). در ارتباط با تغییرات هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در روش‌های مختلف خاک‌ورزی نتایج متناقضی توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است (۵، ۱۰).

ماشین‌آلات از یک طرف و در معرض هوا قرار گرفتن بیش‌تر خاک و در نتیجه اکسید شدن ماده آلی خاک از طرف دیگر، کاهش ماده آلی، فشرده شدن و تخریب ساختمان خاک دور از انتظار نیست. روش‌های بدون خاک‌ورزی تنها شامل عملیات قرار دادن بذر و کود در خاک با به هم‌خوردن بسیار اندک خاک می‌باشد. روش‌های کم‌خاک‌ورزی یا کمینه خاک‌ورزی شامل روش‌های خاک‌ورزی با شدت متوسط هستند (۳).

مولامبا و لال (۲۰۰۸) با حفظ بقایای گیاهی غلات به‌عنوان مالچ در طول یازده سال در اوهایو، دریافتند که میزان آب قابل استفاده گیاه و تخلخل کل خاک افزایش می‌یابد (۳۰). اثر خاک‌ورزی بر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک توسط پژوهندگان مختلفی به اثبات رسیده است (۱، ۱۷، ۲۱). به اعتقاد لیتچ و الکایسی (۲۰۱۲)، شخم به‌دلیل شکستن حفرات درشت و فشرده کردن حفرات ریز، نفوذ آب به خاک را کاهش می‌دهد (۲۶). در مطالعه لال (۲۰۰۹) مشخص شد که برگرداندن بقایای گیاهی به خاک سبب بهبود نفوذپذیری آب به خاک می‌شود (۲۵). برخی معتقدند در کم‌خاک‌ورزی پایداری خاکدانه‌ها و شدت نفوذ آب به خاک بیش‌تر از روش شخم با گاواهن است (۳). حفرات درشت ناشی از فعالیت‌های موجودات زنده در عکس‌های ریخت‌شناسی خاک در سامانه بدون خاک‌ورزی بیش‌تر از شرایط شخم سنتی بود (۱۴). جسیکا (۲۰۱۰) دریافت که هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در بی‌خاک‌ورزی در مزرعه فاریاب بیش‌تر از زمین شخم‌خورده بود. ولی در زراعت دیم این ویژگی در شرایط بدون شخم کم‌تر از زمین شخم‌خورده بود (۲۲). بر اساس گزارش آلماراس و همکاران (۱۹۸۲) گرچه در روش‌های خاک‌ورزی مرسوم، با به‌کارگیری ادوات شخم، خاک در عمق زراعی سست می‌شود اما چون پیوستگی منافذ از بین می‌رود معمولاً هدایت هیدرولیکی اشباع

اسپلیت پلات (کرت‌های خرد شده) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در تناوب گندم- ذرت مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین در کشت اول (گندم) تنها اثر روش‌های خاک‌ورزی و در کشت دوم (ذرت) اثر هر دو فاکتور روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایا مورد ارزیابی قرار گرفت. **اجرای طرح پژوهشی:** پژوهش در کرت‌هایی به ابعاد ۶×۲۰ متر انجام شد. در کشت گندم هر کرت فرعی شامل ۳۰ خط کاشت به طول ۲۰ متر با فاصله خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر و در کشت ذرت هر کرت فرعی شامل ۸ خط کاشت به طول ۲۰ متر با فاصله خطوط کاشت ۷۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی ۲ متر و فاصله بین تکرارها نیز حدود ۸ متر در نظر گرفته شد. قبل از کشت یک نمونه خاک مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر سطح خاک، تهیه و اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مرسوم خاک با روش‌های معمول مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بعد از اعمال تیمارهای خاک‌ورزی با دستگاه مستقیم کار بذر در عمق مناسب از سطح خاک جاگذاری شد. در طول فصل، مزرعه با روش غرقابی آبیاری شد. پس از تثبیت گیاه در خاک با یک بار سم‌پاشی با علف‌های هرز مبارزه شد. در ادامه ضمن اعمال مدیریت داشت در چند مرحله با استفاده از کود اوره به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، مزرعه کودپاشی شد. در پایان فصل پس از رسیدن محصول، در تیمار حذف بقایا، گیاه از محل طوقه در سطح خاک کف‌بر و از مزرعه خارج شد. در تیمار حفظ بقایا، محصول به‌وسیله دستگاه کمابین برداشت شد، به‌طوری‌که حدود ۳۰ درصد بقایای گیاهی به‌صورت ایستاده با ارتفاع حدود ۵۰ سانتی‌متر باقی ماند. پس از اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای در فصل دوم، روش‌های خاک‌ورزی فصل دوم دوباره در کرت‌های ثابت به اجرا گذاشته شد.

با توجه به اهمیت نفوذ و حرکت آب در خاک و موثر بودن اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و همچنین کم بودن مطالعات علمی در خصوص اثرات این دو عامل در سیستم دو کشتی گندم- ذرت بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در کشور، این پژوهش در شرایط مزرعه‌ای با هدف ارزیابی اثر سه روش خاک‌ورزی (خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) و دو روش مدیریت بقایای گیاهی (حفظ بقایای گیاهی و حذف بقایای گیاهی) بر هدایت هیدرولیکی نزدیک اشباع خاک، در تناوب گندم و ذرت در منطقه نیمه‌خشک جنوب ایران انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

محل انجام پژوهش: این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی زرقان فارس با ارتفاع ۱۵۹۶ متر از سطح دریا، متوسط بارندگی سالانه درازمدت ۲۳۵ میلی‌متر با طول و عرض جغرافیایی (39 R 0655243, UTM 3295455) در مقیاس جهانی در یک خاک با مشخصات (*Fine, Carbonatic, Thermic, Typic Calcixerpts*) در تناوب گندم- ذرت (الگوی غالب منطقه) در یک سال زراعی، در قطعه‌ای آیش با شخم بهاره بدون هر نوع بقایای گیاهی انجام شد.

تیمارهای آزمایش: اثر مدیریت بقایای گیاهی شامل حفظ بقایای عمودی و حذف بقایا (کف‌بر و خارج کردن تمام بقایا) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه روش خاک‌ورزی شامل خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاواهن برگرداندار، دیسک و تراز کردن به‌وسیله ترازکننده کششی)، کم‌خاک‌ورزی (یک بار استفاده از خاک‌ورز مرکب متشکل از پنجه‌غازی و روتاری) و بدون خاک‌ورزی (بدون هیچ‌گونه عملیات شخم یا خاک‌ورزی)، به‌عنوان فاکتور فرعی به‌صورت آزمایش

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Some physicochemical properties of studied soil.

