

بررسی اثر سیستم‌های خاک ورزی بر توزیع اندازه منافذ و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم شنی

حسین بیات^۱، محمدعلی حاج عباسی^۲، محمدرضا مصدقی^۳ و علی‌اکبر محبوبی^۴

چکیده

اجرای خاک ورزی با روش‌های متفاوت و تراکتورهای مختلف به دلیل درجه متفاوت به هم خوردگی فیزیکی موجب ایجاد تغییر می‌گردد. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات ایجاد شده در برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک ناشی از کاربرد خاک ورزی کوتاه مدت با تراکتورهای متفاوت روی یک خاک لوم شنی (fine loamy, mixed, mesic Calcixerollic Xerochrepts) در همدان بود. کاربرد دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و رایج (گاواهن قلمی (CP) و گاواهن برگردان‌دار (MP)) و سه تراکتور جان‌دیر (J)، رومانی (R) و مسی‌فرگوسن (MF) با استفاده از طرح فاکتوریل کرت‌های خرد شده در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. از خاک مکان‌های تردد (TZ) و بدون تردد (RZ) در چهار لایه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در آخر فصل رشد گندم برای مقایسه تخلخل کل (TP)، منافذ درشت (Macro-P)، منافذ ریز (Micro-P) و هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) نمونه برداری شد. نتایج نشان داد که گاواهن برگردان‌دار به‌طور معنی‌داری TP و Macro-P را افزایش داد. خاک ورزی و نوع تراکتور، TP را در RZ تحت تاثیر قرار دادند. در CP ترتیب TP برای تراکتورهای متفاوت به‌صورت $R < J < MF$ در تمام لایه های خاک بود، ولی چنین ترتیبی برای MP مشاهده نگردید. در حالی که اثرات تیمارهای خاک ورزی بر Macro-P در هر دو مکان TZ و RZ معنی‌دار گردید، اما تغییرات در درون TZ چشم‌گیر نبود. Micro-P نیز به‌طور معنی‌داری در درون TZ تحت تاثیر قرار گرفت. K_s و Macro-P برای سیستم CP نسبت به MP در TZ بیشتر بودند، در حالی که Micro-P در CP کاهش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که اجرای سیستم خاک ورزی حفاظتی با تراکتور MF اثرات مفیدی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد مطالعه داشت.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی، هدایت هیدرولیکی، تخلخل

۱ و ۴. به‌ترتیب استادیار و استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲ و ۳. به‌ترتیب استاد و دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

بر کل حجم منافذ خاک، توزیع اندازه آن‌ها نیز بر چگونگی نگهداری رطوبت، تهویه و مقاومت ظاهری خاک تاثیر می‌گذارد. به عبارت دیگر اثرات متقابل این چهار عامل که تحت تاثیر خاک‌ورزی قرار می‌گیرند، محیط ریشه گیاه را کنترل کرده و شرایط فیزیکی مناسبی برای رشد آرمانی گیاه به وجود می‌آورند (ارشد و همکاران، ۱۹۹۹). برخی از پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که اگرچه TP و منافذ انتقال‌دهنده آب ($50 \mu\text{m}$) در ۲۵ سانتی‌متری خاک سطحی در لایه خاک‌ورزی شده با گاو آهن برگردان‌دار^۶ (MP) نسبت به خاکی که مستقیماً کشت گردیده^۷ بیشتر بود ولی در لایه‌های زیرین روندی عکس مشاهده شده است (رینالدو و همکاران، ۱۹۹۴). لال و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که ۲۸ سال تداوم سیستم بی خاک‌ورزی^۸ (NT) باعث کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل خاک و خاک‌دانه سازی بیشتر در مقایسه با سیستم خاک ورزی با گاو آهن قلمی^۹ (CP) و MP شد. آلاکوکو (۱۹۹۶) گزارش کرد که یک بار عبور تراکتور روی یک خاک رسی مقدار TP را تا عمق ۶۰ سانتی متری کاهش داد و تیمار چهار بار عبور تراکتور با بار محوری ۱۹ تن به صورت پشت سر هم، منافذ کل و منافذ درشت^{۱۰} (μm) ۳۰ (>) را کاهش داد.

قدرت نگهداری و انتقال آب در خاک، و سرعت نفوذ آب به خاک تحت تاثیر ویژگی‌های خاک رویین و زیرین است (ارشد و همکاران، ۱۹۹۹، رینالدو و همکاران، ۱۹۹۴). از جمله این ویژگی‌ها اندازه و پیوستگی منافذ^{۱۱} می‌باشد. منافذ با اندازه، شکل و پیوستگی متفاوت بر نفوذ آب به خاک، ذخیره و زهکشی آب، حرکت و توزیع گازها و سهولت نفوذ ریشه گیاهان در خاک تأثیر می‌گذارند. اندازه، شکل و پیوستگی منافذ خاک توسط فاکتورهای غیر زنده (مانند خاک ورزی و تردد چرخ‌ها، انجماد و ذوب شدن و خشک و مرطوب شدن) و فاکتورهای ناشی از فعالیت‌های حیاتی (مانند

کشت و کار فشرده روی خاک‌های کشاورزی می‌تواند منجر به تخریب ساختمان خاک و سایر ویژگی‌های فیزیکی آن شده و در نتیجه باعث کاهش محصول گردد. به دلیل افزایش فرسایش خاک مزارع در اثر خاک ورزی^۱، به ویژه در دهه‌های اخیر، موضوع خاک ورزی و تاثیر آن بر خاک و رواناب مورد توجه پژوهش‌گران بوده است. روان آب زمین‌های کشاورزی ذرات جامد خاک، کود شیمیایی و آفت‌کش‌ها را با خود حمل کرده و باعث کاهش کیفیت آب برکه‌ها و رودخانه‌ها می‌گردد (پاگلیائی و همکاران، ۱۹۹۵). اثرات خاک‌ورزی در خاک‌های با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی شناسی مختلف، متفاوت بوده و افزون بر آن سیستم‌های خاک‌ورزی از نظر به هم ریختن خاک، و تاثیر بر درجه تراکم خاک یکسان عمل نمی‌کنند (لال و ون دورن، ۱۹۹۰).

عملیات خاک‌ورزی حفاظتی^۲ سیستم‌های تولید محصول با مدیریت و حفظ بقایای گیاهی می‌باشند که در آن‌ها حداقل ۳۰٪ از سطح زمین توسط بقایای گیاهی پس از کشت پوشیده باقی می‌ماند. این کار باعث کاهش فرسایش خاک توسط آب و افزایش مقدار آب فراهم خاک برای گیاه می‌گردد (افیونی و مصدقی، ۱۳۸۰؛ مصدقی و همکاران، ۱۳۸۰؛ گجری و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که روش کم خاک‌ورزی^۳، برای جلوگیری از تخریب ساختمان خاک، از دست رفتن خاک توسط فرسایش و کاهش اثرات محیطی بعدی مفید می‌باشد (پاگلیائی و همکاران، ۱۹۹۵).

به طور کلی عملیات خاک‌ورزی با شکستن خاک‌دانه‌ها و تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک و تخلخل کل^۴ (TP)، سبب تغییر ویژگی‌های ساختمانی خاک می‌شود. از طرف دیگر پاسخ گیاهان به تغییر در تخلخل و اندازه خاک‌دانه‌ها متفاوت است و تنها به تغییرات چگالی ظاهری^۵ (BD) و TP بستگی ندارد، چون علاوه

6. Moldboard plow
7. Direct-drilling
8. No-tillage
9. Chisel plow
10. Macroporosity
11. Pore continuity

1. Tillage
2. Conservation tillage
3. Reduced tillage
4. Total porosity
5. Bulk density

۱۹۸۱). تغییر در ویژگی‌های هیدرولیکی خاک نه تنها بر زمان عملیات زراعی بلکه بر فراهمی آب خاک برای گیاهان نیز تأثیر دارد (ال-ادای و ریدر، ۱۹۹۶). تراکم سبب کاهش قطر و پیوستگی منافذ و در نتیجه کاهش نفوذ و پخشیدگی آب و هوا در خاک می‌شود (سوان و همکاران، ۱۹۸۰ و ۱۹۸۱). به همین جهت تراکم تأثیر اساسی بر نفوذ آب در خاک و توزیع رطوبت در نیمرخ خاک دارد (سوان و ون اورکرک، ۱۹۹۴).

معمولاً تراکم موجب کاهش حجم منافذ درشت و افزایش حجم منافذ ریز می‌گردد (آلاکوکو، ۱۹۹۶ و گوپتا و همکاران، ۱۹۸۹). میزان تغییر در نسبت منافذ در اثر تراکم بستگی به نوع خاک و میزان رس آن دارد (گوپتا و همکاران، ۱۹۸۹).

در کشاورزی مکانیزه برای آماده‌سازی زمین، از بین بردن علف‌های هرز، کوددهی شیمیایی یا آلی و برداشت محصول اغلب از ماشین‌های سنگین استفاده می‌شود. در سه دهه اخیر استفاده از ماشین‌های کشاورزی در کشورهای در حال توسعه سه تا چهار برابر افزایش یافته است که استفاده از ادوات سنگین و افزایش تردد ماشین‌ها در اراضی می‌تواند باعث افزایش تراکم خاک گردد (سوان و همکاران، ۱۹۸۰ و ۱۹۸۱).

استفاده از ماشین‌های خاک‌ورزی متنوع ساخت داخل و خارج (وارداتی) بدون پژوهش‌های اولیه و صرفاً با در نظر گرفتن جنبه‌های تجاری در کشور ما به‌ویژه در سال‌های اخیر گسترش یافته است که این موضوع می‌تواند خسارات زیادی به محیط زیست و اقتصاد کشور وارد کند. از این رو در این پژوهش اثر دو نوع خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی در ترکیب با سه نوع تراکتور رایج در ایران (رومانی، جان‌دیر و مسی‌فرگوسن) بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در همدان بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر دو سیستم خاک‌ورزی به صورت ترکیب با تراکتورهای متفاوت بر توزیع اندازه منافذ و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، آزمایشی در سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ در مرکز تحقیقات کشاورزی همدان اجرا شد. زمینی به ابعاد ۴۴×۷۸ متر انتخاب و به

رشد ریشه و سوراخ‌های ایجاد شده توسط کرم‌های خاکی تغییر می‌کند. تغییر در ویژگی‌های منافذ و مواد آلی خاک در مکان و زمان تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی می‌باشد (پاگلیائی و همکاران، ۱۹۹۵). اثرات خاک‌ورزی بر تخلخل ریز^۱ و متوسط^۲ با استمرار تیمارها تیمارها و عمق خاک متفاوت است (کی و وندن بیگارت، ۲۰۰۲). به هر حال این تغییرات، ویژگی‌های هیدرولیکی و تهویه‌ای خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مصدقی و همکاران (۱۳۸۰) گزارش کردند که روند تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع^۳ (K_s) مشابه منافذ درشت (Macro-P) است. در آزمایش دیگری، K_s در لایه صفر تا ۱۰ سانتی‌متر سطحی به‌طور معنی‌داری در خاک‌ورزی مرسوم نسبت به کم خاک‌ورزی^۴ کمتر بوده است (محبوبی و همکاران، ۱۹۹۳). آن‌ها گزارش کردند که کاربرد تیمارهای MP و CP باعث کاهش K_s حتی در مکان ردیف کشت شده است. ترتیب K_s بدون تفاوت معنی‌دار بدین ترتیب NT>CP>MP بود. البته در مکان عبور چرخ‌ها^۵ (TZ) بین تیمارهای خاک‌ورزی تفاوت اندکی مشاهده گردید و K_s در مکان عبور چرخ نسبت به مکان ردیف کشت^۶ (RZ) کاهش یافته بود.

K_s زیاد تر در NT به تعداد بیشتر سوراخ‌های ناشی از فعالیت کرم‌های خاکی و کانال‌های پایدار بیولوژیک نسبت داده شد. در آزمایش دیگری چانگ و لیندوال (۱۹۸۹) گزارش کردند که K_s و Macro-P (منافذ با قطر بزرگ‌تر از $15 \mu m$) لایه‌های خاک‌ورزی شده و بلافاصله پایین‌تر از آن در دو سیستم کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم تفاوتی نداشتند. ولی رینالدو و همکاران (۱۹۹۴) در لایه ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متری میزان K_s در خاک‌ورزی با دیسک را بیش از MP مشاهده کردند.

ویژگی‌های هیدرولیکی و تهویه‌ای نسبت به ویژگی‌های حجمی خاک در بیان اثرات تراکم بر خاک و رشد گیاه مزیت دارند (سوان و همکاران، ۱۹۸۰ و

1. Microporosity
2. Mesoporosity
3. Saturated hydraulic conductivity
4. Minimum tillage
5. Traffic zone
6. Row zone

تخلخل کل (TP) به روش اشباع کردن نمونه‌های دست نخورده و سپس خشک کردن خاک در آون در ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه گردید (فلینت و فلینت، ۲۰۰۲). هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) به روش بار آبی ثابت اندازه‌گیری شد (رینولدز و الریک، ۲۰۰۲). برای به‌دست آوردن توزیع اندازه منافذ بر اساس فرمول یانگ لاپلاس (کوتلیک و نیلسن، ۱۹۹۴) از منحنی مشخصه رطوبتی خاک استفاده گردید. برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی، نمونه‌های خاک در درون دستگاه صفحه فشار^۱ قرار داده شد و فشاری برابر با kPa ۱۰ بر آن‌ها اعمال شد. پس از حصول تعادل، منافذ با قطر مؤثر بزرگ‌تر از $30 \mu\text{m}$ از آب خالی شده‌اند. منافذ درشت‌تر از $30 \mu\text{m}$ منافذ درشت (Macro-p) و منافذ کوچک‌تر از $30 \mu\text{m}$ منافذ ریز (Micro-p) نامیده شدند (آلاکوکو، ۱۹۹۶). البته ذکر این نکته ضروری است که در مورد تقسیم بندی منافذ به منافذ ریز و درشت اصول استاندارد وجود ندارد و در منابع مختلف حدود مرزی متفاوتی را برای تفکیک آن‌ها استفاده کرده‌اند. در این پژوهش بر اساس روش آلاکوکو (۱۹۹۶) (که از حد مرزی $30 \mu\text{m}$ برای تفکیک منافذ ریز و درشت استفاده کرده است) منافذ ریز و درشت تفکیک شد.

تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات حاصل توسط نرم‌افزارهای SAS و MSTATC و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر دو نوع خاک‌ورزی در ترکیب با سه نوع تراکتور بر ویژگی‌های فیزیکی خاک اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف احتمال آماری معنی‌دار گردیده که به-ترتیب توضیح داده خواهد شد.

تخلخل کل

در لایه سطحی (صفر - $7/5$ سانتی‌متری) تفاوتی بین TP دو تیمار خاک‌ورزی وجود نداشت. احتمالاً این نتیجه به دلیل یخ‌زدگی زمستانه و هم‌چنین سله بستن سطح خاک در اثر آبیاری و بارندگی می‌باشد. این نتایج

سه بلوک و در هر بلوک ۶ کرت به ابعاد $16 \times 5/4$ متر تقسیم گردید. فاصله بلوک‌ها ۱۵ و فاصله کرت‌ها $2/3$ متر بود. طرح به صورت فاکتوریل-کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی ترکیب دو نوع خاک‌ورزی (مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار (MP) و حفاظتی با گاوآهن قلمی (CP)) با سه نوع تراکتور جان‌دیر (J)، رومانی (R) و مسی‌فرگوسن (MF) و فاکتور فرعی دو سطح مکان تردد چرخ (TZ) و بدون تردد چرخ (RZ) در نظر گرفته شد.

خاک مورد پژوهش از نظر رده بندی در فامیل Fine loamy, mixed, mesic Calcixerollic Xerochrepts قرار دارد. میانگین pH خاک $7/5$ ، CEC در تمامی عمق‌ها $11/3$ سانتی مول بار بر کیلوگرم، درصد کربن آلی در لایه‌های صفر - $7/5$ ، $7/5$ - 15 ، 15 - $22/5$ و $22/5$ - 30 سانتی‌متر به ترتیب $0/23$ ، $0/35$ ، $0/27$ است. بافت خاک لوم شنی و درصد هر یک از ذرات شن، سیلت و رس 65 ، 24 و 11 بود. درصد رطوبت حجمی خاک در هنگام اجرای عملیات خاک‌ورزی در چهار لایه صفر - $7/5$ ، $7/5$ - 15 ، 15 - $22/5$ و $22/5$ - 30 سانتی‌متر به ترتیب $25/61$ ، $24/15$ ، $20/44$ و $20/71$ بود. عملیات خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار و گاوآهن قلمی به ترتیب تا عمق $22/5$ و 12 سانتی‌متر با تراکتورهای جان‌دیر به وزن 3708 کیلوگرم و عرض لاستیک عقب 46 سانتی‌متر، رومانی به وزن 3450 کیلوگرم و عرض لاستیک عقب 35 سانتی‌متر، و مسی‌فرگوسن به وزن 2800 کیلوگرم و عرض لاستیک عقب 45 سانتی‌متر در فصل پاییز انجام شد. فشار باد لاستیک‌های جلو و عقب به ترتیب $2/2$ و $1/0$ بار تنظیم گردید. در نهایت پس از انجام عملیات (خاک‌ورزی ثانویه) در کلیه تیمارها، بذر گندم رقم الوند توسط یک دستگاه خطی کار در فصل پاییز کاشته شد. مقدار کود مورد نیاز شامل کود اوره، فسفات و پتاس با انجام آزمون خاک تعیین شد و به همراه عملیات کاشت با خاک مخلوط شد. نمونه‌های خاک دست نخورده از لایه‌های صفر - $7/5$ ، $7/5$ - 15 ، 15 - $22/5$ و $22/5$ - 30 سانتی‌متر با استفاده از سیلندرهای با قطر داخلی 51 میلی‌متر و ارتفاع 75 میلی‌متر در پایان فصل رشد (اوایل تیر ماه) برداشته شد.

بافت خاک در تاثیر سیستم‌های خاک ورزی بر TP می- باشد.

اثر متقابل تراکتور و سیستم خاک‌ورزی معنی‌دار گردید (جدول ۱) که نشان دهنده اثر متفاوت خاک‌ورزی‌های مختلف در ترکیب با تراکتورها می‌باشد. تراکتورهای رومانی (R) و جان‌دیر (J) در لایه صفر-۷/۵ سانتی‌متری تخلخل کمتری را در سطح آماری ۵٪ نسبت به مسی‌فرگوسن (MF) ایجاد کردند (جدول ۱) و در لایه چهارم (۲۲/۵-۳۰ سانتی‌متری) تراکتور J تخلخل کمتری نسبت به MF ایجاد کرد. ولی در این لایه، بین MF و R تفاوت معنی‌داری وجود نداشت که دلیل آن را به نیروی کششی و وزن تراکتورها می‌توان نسبت داد. البته کاهش اثر تراکم خاک با افزایش عمق نیز می‌تواند از دیگر دلایل باشد.

همانگ با گزارش‌های کوسرا و پرومرس برگر (۱۹۶۰) می‌باشد. ولی در سه لایه بعدی (یعنی در لایه ۷/۵-۳۰ سانتی‌متری) تخلخل خاک در تیمار خاک ورزی مرسوم بیشتر از خاک ورزی حفاظتی بود. مقدار این افزایش در لایه دوم ۱/۶۴٪ و در لایه سوم ۱/۵۱٪ بود که در لایه دوم این تفاوت در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار گردید. دلیل این افزایش را می‌توان به اثر پوک‌کنندگی گاوآهن برگردان دار (MP) در مقایسه با گاوآهن قلمی (CP) نسبت داد (جدول مربوطه نشان داده نشده است). این نتایج با گزارش‌های برخی پژوهش‌گران (سوان و پیجن، ۱۹۷۵) همانگ است. بر خلاف این نتایج، تعدادی از محققان (بادر و همکاران، ۱۹۸۱ و وورهیز و لیندسترون، ۱۹۸۴) که در مورد خاک‌های با بافت ریز بررسی نموده- اند گزارش کرده‌اند که در دراز مدت، MP، TP کمتری را نسبت به CP ایجاد کرده است، که حاکی از دخالت

جدول ۱: مقایسه میانگین‌های اثرات ساده و متقابل تیمارهای تراکتور، خاک‌ورزی و موقعیت نمونه‌برداری بر درصد تخلخل کل خاک (TP)*