مقادیر values	ویژگی‌ها Soil properties	مقادیر values	ویژگی‌ها Soil properties
7.9	pH گل اشباع pH of saturated paste	36.2	رس (%) Clay (%)
0.68	EC عصاره اشباع (dSm ⁻¹) EC (dSm ⁻¹)	15.2	شن (%) Sand (%)
40.5	کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonate equivalent (%)	48.6	سیلت (%) Silt (%)
1.2	OC (%)	لومرسی سیلتی Silty clay loam	یافت Soil Texture

اول تا رسیدن به شرایط همگام ادامه یافت. قبل از انجام آزمایش نفوذ، جهت اندازه‌گیری رطوبت اولیه خاک از خاک مجاور محل اندازه‌گیری، نمونه برداشته شد و با روش وزنی رطوبت خاک اندازه‌گیری شد. پس از پایان آزمایش نیز با استفاده از استوانه نمونه‌برداری از خاک محل آزمایش نمونه دست‌نخورده جهت تعیین جرم مخصوص ظاهری و رطوبت اشباع خاک، تهیه شد (نتایج در مقاله نیامده است).

تعیین هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک: تغییرات حرکت اشباع آب در خاک با حل عددی معادلات نفوذ از یک منبع با سطح مقطع دوار با فشار بار آبی ثابت قابل توجیه است (۳۶). در این رابطه، هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک $K(\psi)$ تابعی از پتانسیل ماتریک (ψ) و ضریب جذب آب (α) معادله نمایی است، که توسط گاردنر (۱۹۵۸) به صورت زیر (رابطه ۱) ارائه گردیده است (۱۵).

$$K_S \exp(\alpha\psi) = K(\psi) \quad (1)$$

که در آن، K_S هدایت هیدرولیکی اشباع ($L T^{-1}$)، ψ پتانسیل ماتریک خاک یا مکش اعمال شده در منبع

اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک: پس از برداشت محصول، آزمایش‌های نفوذ با دستگاه نفوذسنج مکشی با قطر دیسک ۲۰ سانتی‌متر در مکش‌های صفر، ۲، ۴، ۸، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر (از مکش بیش‌تر به کم‌تر) با ثبت نفوذ تجمعی در شش تکرار (در دو نقطه از هر کرت) انجام شد. برای این کار ابتدا پس از کنار زدن بقایا و صاف کردن بدون دست‌خوردگی، سطح خاک با یک پارچه با روزه‌های تقریباً ۲۰ میکرومتر پوشانده شد و روی آن یک لایه نازک ماسه به ضخامت حدود ۵ میلی‌متر با اندازه ذرات حدود ۱۰۰ میکرومتر برای اطمینان از تماس هیدرولیکی مناسب بین صفحه نفوذسنج و سطح خاک تعبیه شد. دستگاه به آرامی و تراز با سطح افقی روی لایه شن قرار گرفت. پس از پر کردن مخزن دستگاه با آب و تنظیم مکش، آزمایش نفوذپذیری با شروع از بیش‌ترین مکش (۱۵ سانتی‌متر) انجام شد. مقدار نفوذ آب به خاک برای هر آزمایش و در هر مکش در فواصل زمانی پانزده ثانیه تا دقیقه دوم و پس از آن در فاصله زمانی یک دقیقه، تا حصول شرایط همگام (ماندگار) اندازه‌گیری شد. در ادامه برای مکش‌های بعدی، اندازه‌گیری‌های مشابه با مکش

بر اساس روش پیشنهادی انکنی و همکاران (۱۹۹۱) مقادیر هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در هر مکش، از میانگین‌گیری این مقادیر در دو مکش متوالی و به‌صورت رابطه‌های زیر (۵ الی ۱۰) به‌دست آمد (۴).

$$K_{0.02} = (K_{0.02(0.02,0.02)} + K_{0.02(0.02,0.04)}) / 2 \quad (5)$$

$$K_0 = K_{0(0.0,0.02)} \quad (6)$$

$$K_{0.04} = (K_{0.04(0.02,0.04)} + K_{0.04(0.04,0.08)}) / 2 \quad (7)$$

$$K_{0.08} = (K_{0.08(0.04,0.08)} + K_{0.08(0.08,0.10)}) / 2 \quad (8)$$

$$K_{0.10} = (K_{0.10(0.08,0.10)} + K_{0.10(0.10,0.15)}) / 2 \quad (9)$$

$$K_{0.15} = (K_{0.15(0.10,0.15)}) \quad (10)$$

که در آن، K_0 ، $K_{0.02}$ ، $K_{0.04}$ ، $K_{0.08}$ ، $K_{0.10}$ ، $K_{0.15}$ به‌ترتیب مقدار هدایت هیدرولیکی در مکش‌های صفر، ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۸، ۰/۱۰ و ۰/۱۵ متر می‌باشد.

تعیین سهم گروه‌های اندازه‌ای خلل و فرج خاک از کل جریان آب: براساس تئوری موینگی حداکثر قطر معادل منافذی که تحت مکش آبی اعمال شده پر از آب باقی‌مانده و با اعمال مکش‌های بیش‌تر زهکشی می‌شوند را می‌توان با مکش‌های اعمال‌شده معادل‌سازی کرد. بنابراین حداکثر قطر خلل و فرج متناظر مکش‌های ۱۵، ۱۰، ۸، ۴ و ۲ سانتی‌متر به‌کار رفته در این آزمایش بر اساس تئوری موینگی (رابطه ۱۱) معادل ۰/۲، ۰/۳، ۰/۳۷۵، ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌متر بود. همچنین مکش صفر نشان‌دهنده شرایط اشباع خاک از آب می‌باشد که تمام خلل و فرج خاک (درشت و ریز) در انتقال آب در خاک دخالت دارند.

(L) ، $K(\psi)$ هدایت هیدرولیکی غیراشباع $(L T^{-1})$ در مکش ψ و α ضریب جذب آب است (L^{-1}) که در این روش عکس λ یا طول ماکروسکوپی موینگی (L) است (۳۲، ۴۰). با استفاده از حل عددی معادله نفوذ توسط وودینگ (۱۹۶۸)، حجم آب نفوذیافته به خاک در مدت زمان مشخص به‌شرح رابطه ۲ به‌دست می‌آید (۴۳).

$$Q(\psi) = \pi r^2 K(\psi) [1 + (4 / \pi r \alpha)] \quad (2)$$

که در آن، $Q(\psi)$ حجم آب نفوذیافته به خاک $(L^3 T^{-1})$ در واحد زمان در شرایط نفوذ همگام و r شعاع دیسک نفوذ (L) می‌باشد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود رابطه ۲ شامل دو قسمت است که قسمت سمت چپ معرف اثر نیروی جاذبه و قسمت سمت راست بیانگر نیروی موینگی می‌باشد (۴۳).

انکنی و همکاران (۱۹۹۱) پیشنهاد کردند که می‌توان جریان همگام را با دو مکش آب خاک محاسبه کرد (۴). در این حالت نیازی به تعیین رطوبت در پتانسیل صفر و همچنین به‌هم‌خوردگی خاک نمی‌باشد. در این روش نیز مقدار هدایت هیدرولیکی در مکش‌های به‌کار برده شده با استفاده از داده‌های نفوذ اندازه‌گیری شده در شرایط همگام به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$K(\psi_1) = Q_1 / [\pi r^2 + 2 \Delta \psi r (1 + Q_2 / Q_1) / (1 - Q_2 / Q_1)] \quad (3)$$

$$K(\psi_2) = [Q_2 K(\psi_1)] / Q_1 \quad (4)$$

که در آن‌ها، Q_1 و Q_2 به‌ترتیب دبی آب نفوذیافته در مکش‌های ψ_1 و ψ_2 ، $K(\psi_1)$ و $K(\psi_2)$ به‌ترتیب مقدار هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در مکش‌های ψ_1 ، ψ_2 و $\Delta \psi$ اختلاف دو مکش متوالی می‌باشد.