تخلخل کل (درصد حجمی)				تیمارها و اثرات متقابل
لایه اول	لایه دوم	لایه سوم	لایه چهارم	
۴۳/۷۲ ^b	۴۲/۸۹ ^a	۴۱/۷۹ ^a	۴۰/۰۷ ^b	J**
۴۳/۹۰ ^b	۴۴/۰۰ ^a	۴۲/۳۹ ^a	۴۰/۹۳ ^{ab}	R
۴۴/۹۸ ^a	۴۳/۵۷ ^a	۴۲/۰۷ ^a	۴۲/۸۱ ^a	MF
۴۳/۳۴ ^b	۴۳/۲۱ ^b	۴۱/۶۲ ^c	۳۹/۰۹ ^b	J*MP
۴۴/۱ ^{ab}	۴۲/۵۸ ^b	۴۱/۹۶ ^{bc}	۴۱/۰۵ ^{ab}	J*CP
۴۴/۳۴ ^{ab}	۴۵/۷۶ ^a	۴۴/۲۳ ^a	۴۲/۷۱ ^a	R*MP
۴۳/۴۷ ^b	۴۲/۲۲ ^b	۴۰/۵۵ ^c	۳۹/۱۵ ^b	R*CP
۴۵/۵۳ ^a	۴۳/۸۹ ^{ab}	۴۱/۰۱ ^c	۴۲/۶۲ ^a	MF*MP
۴۴/۴۴ ^{ab}	۴۳/۲۵ ^b	۴۳/۱۳ ^{ab}	۴۳/۰۰ ^a	MF*CP
۴۳/۸۶ ^b	۴۲/۲۸ ^b	۴۱/۷۶ ^a	۴۰/۰۵ ^a	J*TZ
۴۳/۵۸ ^b	۴۳/۵۰ ^{ab}	۴۱/۸۲ ^a	۴۰/۰۹ ^a	J*RZ
۴۴/۲۲ ^{ab}	۴۳/۲۵ ^{ab}	۴۱/۹۷ ^a	۴۱/۸۳ ^a	R*TZ
۴۳/۵۹ ^b	۴۴/۷۵ ^a	۴۲/۸۲ ^a	۴۰/۰۳ ^a	R*RZ
۴۴/۳۷ ^{ab}	۴۴/۱۶ ^{ab}	۴۲/۳۷ ^a	۴۲/۳۹ ^a	MF*TZ
۴۵/۵۹ ^a	۴۲/۹۶ ^{ab}	۴۱/۷۷ ^a	۴۲/۲۳ ^a	MF*RZ
۴۴/۵۹ ^a	۴۴/۰۲ ^{ab}	۴۱/۶۹ ^b	۴۱/۳۶ ^a	MP*TZ
۴۴/۲۲ ^a	۴۴/۵۷ ^a	۴۲/۸۹ ^a	۴۱/۵۹ ^a	MP*RZ
۴۳/۷۲ ^a	۴۲/۴۴ ^b	۴۲/۳۸ ^{ab}	۴۱/۴۹ ^a	CP*TZ
۴۴/۲۹ ^a	۴۲/۹۳ ^{ab}	۴۱/۳۸ ^b	۴۰/۶۴ ^a	CP*RZ

*: در هر ستون و در هر گروه، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشابه می‌باشند، اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن ۵٪).
 **: J= تراکتور جان‌دیر، R= تراکتور رومانی، MF= تراکتور مسی‌فرگوسن، MP= خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان دار، CP= خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی، TZ= مکان تردد و RZ= مکان بدون تردد

تخلخل درشت و ریز

الف: تخلخل درشت

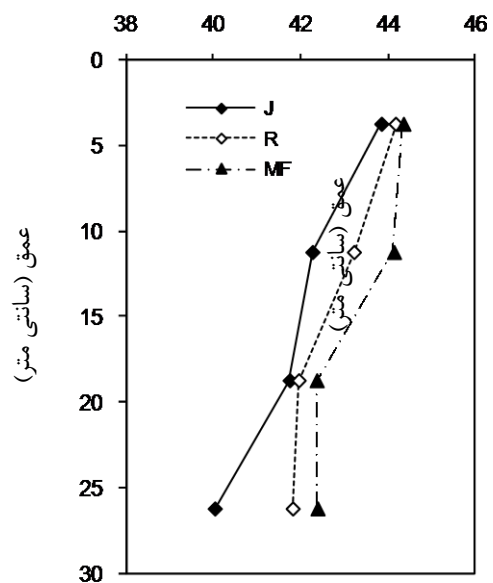
تخلخل درشت خاک در مکان بدون تردد برای خاک‌ورزی‌های متفاوت در هیچکدام از لایه‌ها معنی‌دار نشد که شاید یخ زدگی زمستانه، فعالیت جانوران خاک-زی و رشد ریشه از دلایل آن باشند. پاگلیائی و همکاران (۱۹۹۵) نیز نشان دادند که در لایه رویین (صفر-۱۰ سانتی‌متر) منافذ درشت تغییر معنی‌داری را در سیستم‌های متفاوت خاک‌ورزی نشان نمی‌دهند. اما برخی محققین (شیپیتالو و پروتز، ۱۹۸۷) در این لایه تغییر در منافذ درشت را تحت تاثیر سیستم‌های متفاوت خاک-ورزی گزارش کردند که شاید تفاوت در میزان مواد آلی و فعالیت‌های بیولوژیک در مناطق مورد بررسی موجب ایجاد چنین اختلافی شده است. درصد منافذ درشت در مکان بدون تردد برای تراکتورهای متفاوت در لایه‌های دوم، سوم و چهارم تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. اما میزان این منافذ در لایه‌های اول، دوم و چهارم به ترتیب $MF > J > R$ بود. در لایه ۷/۵-۰ سانتی‌متری تراکتور MF، تخلخل درشت بیشتری در مقایسه با R و J ایجاد کرد که تفاوت آن با R در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار بود ولی بین MF با J و J با R تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). احتمالاً دلیل آن کم بودن ماده آلی در تیمار تراکتور MF نسبت به تراکتورهای R و J و تجمع آن در سطح خاک به دلیل کم بودن نیروی کششی این تراکتور و کاهش سرعت آن در حین انجام خاک ورزی بوده است (شکل ۲).

نمودار Macro-P برای مکان تردد (TZ) و عدم تردد (RZ) نشان داد که در هیچکدام از لایه‌های خاک تفاوت معنی‌داری بین دو مکان وجود ندارد (داده‌ها نشان داده نشده است) که احتمالاً اثر فعالیت‌های بیولوژیک و ریشه گیاهان و یخ زدن و آب شدن این تفاوت را از بین برده باشد (هکنسون و همکاران، ۱۹۸۷؛ نیوز، ۱۹۷۶).

به‌طور کلی با در نظر گرفتن میانگین تخلخل کل چهار لایه، در حالتی که از CP استفاده شد ترتیب TP برای تراکتورهای مختلف در هر چهار لایه به صورت $MF > J > R$ بود. این ترتیب شاید به این دلیل باشد که CP در مقایسه با MP نیروی کششی کم‌تری نیاز دارد و از این رو کاربرد CP با استفاده از تراکتور MF، که کم‌ترین وزن را دارد، بیش‌ترین TP را ایجاد کرده است. ولی وقتی MP به‌کار برده شد، در لایه اول ترتیب TP برای تراکتورهای متفاوت به گونه $MF > R > J$ و در لایه دوم و چهارم به گونه $R > MF > J$ و در لایه سوم $R > J > MF$ بود.

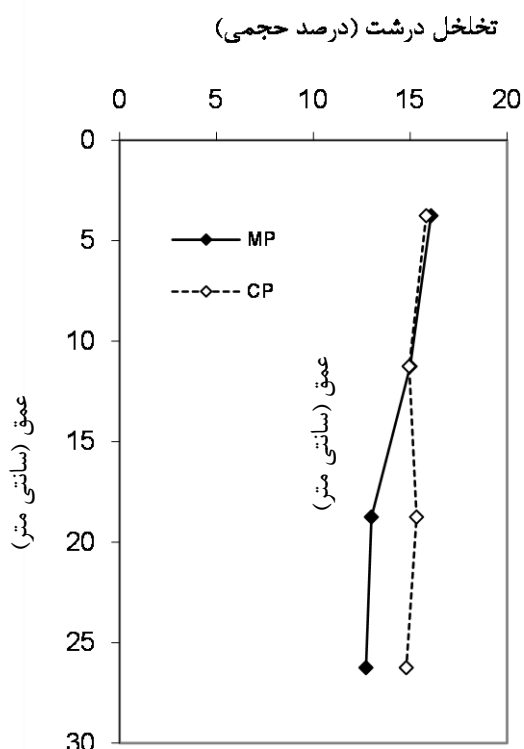
شکل ۱ تاثیر تردد تراکتورها بر تخلخل کل خاک در مکان تردد را نشان می‌دهد و بیان‌گر آن است که با افزایش وزن تراکتور، تخلخل خاک کاهش یافته است. ترتیب تخلخل در مکان تردد تراکتورها به ترتیب $MF > R > J$ بود. ولی با وجود این روند، تفاوتی بین تیمارهای تراکتور مشاهده نشده است. یعنی هرچند که با افزایش وزن تراکتور تخلخل کاهش یافته، ولی این کاهش معنی‌دار نشده است. تفاوت TP در مکان تردد تراکتورها احتمالاً به علت تفاوت وزن کم بین تراکتورها معنی‌دار نبود.

تخلخل کل (درصد حجمی)



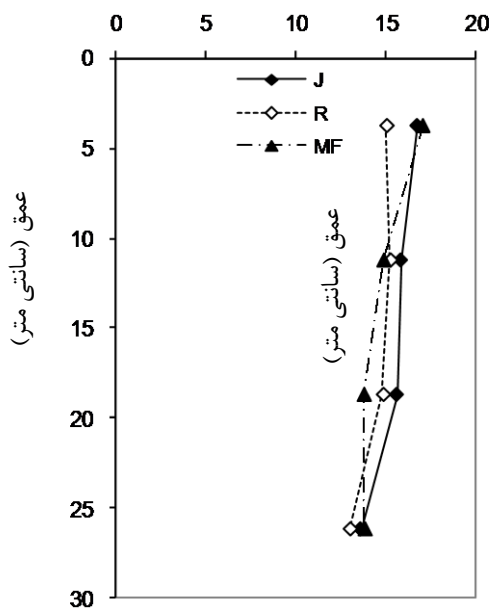
شکل ۱: اثر سه نوع تراکتور جان‌دیر (J)، رومانی (R) و مسی‌فرگوسن (MF) بر تغییرات تخلخل کل (TP) با عمق خاک در مکان تردد (TZ).

اثر تردد چرخ‌ها را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۳). اما در عمق سوم که توسط گاواهن قلمی خاک ورزی نشده ولی توسط گاواهن برگردان‌دار خاک ورزی شده است، CP منافذ درشت بیشتری نسبت به MP ایجاد کرد که در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار بود. این نتایج با یافته‌های پاگلیائی و همکاران (۱۹۹۵) همسوئی دارد. احتمالاً تراکم کمتر خاک لایه سوم در تیمار CP موجب افزایش منافذ درشت در این تیمار باشد.



شکل ۳: اثر سیستم‌های خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار (MP) و قلمی (CP) بر تغییرات تخلخل درشت (Macro-P) با عمق خاک در مکان تردد (TZ).

تخلخل درشت (درصد حجمی)



شکل ۲: اثر سه نوع تراکتور جان‌دیر (J)، رومانی (R) و مسی‌فرگوسن (MF) بر تغییرات تخلخل درشت (Macro-P) با عمق خاک در مکان بدون تردد (RZ).

تغییر در توزیع اندازه منافذ تابعی از رطوبت و تنش اعمال شده در زمان تراکم و همچنین نوع خاک و میزان رس می‌باشد (گوپتا و همکاران، ۱۹۸۹) که شاید یکسان بودن نوع خاک در این پژوهش نیز به عدم تفاوت بین دو تیمار TZ و RZ کمک کرده است. البته برای لایه چهارم دلایل دیگری نیز می‌توان ذکر کرد، از جمله این که این لایه توسط هیچ کدام از سیستم‌های خاک‌ورزی شخم نشده است و از سوی دیگر با افزایش عمق اثر تردد نیز کاهش می‌یابد.

منافذ درشت در مکان TZ در دو سیستم خاک‌ورزی تفاوت‌هایی را نشان داد. در لایه صفر-۱۵ سانتی‌متری که توسط هر دو گاواهن به هم ریخته شده است تفاوتی در منافذ درشت دیده نمی‌شود چرا که سست‌شدگی ایجاد شده توسط سیستم‌های خاک‌ورزی

جدول ۲: تجزیه واریانس مربوط به تخلخل درشت خاک برای چهار لایه^۱

میانگین مربعات تخلخل درشت				درجه	منبع تغییرات
لایه چهارم	لایه سوم	لایه دوم	لایه اول	آزادی	
۱۶/۷۷ ^{ns}	۴/۵۵ ^{ns}	۱۲/۲۸ ^{ns}	۱/۴۹ ^{ns}	۲	بلوک (R)
۰/۳۵ ^{ns}	۴/۲۳ ^{ns}	۱/۷۱ ^{ns}	۲/۴۹ ^{ns}	۲	تراکتور (Tr)
۲۷/۵۵ ^{ns}	۴/۶۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۳۴ ^{ns}	۱	خاک ورزی (T)
۲۱/۷ ^{ns}	۳/۱۵ ^{ns}	۴/۲۶ ^{ns}	۶/۱۶ ^{ns}	۲	Tr × T
۳/۴۱ ^{ns}	۳/۶۹ ^{ns}	۱/۴۵ ^{ns}	۱/۳۰ ^{ns}	۱	مکان نمونه برداری (L)
۴/۱۳ ^{ns}	۳/۰۰ ^{ns}	۱/۴۶ ^{ns}	۴/۹۴ ^{ns}	۲	Tr × L
۰/۹۴ ^{ns}	۲۳/۱۵ ^{**}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۱	T × L
۲/۰ ^{ns}	۳/۷۶ ^{ns}	۶/۴ ^{ns}	۲/۵۰ ^{ns}	۲	Tr × T × L

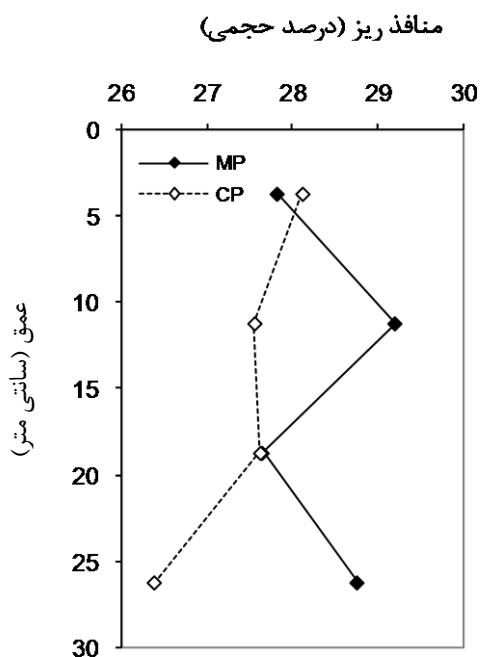
۱. ns، *، ** به ترتیب بیاتگر تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۵ و ۱ درصد و عدم اثر معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۳: مقایسه میانگین‌های اثرات ساده و متقابل تیمارهای تراکتور، خاک‌ورزی و موقعیت نمونه‌برداری بر تخلخل درشت خاک.