نتایج و بحث

اثر روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی: تجزیه مرکب واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر روش‌های شخم و مکش‌های به‌کار رفته در خاک پس از هر دو کشت (گندم و ذرت) و اثر بقایای گیاهی در خاک پس از کشت دوم (ذرت) بر هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول تجزیه واریانس در مقاله آورده نشده است). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (جدول ۲)، پس از کشت اول با کاهش مکش اعمال شده، میزان هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک اندازه‌گیری شده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که مقدار آن به‌میزان $10^{-7} * 5/20$ و $10^{-7} * 39/27$ متر بر ثانیه (به‌علت کوچک بودن اعداد، نتایج در 10^7 ضرب شده‌اند) به‌ترتیب در مکش‌های ۱۵ و صفر سانتی‌متر، کمینه و بیشینه بوده و نشان می‌دهد هدایت هیدرولیکی خاک در مکش صفر در مقایسه با مکش ۱۵ سانتی‌متر به‌میزان ۶۵۵ درصد افزایش یافته است. پس از کشت دوم نیز با کاهش مکش‌های اعمال‌شده، هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک افزایش یافت. به‌طوری‌که کمینه این شاخص به‌میزان $10^{-7} * 4/36$ و بیشینه به‌میزان $10^{-7} * 22/68$ متر بر ثانیه به‌ترتیب متعلق به مکش‌های ۱۵ و صفر سانتی‌متر بود. بنابراین هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در مکش صفر در مقایسه با مکش ۱۵ سانتی‌متر به‌میزان ۴۲۰ درصد افزایش یافت (جدول ۳). درجه اعوجاج مسیر حرکت آب و حرکت آب در خلل و فرج ریز در شرایط غیراشباع با مکش‌های زیاد سبب کم شدن هدایت هیدرولیکی خاک در مقایسه با شرایط نزدیک‌تر به حالت اشباع و مکش‌های کم می‌شود، اما در شرایط اشباع مشارکت هر دو گروه خلل و فرج ریز و درشت

سهم هر گروه اندازه‌ای خلل و فرج خاک از کل جریان آب ($K_{\Delta i}(\%)$) خاک و همچنین درصد کاهش جریان آب (%flow) در هر مکش (Ψ) در مقایسه با شرایط اشباع ($\Psi=0$) که در واقع نشان‌دهنده درصدی از جریان آب است که در خلل و فرج با قطر بزرگ‌تر قطر متناظر با مکش مورد نظر رخ می‌دهد را بر اساس روش قیبرتو و همکاران (۲۰۰۷) و واتسون و لوکس‌مور (۱۹۸۶) و با استفاده از رابطه‌های ۱۱ تا ۱۳ به‌دست آمد (۱۶، ۳۸).

$$\Psi = (0.3/D) \quad (11)$$

$$K_{\Delta i}(\%) = [(K_i - K_{i-1}) / K_s] * 100 \quad (12)$$

$$\%flow = [1 - (K_{\Psi} / K_0)] * 100 \quad (13)$$

که در آن‌ها، D قطر متناظر خلل و فرج در مکش (Ψ)، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع و K_i و K_{i-1} هدایت هیدرولیکی غیراشباع در دو مکش متوالی و K_0 و K_{Ψ} به‌ترتیب هدایت هیدرولیکی در مکش اعمال‌شده و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک است.

از داده‌های نفوذ اندازه‌گیری شده تا رسیدن به حالت همگام و با استفاده از روش پیشنهادی انکنی و همکاران (۱۹۹۱) که شرح آن در فوق آمد، مقدار هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در مکش‌های به‌کار رفته در آزمایش، محاسبه شد (۴). تجزیه واریانس داده‌های حاصله با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌های مربوطه در خاک هر کشت با آزمون چنددامنه‌ای دانکن و مقایسه میانگین هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در خاک گندم با خاک ذرت با استفاده از آزمون T (روش تی تست) انجام شد.

فرج، از ذرات ریز ناشی از، از هم‌پاشیدگی خاکدانه‌ها، سبب کاهش هدایت هیدرولیکی خاک شده باشد. بنابراین در روش خاک‌ورزی مرسوم به هم‌خوردن خاک و شکاف‌های ایجاد شده در اثر شخم سبب افزایش هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع سطحی خاک در مقایسه با روش بی‌خاک‌ورزی شده که هیچ‌گونه به هم‌خوردگی در آن روی نداده است. به باور لیتچ و الکایسی (۲۰۱۲) در شرایطی که سطح خاک عاری از بقایا است، برخورد قطرات باران با سطح خاک سبب از هم پاشیدن ساختمان خاک شده و پر شدن حفرات منجر به کاهش نفوذ و افزایش هرز آب و در نتیجه افزایش پتانسیل ایجاد سله در سطح خاک می‌شود (۲۶). در مکش‌های ۲ و صفر سانتی‌متر، هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع اندازه‌گیری شده در روش‌های مختلف خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری نداشت.

در فصل دوم ذرت در زمینی کشت شد که وجود بقایای گندم به‌عنوان تیمار مدیریت بقایا مهیا بود. در خاک پس از کشت دوم (ذرت) اثر بقایای گیاهی بر هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع اندازه‌گیری شده در همه مکش‌ها به جز در مکش‌های ۱۰ و ۸ سانتی‌متر معنی‌دار بود. همچنین اثر روش‌های خاک‌ورزی بر هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک در تمام مکش‌ها به استثنای مقدار اندازه‌گیری شده در مکش ۸ سانتی‌متر در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایا بر هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در تمام مکش‌ها نیز به جز در مکش‌های ۱۵ و ۲ سانتی‌متر در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

خاک در حرکت آب در شبب افزایش هدایت هیدرولیکی می‌شود. درویش‌پسند و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که در یک خاک لوم رسی سیلتی، با کاهش مکش آب خاک، مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع و نزدیک به اشباع خاک افزایش یافت (۱۲). موسوی و سپاسخواه (۲۰۱۲) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند (۲۹). نتایج این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (۶، ۴۲).