تخلخل درشت (درصد حجمی)				تیمارها و اثرات متقابل
لایه چهارم	لایه سوم	لایه دوم	لایه اول	
۱۳/۶۴ ^a	۱۵/۱۶ ^a	۱۵/۵۷ ^a	۱۶/۳۸ ^{ab}	J**
۱۳/۸۳ ^a	۱۴/۱۹ ^a	۱۴/۸۱ ^a	۱۵/۶۱ ^b	R
۱۳/۴۹ ^a	۱۴/۰۹ ^a	۱۵/۱۳ ^a	۱۶/۴۲ ^a	MF
۱۱/۶۵۹ ^b	۱۴/۲۲ ^a	۱۴/۸۹ ^a	۱۵/۹۸ ^a	J×MP
۱۵/۶۲ ^a	۱۶/۱۱ ^a	۱۶/۲۴ ^a	۱۶/۷۹ ^a	J×CP
۱۲/۵۷ ^{ab}	۱۴/۲۰ ^a	۱۵/۱۵ ^a	۱۵/۳۹ ^a	R×MP
۱۵/۰۹ ^{ab}	۱۴/۱۷ ^a	۱۴/۴۸ ^a	۱۵/۸۴ ^a	R×CP
۱۴/۱۱ ^{ab}	۱۳/۹۵ ^a	۱۵/۵۱ ^a	۱۷/۳۴ ^a	MF×MP
۱۲/۸۷ ^{ab}	۱۴/۲۴ ^a	۱۴/۷۶ ^a	۱۵/۵۰ ^a	MF×CP
۱۳/۶۳ ^a	۱۴/۶۷ ^{ab}	۱۵/۲۴ ^a	۱۵/۹۶ ^{ab}	J×TZ
۱۳/۶۵ ^a	۱۵/۶۶ ^a	۱۵/۸۹ ^a	۱۶/۸۱ ^{ab}	J×RZ
۱۴/۵۷ ^a	۱۳/۴۸ ^b	۱۴/۳۴ ^a	۱۶/۱۵ ^{ab}	R×TZ
۱۳/۰۹ ^a	۱۴/۸۹ ^{ab}	۱۵/۲۹ ^a	۱۵/۰۸ ^b	R×RZ
۱۳/۰۸ ^a	۱۴/۳۸ ^{ab}	۱۵/۳۳ ^a	۱۵/۷۴ ^{ab}	MF×TZ
۱۳/۹۲ ^a	۱۳/۸۵ ^{ab}	۱۹/۹۴ ^a	۱۷/۱۰ ^a	MF×RZ
۱۲/۷۲ ^a	۱۳/۰۰ ^b	۱۵/۰۰ ^a	۱۶/۰۸ ^a	MP×TZ
۱۲/۸۳ ^a	۱۵/۲۴ ^a	۱۵/۳۷ ^a	۱۶/۴۰ ^a	MP×RZ
۱۴/۷۹ ^a	۱۵/۳۲ ^a	۱۴/۹۴ ^a	۱۵/۸۲ ^a	CP×TZ
۱۴/۲۶ ^a	۱۴/۳۶ ^{ab}	۱۵/۳۸ ^a	۱۶/۲۶ ^a	CP×RZ

*در هر ستون و در هر گروه، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشابه می‌باشند، اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن /۵)

** J= تراکتور جان‌دیر، R= تراکتور رومانی، MF= تراکتور مسی‌فرگوسن، MP= خاک ورزی با گاواهن برگردان‌دار، CP= خاک ورزی با گاواهن قلمی، TZ= مکان تردد و RZ= مکان بدون تردد.



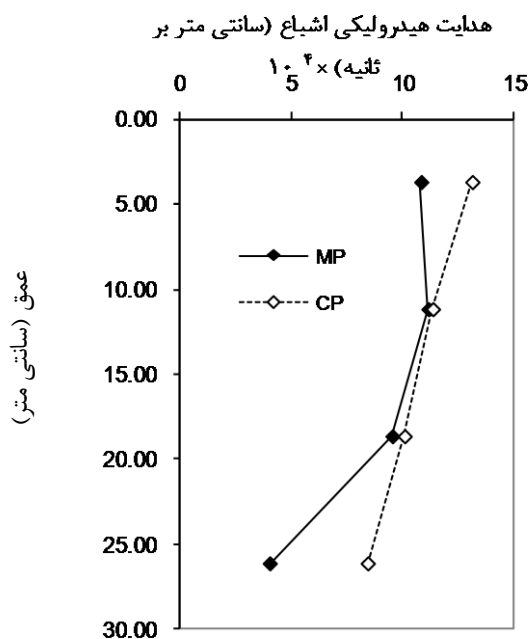
شکل ۴: اثر سیستم‌های خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار (MP) و قلمی (CP) بر تغییرات تخلخل ریز با عمق خاک در مکان بدون تردد (RZ).

منافذ ریز در TZ و RZ در هیچ‌کدام از لایه‌ها تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۴)، که شاید دلیل آن بافت بخصوص (لوم شنی) خاک باشد. از این‌رو تردد چرخ‌ها تراکم چشم‌گیری در این خاک ایجاد نکرده است. دلیل دیگر ممکن است وزن نسبتاً کم تراکتورهای استفاده شده باشد. تفاوت دو سیستم خاک‌ورزی در مکان تردد چرخ به گونه‌ای بود که در لایه‌های ۷/۵-۳۰ سانتی‌متری در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار گردید (شکل ۵). دلایل متعددی را برای این تفاوت می‌توان ذکر کرد، که یکی به هم ریختگی و سست شدگی کم‌تری است که CP در خاک ایجاد می‌کند و هم‌چنین تعدادی از پیوندهای موجود در بین خاک دانه‌ها دست نخورده باقی مانده که این پیوندها موجب کاهش اثر تردد چرخ‌های تراکتور می‌گردند. ولی در MP به هم ریختگی و سست شدگی خاک حداکثر بوده و اکثر پیوندهای موجود در بین خاک دانه‌ها در اثر خاک ورزی شکسته شده‌اند. بنابراین هنگام تردد چرخ، خاک دانه‌ها مقاومتی در برابر تراکم نداشته و خاک بیشتر متراکم می‌شود. چنان‌که در CP با افزایش عمق اثر تراکم کمتر مشاهده می‌شود

وورهایز و همکاران (۱۹۷۸) نیز وجود پیوندهای ماده آلی بین ذرات که در لایه‌های خاک ورزی نشده بدون دست خوردگی باقی مانده‌اند را گزارش کرده‌اند. به هر حال در لایه چهارم نیز منافذ درشت در CP بیشتر از MP بود. فشردگی خاک در زیر لایه خاک‌ورزی شده در تیمار گاواهن برگردان‌دار را می‌توان به‌عنوان دلیلی بر زیاد بودن منافذ درشت در CP نسبت به MP در این لایه دانست.

ب: تخلخل ریز

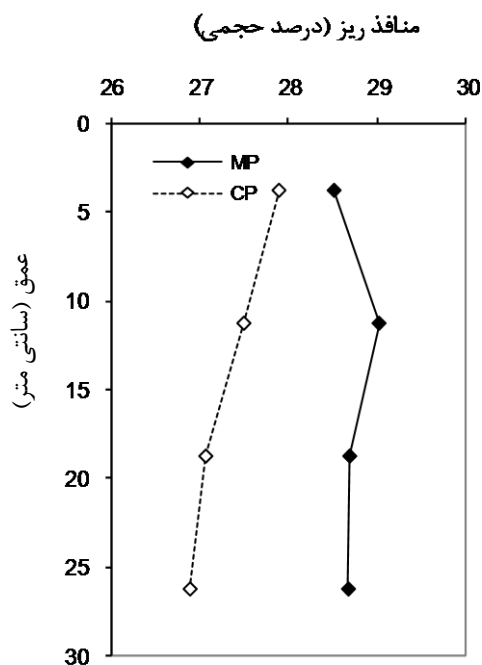
چگونگی تغییرات Micro-P در مکان بدون تردد تحت تاثیر سیستم‌های متفاوت خاک‌ورزی در شکل ۴ نشان داده شده است. در لایه ۲۲/۵-۳۰ سانتی‌متری، MP نسبت به CP منافذ ریز بیشتری را نشان داد که در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۵). در لایه ۲۲/۵-۳۰ سانتی‌متری به دلیل اثر پاشنه گاواهن برگردان‌دار، خاک فشرده شده و موجب افزایش منافذ ریز و کاهش منافذ درشت گردید که پژوهش‌گران دیگر نیز این اثر را گزارش کرده‌اند (کی و وندن بیگارت، ۲۰۰۲ و رینالدو و همکاران، ۱۹۹۴). بنابراین افزایش منافذ ریز در لایه ۲۲/۵-۳۰ سانتی‌متری را می‌توان به تراکم ناشی از اثر خاک ورزی با گاواهن برگردان‌دار نسبت داد، در صورتی- که در CP چنین اثری وجود ندارد. در لایه دوم (۷/۵-۱۵ سانتی‌متر) اثر خرد شدگی بیشتر و افزایش منافذ ریز در MP به خوبی مشاهده می‌شود (شکل ۴). این افزایش در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار گردید. برخی پژوهش‌گران کاهش Macro-P در MP را گزارش کرده‌اند که نشان دهنده تراکم خاک بوده و به افزایش منافذ ریز منجر می‌شود. هم‌چنین آن‌ها بالا بودن درصد Macro-P در خاک‌دانه‌های ناشی از کم خاک‌ورزی نسبت به خاک ورزی مرسوم را گزارش کرده‌اند (رینالدو و همکاران، ۱۹۹۴). در مورد منافذ ریز در لایه‌های اول و سوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۴)، که دلیل آن می‌تواند وابستگی تغییرات منافذ ریز به میزان تکرار استفاده از سیستم‌های خاک‌ورزی و لایه مورد بررسی باشد (کی و وندن بیگارت، ۲۰۰۲).



شکل ۶: اثر سیستم‌های خاک‌ورزی با گاواهن برگردان دار (MP) و قلمی (CP) بر تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع با عمق خاک در مکان بدون تردد (RZ).

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در مکان عدم تردد برای تراکتورهای مختلف تقریباً روند مشخصی را نشان داد (شکل ۷). به این ترتیب که با افزایش نیروی کششی تراکتور و وزن آن K_s بیشتر شد. در لایه اول ترتیب کاهش K_s برای تراکتورهای مختلف به ترتیب $J > R > MF$ بود که در تیمار J به‌طور معنی‌داری از MF بیشتر بود (در سطح آماری ۰/۵٪)، ولی بین MF با R و J با R تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در لایه دوم در سطح احتمال ۰/۵٪ MF کمتر از J و R بود، ولی بین J و R تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. لایه سوم نیز مشابه لایه دوم بود. در لایه چهارم (۲۲/۵-۳۰ سانتی‌متری) K_s در مکان عدم تردد هر سه تراکتور به یک مقدار گرایش داشتند؛ یعنی تفاوت‌ها در لایه چهارم وجود نداشت که دلیل آن را می‌توان عدم به‌هم خوردگی در هر دو سیستم خاک‌ورزی مطرح کرد. چرا که عمق کار گاواهن قلمی ۱۲ سانتی‌متر و عمق کار گاواهن برگردان دار ۲۲/۵ سانتی‌متر بود. به دلیل عدم به‌هم خوردگی اثر نیروی کششی تراکتورها در این عمق کاهش یافته است. تردد چرخ K_s را در لایه دوم یعنی ۷/۵ تا ۱۵ سانتی‌متری کاهش داد که در سطح آماری ۱۰٪ معنی‌دار گردید (جدول ۶).

چرا که در این سیستم خاک‌ورزی، لایه‌های بالایی مانع از انتقال تنش به لایه‌های پایینی می‌شوند. ولی در MP چون خاک سطحی به کلی نرم شده است در برابر کاربرد تنش مقاومت نکرده و موجب انتقال تنش به عمق‌های پایینی می‌شود.



شکل ۵: اثر سیستم‌های خاک‌ورزی با گاواهن برگردان دار (MP) و قلمی (CP) بر تغییرات منافذ ریز (Micro-P) با عمق خاک در مکان تردد (TZ).

هدایت هیدرولیکی اشباع

خاک‌ورزی با گاواهن قلمی در لایه‌های اول، سوم و چهارم نسبت به MP، موجب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) شد (جدول ۷). با توجه به این‌که K_s علاوه بر اندازه منافذ وابسته به پیوستگی منافذ می‌باشد، و با در نظر گرفتن این نکته که تفاوت Macro-P در دو سیستم خاک‌ورزی در مکان بدون تردد نیز معنی‌دار نگردید، بنابراین احتمالاً پیوستگی زیاد منافذ در CP موجب افزایش K_s گردیده است. بر گرداندن خاک و تداوم عملیات خاک‌ورزی موجب تسریع در تجزیه مواد آلی و در نتیجه تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌گردد (ارشد و همکاران، ۱۹۹۹) و نهایتاً سبب کاهش K_s در سیستم MP می‌شود (شکل ۶).

جدول ۴: تجزیه واریانس مربوط به تخلخل ریز خاک برای چهار لایه^۱

میانگین مربعات تخلخل ریز				درجه	منبع تغییرات
لایه سوم	لایه دوم	لایه اول	آزادی		
۱۳/۳۲۷ ^{ns}	۲۱/۵۳۰ ^{ns}	۲۱/۹۳۶ ^{ns}	۹/۳۱۳ ^{ns}	۲	بلوک (R)
۲۵/۴۳۳ ^{ns}	۱۲/۸۰۷ ^{ns}	۱۰/۵۰۸ ^{ns}	۴/۴۴۲ ^{ns}	۲	تراکتور (Tr)
۳۹/۰۲۱ ^{ns}	۶/۱۸۴ ^{ns}	۲۲/۷۲۱*	۰/۲۴۲ ^{ns}	۱	خاک ورزی (T)
۴۵/۳۵۴ ^{ns}	۱۶/۹۵۹*	۷/۱۲۴ ^{ns}	۳/۳۳۲ ^{ns}	۲	Tr × T
۰/۳۹۳ ^{ns}	۰/۵۲۸ ^{ns}	۰/۱۲۲ ^{ns}	۰/۵۰۶ ^{ns}	۱	مکان نمونه برداری (L)
۰/۱۱۸ ^{ns}	۱/۲۴۹ ^{ns}	۱/۸۲۳ ^{ns}	۱/۶۱۶ ^{ns}	۲	Tr × L
۰/۷۵۱ ^{ns}	۵/۷۷۶ ^{ns}	۰/۰۳۱ ^{ns}	۱/۸۳۶ ^{ns}	۱	T × L
۰/۳۵۵ ^{ns}	۳/۹۸۵ ^{ns}	۱/۱۷۲ ^{ns}	۰/۱۷۶ ^{ns}	۲	Tr × T × L

۱. *, **, و ns به ترتیب بیاتگر تأثیر معنی دار در سطوح آماری ۵ و ۱ درصد و عدم تأثیر معنی دار می باشد.