در این پژوهش، کشت اول (گندم) در زمینی در حال آیش و فاقد پوشش گیاهی انجام گرفت. بنابراین در فصل اول زراعی در خاک بعد از کشت اول (گندم) عملاً تنها اثر روش‌های شخم مؤثر بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد در خاک پس از کشت اول (گندم) اثر روش‌های شخم بر میزان هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع اندازه‌گیری شده در تمام مکش‌ها به جز در مکش‌های ۲ و صفر سانتی‌متر در سطح یک درصد معنی‌دار بود. از طرفی اثر مدیریت بقایای گیاهی تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی نداشت. اطلاعات ارایه شده در جدول ۲ نشان داد که در خاک پس از کشت اول (گندم) در مکش‌های ۱۵، ۱۰، ۸ و ۴ سانتی‌متر، با کم شدن شدت خاک‌ورزی میزان هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع کاهش یافت. به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان این ویژگی به ترتیب از آن خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی بود. در مکش‌های یادشده، اعمال روش بی‌خاک‌ورزی به ترتیب سبب کاهش ۴۱، ۳۲، ۳۰ و ۲۲ درصدی هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در مقایسه با روش خاک‌ورزی مرسوم شد. به نظر می‌رسد عدم وجود پوشش گیاهی در خاک قبل از کشت اول (گندم) باعث خرد شدن خاک‌دانه‌های سطحی به وسیله نزولات جوی و در نتیجه پر شدن خلل و

جدول ۲- اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر میزان هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک ($K_{\psi} * 10^7$ متر بر ثانیه) در خاک پس از کشت اول (گندم).

Table 2. Effects of different Tillage System and Residual Management on unsaturated Hydraulic Conductivity of first crop soil (wheat) ($K*10^7 \text{ m s}^{-1}$).

میانگین Mean	مدیریت بقایای گیاهی Plant residual management		روش‌های خاک‌ورزی Tillage system
	حفظ بقایای گیاهی Residual retention	حذف بقایای گیاهی Residual removed	
$K_{0.15}$ (Mean= 5.20 E)			
6.26 A*	6.07 a	6.45 a	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
5.58 B	5.54 b	5.65 b	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
3.70 C	3.77 c	3.64 c	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	5.13 A	5.25 A	میانگین (Mean)
$K_{0.10}$ (Mean= 9.55 E)			
11.21 A	10.61 b	11.82 a	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
9.84 B	9.89 bc	9.80 b	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
7.58 C	7.61 c	7.55 c	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	9.27 A	9.72 A	میانگین (Mean)
$K_{0.8}$ (Mean= 11.25 D)			
13.43 A	13.74 a	13.12 a	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
10.87 B	10.68 b	11.06 bc	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
9.46 B	9.44 c	9.49 c	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	10.95 A	11.55 A	میانگین (Mean)

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

میانگین Mean	مدیریت بقایای گیاهی Plant residual management		روش‌های خاک‌ورزی Tillage system
	حفظ بقایای گیاهی Residual retention	حذف بقایای گیاهی Residual removed	
K _{0.04} (Mean= 14.42 C)			
14.37 B	14.31 b	14.42 b	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
17.74 A	15.14 b	20.35 a	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
11.14 C	11.29 c	10.99 c	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	13.91 A	14.93 A	میانگین (Mean)
K _{0.02} (Mean= 24.49 B)			
23.52 A	23.65 b	23.38 b	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
24.43 A	24.41 b	24.46 b	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
25.52 A	24.19 b	26.85 a	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	24.08 A	24.90 A	میانگین (Mean)
K ₀ (Mean= 39.27 A)			
41.57 A	41.07 a	42.07 a	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
37.35 A	39.66 a	35.04 b	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
38.90 A	39.52 a	38.29 a	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	40.08 A	38.47 A	میانگین (Mean)

* میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

اشباع خاک کاهش یافت. همچنین در تمام مکش‌های اعمال شده بیش‌ترین، کم‌ترین و حدوسط مقدار هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع به‌ترتیب از آن

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ نشان داد که در خاک پس از کشت دوم (ذرت) با کاهش شدت خاک‌ورزی و افزایش بقایای گیاهی، هدایت هیدرولیکی نزدیک به

خاک‌ورزی مرسوم، بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی بود. ملاحظه شد در تمام مکش‌های ۱۵، ۱۰، ۸، ۴، ۲ و صفر سانتی‌متر با تغییر روش خاک‌ورزی از خاک‌ورزی مرسوم به بی‌خاک‌ورزی میزان هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع اندازه‌گیری شده به ترتیب به میزان ۳۰/۵، ۲۶/۴، ۱۴/۸۹، ۱۵/۶۲، ۲۵/۵۱ و ۲۴/۸۱ درصد کاهش یافت. مشابه با نتایج این پژوهش، میلر و همکاران (۱۹۹۸) با اعمال پتانسیل‌های ۰/۳-، ۰/۶-، ۰/۱- و ۱/۵- کیلوپاسکال به وسیله دستگاه نفوذسنج مکشی در سه سامانه خاک‌ورزی در یک خاک بافت متوسط (لومی)، دریافتند که هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در شرایط بی‌خاک‌ورزی به طور معنی‌داری کم‌تر از شخم مرسوم بوده ولی در کم‌خاک‌ورزی با دو سامانه دیگر تفاوت معنی‌داری نداشت (۲۷). همچنین بر اساس گزارش رینولد و همکاران (۱۹۹۵) هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در خاک لومی رسی با شخم مرسوم بیش‌تر از هدایت هیدرولیکی در شرایط بی‌خاک‌ورزی بود در حالی‌که در خاک شنی نتایج برعکس بود (۳۵). یافته‌های جسیکا (۲۰۱۰) نیز در دو مزرعه فاریاب و دیم نشان داد که هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک، در شرایط بدون شخم در زراعت دیم حدود پنج برابر کم‌تر ولی در مزرعه تحت سیستم آبیاری سنتریپوت حدود دو برابر بیش‌تر از هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک شخم‌خورده بود (۲۲). در برخی از پژوهش‌ها تفاوت معنی‌داری در هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های شخم‌خورده در مقایسه با خاک‌های شخم‌نخورده گزارش نشده است (۱۸). از طرفی نتایج این پژوهش با یافته‌های برخی پژوهشگران (۳، ۱۰، ۱۴، ۲۳، ۳۷) هم‌خوانی نداشت.

مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۳ نشان داد در خاک پس از کشت ذرت، در تمام مکش‌های اعمال شده حفظ بقایای گیاهی در خاک سبب کاهش هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک در مقایسه با شرایط

حذف بقایای گیاهی شد. این کاهش در تمام مکش‌های به‌کار رفته به‌جز در مکش‌های ۱۰ و ۸ سانتی‌متر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بنابراین هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در مکش‌های ۱۵، ۱۰، ۸، ۴، ۲ و صفر سانتی‌متر در شرایط حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک به ترتیب به میزان ۱۶، ۱۲/۶، ۱۱، ۱۴/۵، ۱۳/۷ و ۱۷/۳ درصد در مقایسه با شرایط حذف بقایای گیاهی از سطح خاک کاهش یافت. این کاهش در تمام روش‌های خاک‌ورزی نیز مشاهده شد. بقایای گیاهی می‌تواند موجب افزایش ماده آلی و تسهیل تشکیل خاک‌دانه‌ها در خاک شود. بنابراین انتظار می‌رفت حفظ بقایای گیاهی، ضمن بهبود ساختمان خاک، هدایت هیدرولیکی خاک را افزایش دهد. به‌نظر می‌رسد بقایای حفظ شده در خاک فرصت کافی جهت تجزیه و اعمال نقش واقعی خود را نیافته است. یانوسا و نیوتن (۲۰۰۳) با به‌کارگیری گیاهان علفی و چوبی جهت بهبود نفوذپذیری خاک، دریافتند که به‌کارگیری سالانه بقایای گیاهی، اثر چندانی بر افزایش نفوذپذیری یا تراوایی خاک نداشت (۴۴). فان و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی درازمدت دریافتند که شدت نفوذ آب به خاک در شرایط بدون خاک‌ورزی در سال ششم و هشتم آزمایش به ترتیب ۱/۶ و ۲/۱ برابر و مقدار آب نفوذیافته ۱/۴ و ۲ برابر بیش‌تر از شخم با گاواهن بود (۱۴). با توجه به این‌که حضور درز و ترک در خاک باعث افزایش هدایت هیدرولیکی خاک می‌گردد، احتمالاً وجود بقایای پوسیده‌نشده در خاک با به‌هم چسباندن ذرات خاک از ترک خوردن آن جلوگیری کرده و در نهایت سبب کاهش هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در تیمار حفظ بقایای گیاهی در مقایسه با تیمار حذف بقایای گیاهی شده باشد. مودنی (۲۰۰۸) دریافت حفظ بقایای گیاهی سبب افزایش رطوبت خاک، کاهش جرم مخصوص خاک و به تاخیر انداختن زمان رسیدن به حداکثر درز و ترک در خاک شد (۲۸).

جدول ۳- اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر میزان هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک ($K_{\psi} * 10^7$ متر بر ثانیه) در خاک پس از کشت دوم (ذرت).

Table 3. Effects of different Tillage System and Residual Management on unsaturated Hydraulic Conductivity of second crop soil (Corn)($K * 10^7 \text{ m s}^{-1}$).

میانگین Mean	مدیریت بقایای گیاهی Plant residual management		روش‌های خاک‌ورزی Tillage system
	حفظ بقایای گیاهی Residual retention	حذف بقایای گیاهی Residual removed	
$K_{0.15}$ (Mean= 4.36 F)			
5.28 A*	5.04 b	5.51 a	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
4.14 B	3.82 cd	4.46 bc	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
3.67 B	3.07d	4.26 bc	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	3.98 B	4.74 A	میانگین (Mean)
$K_{0.10}$ (Mean= 7.72 E)			
9.05 A	9.45 a	8.66 a	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
7.44 B	6.83 b	8.05 ab	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
6.66 B	5.33 c	8.00 ab	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	7.20 A	8.24 A	میانگین (Mean)
$K_{0.8}$ (Mean= 9.15 D)			
9.94 A	10.63 a	9.24 a	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
9.02 A	7.74 a	10.31a	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
8.46 A	7.44 a	9.49 a	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	8.61 A	9.68 A	میانگین (Mean)

ادامه جدول ۳-

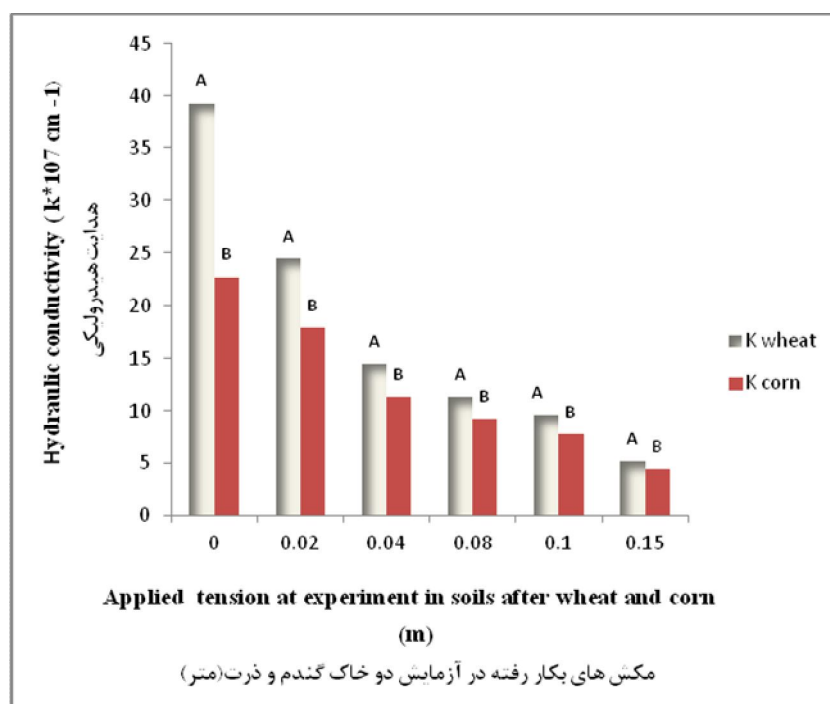
Continue Table 3.

میانگین Mean	مدیریت بقایای گیاهی Plant residual management		روش‌های خاک‌ورزی Tillage system
	حفظ بقایای گیاهی Residual retention	حذف بقایای گیاهی Residual removed	
K _{0.04} (Mean= 11.32 C)			
11.59 A	12.33 ab	10.84 b	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
12.61 A	11.75 ab	13.47a	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
9.78 B	7.24 c	12.32 ab	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	10.44 B	12.21 A	میانگین (Mean)
K _{0.02} (Mean= 17.82 B)			
20.03 A	18.76 ab	21.30 a	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
18.51 A	18.03 ab	18.99 ab	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
14.92 B	12.74 c	17.10 b	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	16.51B	19.13 A	میانگین (Mean)
K ₀ (Mean= 22.68 A)			
25.75 A	20.91 bc	30.59 a	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
22.94 A	24.38 b	21.50 bc	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
19.36 B	17.95 c	20.77 bc	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
	21.08 A	24.29 A	میانگین (Mean)

* میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

است. به‌گونه‌ای که راسه و اسموکر (۱۹۹۸) معتقدند پوسیدن ریشه گیاه پس از اتمام فصل رشد و به‌جا گذاشتن حفرات در نیم‌رخ خاک سبب افزایش نفوذپذیری خاک می‌شود (۳۴). از طرفی برخی بر این باورند که افزایش حجم ریشه زنده و غیرپوسیده در اثر رشد و جذب آب، سبب فشردگی خاک می‌شود (۳۸). همچنین بودن و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که نوع پوشش گیاهی در مقایسه با خاک بدون پوشش، تأثیری بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک ندارد (۸). کلیشادی و همکاران (۲۰۱۴) معتقدند هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک تحت تأثیر مدیریت و بهره‌برداری از خاک قرار می‌گیرد (۲۴). در برخی مطالعات نیز اثر تناوب گیاهی و خاک‌ورزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک بررسی و گزارش شده که اثر نوع گیاه بر ویژگی‌های یاد شده مؤثر نبوده در حالی که نوع خاک‌ورزی تأثیر داشته است (۹، ۱۱).

مقایسه هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در دو کشت: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع در خاک پس از کشت دوم (ذرت) در مقایسه با خاک پس از کشت اول (گندم) در تمام مکش‌ها و تیمارهای اعمال‌شده در این پژوهش کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۱). تفاوت سیستم ریشه گیاه گندم در کشت اول در مقایسه با گیاه ذرت در کشت دوم و کشت گندم در خاک بدون پوشش و ذرت در خاک با بقایای گندم و اثر توام خاک‌ورزی و بقایای گیاهی در خاک ذرت باعث تغییرات بیش‌تر خاک پس از کشت دوم (ذرت) شده است. به‌نظر می‌رسد کاهش هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک پس از کشت دوم (ذرت) در مقایسه با خاک پس از کشت اول (گندم) به‌میزان و نوع ماده آلی و همچنین مرحله تجزیه آن در خاک بستگی داشته باشد. به باور برخی پژوهشگران، رابطه نفوذپذیری خاک با حضور ریشه در خاک، پیچیده



شکل ۱- مقادیر هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع اندازه‌گیری شده در مکش‌های به‌کار رفته در دو خاک گندم و ذرت.

Figure 1. Unsaturated soil hydraulic conductivity at applied pressure heads after wheat and corn crop.

حفرات با قطر معادل ۰/۷۵ و ۰/۳ میلی‌متر رخ داد. در خاک تحت کشت گندم، ۸۶/۷۶ درصد از کل جریان آب، در خلل فرج درشت (MacP) با قطر بزرگ‌تر از ۱/۵ میلی‌متر (۱۳/۲۴ درصد کم‌تر نسبت شرایط اشباع) و ۱۳/۲۴ درصد باقی‌مانده در خلل و فرج ریز (MicP) با قطر کم‌تر از ۱/۵ میلی‌متر رخ داد. در حالی‌که در خاک کشت دوم (ذرت) این میزان به ترتیب ۷۸/۸۰ و ۱۹/۲۲ درصد بود. بنابراین در هر دو کشت، خلل و فرج درشت (MacP) نقش بارزتری از خلل و فرج ریز (MicP) در انتقال آب در خاک داشتند. سایر پژوهشگران هم نقش منافذ درشت از کل جریان آب را بیش‌تر از منافذ متوسط و ریز دانسته‌اند (۱۲، ۳۳).

ملاحظه شد در خاک پس از کشت ذرت نقش خلل و فرج درشت از کل جریان آب کاهش و نقش خلل و فرج ریز افزایش یافت. این بدین معنی است که محصول ذرت در مقایسه با گندم اثرات تخریبی بیش‌تری بر ساختمان و خلل و فرج مؤثر خاک در انتقال آب داشت. یعنی کشت این محصول باعث کم‌شدن حفرات درشت خاک که وابسته به ساختمان خاک است، شد. درویش‌پسند و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که منافذ درشت خاک به نوع مدیریت خاک بسیار حساس می‌باشند (۱۲). همچنین با تغییر روش‌های خاک‌ورزی، درصد جریان آب در خلل و فرج درشت در خاک پس از هر دو کشت تحت تأثیر قرار گرفت. به‌نحوی‌که کمترین مقدار جریان در خلل و فرج درشت در هر دو کشت در خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب به‌میزان ۸۴/۹۶ و ۷۹/۴۹ درصد در خاک کشت اول (گندم) و کشت دوم (ذرت) اتفاق افتاد. اما بیش‌ترین مقدار جریان آب در خلل و فرج درشت در کشت اول در بی‌خاک‌ورزی و در کشت دوم در روش کم‌خاک‌ورزی حاصل شد، که به ترتیب به‌میزان ۹۰/۴۷ و ۸۱/۹۵ درصد بود. به‌نظر می‌رسد کاهش تردد ماشین‌آلات در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی

سه‌م گروه‌های اندازه‌ای منافذ خاک در جریان آب در خاک: اطلاعات مربوط به سه‌م گروه‌های اندازه‌ای مختلف منافذ خاک در کل جریان آب در خاک در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی در هر دو کشت در جدول ۴ آورده شده است. به‌علت روشن نبودن اثر مدیریت بقایای گیاهی در سه‌م گروه‌های اندازه‌ای مختلف منافذ خاک در جریان آب در خاک، فقط نتایج اثرات روش‌های شخم در این خصوص آورده شده است. همان‌طوری‌که در روش پژوهش شرح داده شد، درصد کاهش جریان آب (%flow) در هر مکش (Ψ) در مقایسه با شرایط اشباع ($\Psi=0$) در واقع نشان‌دهنده درصدی از جریان آب است که در خلل و فرج با قطر بزرگ‌تر از قطر متناظر با مکش مورد نظر رخ می‌دهد. نتایج نشان داد در مکش‌های مختلف اعمال شده و به دنبال آن تغییر اندازه منافذ متناظر آن‌ها در خاک، سه‌م هر گروه اندازه‌ای منافذ از مقدار آب جریان‌یافته در خاک متفاوت بود. همچنین ملاحظه شد با تغییر نوع گیاه کشت شده، سه‌م گروه‌های اندازه‌ای منافذ از کل جریان آب در خاک تغییر یافت. با افزایش رطوبت خاک، کاهش مکش و افزایش قطر خلل و فرج متناظر مکش‌ها در خاک، درصد جریان آب در گروه‌های اندازه‌ای منافذ خاک روند افزایشی نشان داد. اما این روند انتقال در بی‌خاک‌ورزی کندتر از دیگر روش‌های خاک‌ورزی بوده و در نتیجه نگهداری آب در خاک و قابلیت استفاده آن برای گیاه افزایش می‌یابد. در خاک تحت کشت گیاه ذرت نیز این روند افزایشی با نرخ کم‌تری وجود داشت. به‌طوری‌که در خاک پس از کشت اول (گندم) منافذ با قطر معادل ۱/۵ و ۰/۳ میلی‌متر به ترتیب با اختصاص ۳۷/۶۴ و ۴/۳۳ درصد از کل جریان آب بیش‌ترین و کم‌ترین نقش را در انتقال آب در خاک به عهده داشتند. در حالی‌که در خاک پس از کشت دوم (ذرت) حداکثر و حداقل مقدار جریان آب، به ترتیب به‌میزان ۲۸/۶۶ و ۶/۳۰ درصد از کل جریان آب در خاک، در

سبب بهبود وضعیت ساختمان خاک و افزایش خلل و فرج درشت در مقایسه با روش مرسوم شده است. مطابق با نتایج این پژوهش رمضانی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با کاهش تعداد تردد تراکتور در خاک مقدار خلل و فرج درشت خاک و همچنین درصد جریان متناظر آب در آن‌ها افزایش می‌یابد (۳۳). نتایج مشابهی توسط دیگر پژوهشگران نیز به دست آمده است (۱۲).

جدول ۴- اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر میزان جریان آب در خلل و فرج خاک پس از کشت گندم و ذرت (درصد).

Table 4. Effect of different Tillage Systems on water flow in soil pores after wheat and corn cropping (%).

میزان جریان آب در خلل و فرج ریز (%)		درصد جریان آب در گروه‌های اندازه‌های منافذ خاک					روش‌های خاک‌ورزی
میزان جریان آب در خلل و فرج درشت (%)	میزان جریان آب در خلل و فرج ریز (%)	Percentage of water flow in soil pores					Tillage systems
		مکش‌های به‌کار رفته (سانتی‌متر)					
		Applied tension (cm)					
		2	4	8	10	15	
		قطر خلل و فرج متناظر مکش‌ها (میلی‌متر)					
		Equivalent diameter of soil pores (mm)					
water flow in micro pores (%)	water flow in macro pores (%)	1.5	0.75	0.36	0.3	0.2	
D < 1.5 mm	D > 1.5 mm						
خاک گندم Wheats soil							
15.04	84.96	43.42	22.01	2.26	5.34	11.93	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
14.94	85.06	34.59	17.91	18.39	2.76	11.41	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
9.53	90.47	34.39	36.96	4.32	4.83	9.97	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
13.24	86.76	37.64	25.64	8.07	4.33	11.08	میانگین (Mean)
خاک ذرت Corns soil							
20.50	79.49	22.21	32.78	6.41	3.45	14.64	خاک‌ورزی مرسوم (Conservation tillage)
18.05	81.95	19.31	25.72	15.65	6.88	14.38	کم‌خاک‌ورزی (Minimum tillage)
18.95	81.04	22.93	26.55	6.82	9.29	15.44	بی‌خاک‌ورزی (No tillage)
19.22	80.78	21.43	28.66	9.57	6.30	14.81	میانگین (Mean)

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش موید این واقعیت است که مدیریت کاشت از جمله تغییر روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی به‌ویژه هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک می‌شود. بنابراین سرعت انتقال آب در خاک در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و همچنین در شرایط حذف و یا حفظ بقایای گیاهی متفاوت است. کاهش تردد ماشین‌آلات در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی سبب بهبود وضعیت ساختمان خاک و

افزایش خلل و فرج درشت در مقایسه با روش مرسوم شد. در هر دو کشت، خلل و فرج درشت نقش بارزتری از خلل و فرج ریز در انتقال آب در خاک داشتند. کاهش عملیات خاک‌ورزی و حفظ بقایای گیاهی سبب کاهش هدایت هیدرولیکی نزدیک اشباع شد و این کاهش در خاک ذرت بیش‌تر از خاک گندم بود. قبل از توصیه نتایج این پژوهش، مطالعات درازمدت در خاک‌های مختلف و با شرایط آب و هوای متفاوت پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1. Alletto, L., and Coquet, Y. 2009. Temporal and spatial variability of soil bulk density and hydraulic conductivity under two contrasted tillage management systems. *Geoderma*. 152: 85-94.
2. Allmaras, R.R., Ward, K.Jr., Douglas, C.L., and Ekin, L.G. 1982. Long-term cultivation effects on hydraulic properties of a Walla Walla silt loam. *Soil Till. Res.* 2: 265-279.
3. 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 (Review). *Soil Till. Res.* 104: 1. 1-15.
4. Ankeny, M.D., Ahmed, M., Kaspar, T.C., and Horton, H. 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 55: 467-470.
5. Azooz, R.H., Arshad, M.A., and Franzluebbers, A.J. 1996. Pore size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in Northwestern Canada. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 60: 1197-1201.
6. Bagarello, V., Castellini, M., and Iovino, M. 2005. Influence of the pressure head sequence on the soil hydraulic conductivity determined with tension infiltrometer. *Appl. Eng. Agric.* 21: 383-391.
7. Bear, M.H., and Hendrix, P.F. 1994. Water stable aggregates and organic carbon fractions in conventional and no tillage soils. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 58: 777-786.
8. Bodner, G., Scholl, P., Loiskandl, W., and Kaul, H.P. 2013. Environmental and management influences on temporal variability of near saturated soil hydraulic properties. *Geoderma*. 204: 120-129.
9. Capowiez, Y., Cadoux, S., Bouchant, P., Ruy, S., Estrade, J.R., Richard, G., and Boizard, H. 2009. The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. *Soil Till. Res.* 105: 209-216.
10. Castellini, M., and Domenico, V. 2012. Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy. *Soil Till. Res.* 124: 47-56.
11. Chang, C., and Lindwall, C.W. 1992. Effects of tillage and crop rotation on physical properties of a loam soil. *Soil Till. Res.* 22: 383-389.
12. Darvishpasand, Z., Sayyad, G., Shariaty M., and Mansory, Y. 2013. Evaluation of effects of agricultural machineries traffics on soil water-conducting meso and macro pores using disk infiltrometer. *J. Water Soil Cons.* 20: 5. 207-220.
13. De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., and Pisante, M. 2007. No tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil Till. Res.* 92: 69-78.

14. Fan, R., Zhang, X., Yang, X., Liang, A., Jia, S., and Chen, X. 2013. Effects of tillage management on infiltration and preferential flow in a black soil, Northeast China. *Chin. Geogra. Sci.* 23: 3. 312-320.
15. Gardner, W.R. 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.* 85: 228-232.
16. Ghiberto, P.J., Pilatti, M.A., Imhoff, S., and De Orellana, J.A. 2007. Hydraulic conductivity of Molisolls irrigated with sodic-bicarbonated waters in Santa Fe (Argentina). *Agric. Water Manage.* 88: 192-200.
17. Gill, S.M. 2012. Temporal variability of soil hydraulic properties under different soil management practices (PhD thesis), University of Guelph, Ontario, Canada.
18. Horne, D.J., Ross, C.W., and Hughes, K.A. 1992. Ten years of maize/oat rotation under three tillage systems on a silt loam in New Zealand. *Soil Till. Res.* 22: 1-2. 131-143.
19. Hu, W., Shao, M., Wang, Q., Fan, J., and Horton, R. 2009. Temporal changes of soil hydraulic properties under different land uses. *Geoderma.* 149: 355-366.
20. Irena, M., Andrzej, B., Zuzanna, S., and Tomasz, D. 2012. The effect of various long-term tillage systems on soil properties and spring barley yield. *Turk. J. Agr. For.* 36: 217-226.
21. Jabro, J.D., Stevens, W.B., Evans, R.G., and Iversen, W.M. 2009. Tillage effects on physical properties in two soils of the Northern Great Plains. *Appl. Eng. Agric.* 25: 377-382.
22. Jessica, H.D. 2010. Hydraulic conductivity, infiltration, and runoff from no-till and tilled cropland. University of Nebraska-Lincoln. M.Sc. Thesis: 140p.
23. Kamenickova, I., Larisova, L., and Stoklaskova, A. 2012. The impact of different tillage treatments on hydraulic conductivity of loamy soil. *Ata. Univ. Agric. Et. Silv. Mendel. Brun.* 12: 5. 109-114.
24. Kelishadi, H., Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., and Ayoubi, S. 2014. Near-saturated soil hydraulic properties as influenced by land use management systems in Koohrang region of central Zagros, Iran. *Geoderma* 213: 426-434.
25. Lal, R. 2009. Soil quality impacts of residue removal for bioethanol production. *Soil Till. Res.* 102: 2. 233-241.
26. Licht, M., and Al-Kaisi, M. 2012. Less tillage for more water. *Integrated Crop Management News*, Iowa State University Extension and Outreach, Department of Agronomy.
27. Miller, J.J., Sweetland, N.J., Larney, F.J., and Volkmar, K.M. 1998. Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. *Can. J. Soil. Sci.* 78: 643-648.
28. Moazeni, M. 2008. Effect of plant residual on hydraulic and water properties of soil in paddy soil of Gillan provinc. M.Sc. Thesis. Esfahan Technical University, 186p. (In Persian)
29. Moosavi, A.A., and Sepaskhah, A.R. 2012. Determination of unsaturated soil hydraulic properties at different applied tensions and water qualities. *Arch. Agro. Soil Sci.* 58: 1. 11-38.
30. Mulumba, L.N., and Lal, R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil Till. Res.* 98: 1. 106-111.
31. Perroux, K.M., and White, I. 1988. Designs for disk perm meters. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 52: 1205-1215.
32. Philip, J.R. 1957. The theory of infiltration, sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.* 84: 257-264.
33. Ramazani, N., Barzegar, A.R., Sayyad, G., Haghnia, G.H., and Mansuri, Y. 2012. Effect of compaction on physical and hydraulic properties of a loamy soil. *J. Water Soil.* 26: 1. 214-225.
34. Rasse, D.P., and Smucker, A.J.M. 1998. Root colonization of previous root channels in corn and alfalfa rotations. *Plant and Soil.* 204: 203-212.
35. Reynolds, W.D., Gregorich, E.G., and Curnoe, W.E. 1995. Characterizations of water transmission properties in tilled and untilled soils using tension infiltrometers. *Soil Till. Res.* 33: 117-131.
36. Simunek, J., Angulo-Jaramillo, R., Schaap, M.G., Vandervaere, J., and van Genuchten, M. 1998. Using an inverse method to estimate the hydraulic properties of crusted soils from tension disc infiltrometer data. *Geoderma.* 86: 61-81.

37. Strudley, M.W., Green, T.R., and Ascough, J.C. 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science (Review). *Soil Till. Res.* 99: 4-48.
38. Watson, K.W., and Luxmoore, R.J. 1986. Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 50: 578-582.
39. White, C.I., and Sully, M.J. 1987. Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from field infiltration. *Water Res. Res.* 23: 8. 1514-1522.
40. White, I., Sully, M.J., and Perroux, K.M. 1992. Measurement of surface soil hydraulic properties: Disk permeameter, tension infiltrometers, and other techniques. *Water Res. Res.* 43: 8. 3514-3522.
41. Wilson, G.V., and Luxmoore, R.J. 1988. Infiltration, macro porosity, and mesoporosity distributions on 2 Forested Watersheds. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 52: 329-335.
42. Wooding, R.A. 1968. Steady infiltration from a shallow circular pond. *Water Res. Res.* 4: 1259-1273.
43. Yunusa, I.A.M., and Newton, P.J. 2003. Plants for amelioration of subsoil constraints and hydrological control: the primer-plant concept. *Plant and Soil.* 257: 261-281.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(3), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Effects of soil tillage systems and plant residue management on unsaturated hydraulic conductivity of soil in wheat-corn rotation

*J. Mirzavand¹, S.A.A. Moosavi², A.M. Sameni³,
S. Afzalinia⁴ and N.A. Karimian⁵

¹Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, Shiraz University, ²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shiraz University, ³Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shiraz University, ⁴Associate Prof., Fars Agriculture and Natural Resource Research Center, ⁵Professor, Dept. of Soil Science, Shiraz University
Received: 07/04/2015; Accepted: 11/24/2015

Abstract

Background and Objectives: Soil is the most important factor in agricultural production. Tillage operations affect crop production due to its influences on soil characteristics. Tillage systems changed water infiltration to soil. Incorporation of plant residues with soil improved infiltration of water to soil. In reduced tillage system stability of soil aggregation and water infiltration rate are more than that of conventional tillage. Inaccurate soil organic matter management and intensive tillage operation during the crop seeding resulted in soil compaction of agricultural lands in Iran. Therefore, application of conservation tillage systems instead of conventional systems is essential. Conservation tillage result in improving soil structure, water use efficiency and decreasing production cast. The objective of this study was to evaluate the impacts of plant residues management and tillage systems on unsaturated hydraulic conductivity [$K(\psi)$] at semi arid region in the Fars province in the southern Iran.

Materials and Methods: In this research, treatments of the field experiment consisted of two kinds of residue management (residue retention on soil surface and complete removal of plant residues from soil surface) as main factor and tree tillage systems: Conventional tillage (CT), minimum tillage (MT) and no tillage (NT) as sub factor. In field soil with silty clay loam texture, Unsaturated soil hydraulic conductivity ($K(\psi)$) was measured at different applied tensions (0, 2, 4, 8, 10 and 15 cm) by tension disk infiltrometer with total six replications (two point at each plot). Experiment design was a completely randomized block in split plot arrangement with three replications.

Results: The results showed in both soil, after first crop (wheat) and second crop (corn) $K(\psi)$ increased significantly by decreasing applied tension. Changes in $K(\psi)$ in the soils of first and second crop, at tension of 0 m compared to 0.15 m increased 655 and 420% respectively. $K(\psi)$ changed significantly ($P<0.01$) with tillage methods. In second soil, $K(\psi)$ was influenced by residue treatments significantly ($P<0.01$). In both soils, $K(\psi)$ decreased due to decreasing intensive tillage operation. Therefore the maximum and minimum values of $K(\psi)$ were obtained with CT and NT treatments respectively. In first soil, when CT system changed to MT and NT systems, $K(\psi)$ was decreased 4.5% and 15% and for second soil, decreased by 9.3% and 29.8% respectively. By retention of wheat residues in soil, $K(\psi)$ was decreased 15.4%, in corn soil. At all applied tensions, $K(\psi)$ decreased significantly in second soil, compared with the first soil. In the first soil, 13.24 and 86.76% of water flow corresponded to soil pore diameters of <1.5 and >1.5 mm and for the second soil the aforementioned portions of flow were, 19.22 and 80.77%, respectively. Also in both soils, the percentage of water flow in macro pores (MacP) was affected with tillage treatments. So the minimum values of this factor (%flow) were 84.96 and 79.49% that occurred in CT in the first and second soils respectively. Although the maximum of this factor (%flow) were 90.47% in the first and 81.95% in the second soils that corresponded to the NT and MT treatments respectively.

Conclusions: We concluded that conservation tillage (MT and NT) increased the percentage of MacP in soil by decreasing the traffic of machinery. In both of studied soils, MacP were more effective than micro pores in water flow through soil. Retention of plant residues on soil surface and decreasing of tillage operations decreased unsaturated hydraulic conductivity of soil. Also decreasing of $K(\psi)$, at applied tensions (0-15 cm) in corn soil was higher than of wheat soil.

Keywords: Fars, Minimum Tillage, No tillage, Tension infiltrometer

* Corresponding Author; Email: jmirzavand@shirazu.ac.ir