جدول ۵: مقایسه میانگین های اثرات ساده و متقابل تیمارهای تراکتور، خاک ورزی و موقعیت نمونه برداری بر تخلخل ریز*

تخلخل ریز (حجمی)				تیمارها و اثرات متقابل
لایه سوم	لایه دوم	لایه اول	لایه چهارم	
۲۶/۵۷ ^a	۲۶/۶۳ ^b	۲۷/۳۳ ^b	۲۷/۴۰ ^a	J**
۲۷/۱۳ ^a	۲۸/۶۵ ^a	۲۹/۱۹ ^a	۲۸/۲۹ ^a	R
۲۹/۳۲ ^a	۲۷/۹۸ ^{ab}	۲۸/۴۴ ^{ab}	۲۸/۶۵ ^a	MF
۲۷/۴۴ ^{ab}	۲۷/۴۰ ^{bc}	۲۸/۳۲ ^{ab}	۲۷/۳۶ ^a	J×MP
۲۵/۷۰ ^{ab}	۲۵/۸۵ ^c	۲۶/۳۴ ^b	۲۷/۴۴ ^a	J×CP
۳۰/۲۰ ^a	۳۰/۰۳ ^a	۳۰/۶۴ ^a	۲۸/۹۵ ^a	R×MP
۲۴/۰۷ ^b	۲۷/۲۷ ^{bc}	۲۷/۷۴ ^b	۲۷/۶۳ ^a	R×CP
۲۸/۵۱ ^{ab}	۲۷/۰۷ ^{bc}	۲۸/۳۸ ^{ab}	۲۸/۱۹ ^a	MF×MP
۳۰/۱۳ ^a	۲۸/۸۹ ^{ab}	۲۸/۴۹ ^{ab}	۲۸/۹۴ ^a	MF×CP
۲۶/۷۰ ^b	۲۷/۱۰ ^{ab}	۲۷/۰۴ ^c	۲۷/۹۱ ^a	J×TZ
۲۶/۴۳ ^b	۲۶/۱۵ ^b	۲۷/۶۱ ^{bc}	۲۶/۸۹ ^a	J×RZ
۲۷/۳۲ ^b	۲۸/۴۹ ^a	۲۸/۹۱ ^{ab}	۲۸/۰۷ ^a	R×TZ
۲۶/۹۵ ^b	۲۸/۸۲ ^a	۲۹/۴۷ ^a	۲۸/۵۱ ^a	R×RZ
۲۹/۳۲ ^a	۲۸/۰۴ ^a	۲۸/۸۳ ^{ab}	۲۸/۶۳ ^a	MF×TZ
۲۹/۳۳ ^a	۲۷/۹۳ ^{ab}	۲۸/۰۵ ^{abc}	۲۸/۴۹ ^a	MF×RZ
۲۸/۶۷ ^a	۲۸/۶۹ ^a	۲۹/۰۲ ^a	۲۸/۵۱ ^a	MP×TZ
۲۸/۷۵ ^a	۲۷/۶۵ ^{ab}	۲۹/۲۰ ^a	۲۷/۸۲ ^a	MP×RZ
۲۶/۸۸ ^b	۲۷/۰۶ ^b	۲۷/۴۹ ^b	۲۷/۸۹ ^a	CP×TZ
۲۶/۳۸ ^b	۲۷/۶۲ ^{ab}	۲۷/۵۵ ^b	۲۸/۱۱ ^a	CP×RZ

*در هر ستون و در هر گروه، میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشابه می باشند، اختلاف معنی داری ندارند (دانکن ۵٪)

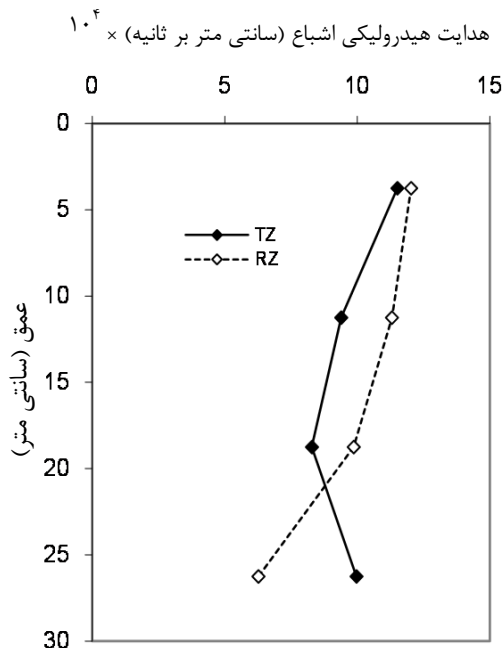
** J = تراکتور جان دیر، R = تراکتور رومانی، MF = تراکتور مسی فرگوسن، MP = خاک ورزی با گاواهن برگردان دار، CP = خاک ورزی با گاواهن قلمی، TZ = مکان تردد و RZ = مکان بدون تردد.

جدول ۶: تجزیه واریانس مربوط به هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در چهار لایه^۱

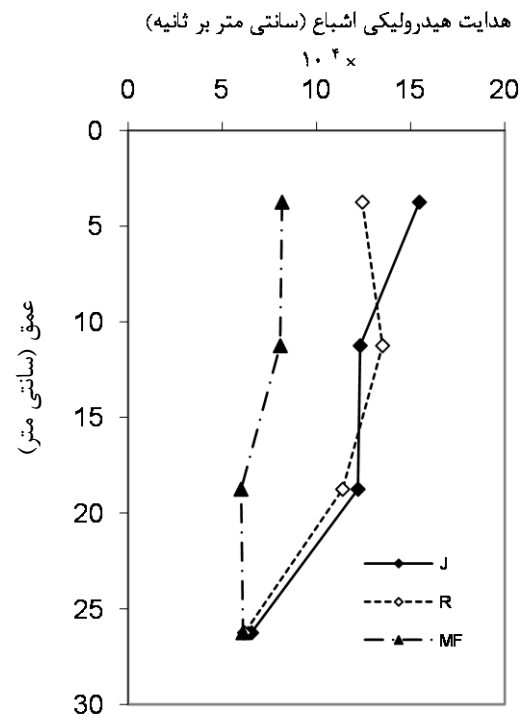
میانگین مربعات ضریب آب‌گذری اشباع خاک $\times 10^4$				درجه آزادی	منبع تغییرات
لایه چهارم	لایه سوم	لایه دوم	لایه اول		
۷۲/۸۸۰ ^{ns}	۶۶/۸۱۹ ^{ns}	۳۰۷/۲۰۰ ^{ns}	۳۹۹/۵۳۷ ^{ns}	۲	بلوک (R)
۷۵/۷۰۵ ^{ns}	۷۱/۷۹۹ ^{ns}	۴۱/۹۴۳ ^{ns}	۱۴۰/۷۰۰ ^{ns}	۲	تراکتور (Tr)
۲۷۱/۶۴۵ ⁺	۱۰۰/۰۰۰ ^{ns}	۲/۳۲۶ ^{ns}	۴۲/۷۰۶ ^{ns}	۱	خاک ورزی (T)
۷۸/۰۳۱ ^{ns}	۲۷/۲۶۷ ^{ns}	۹۳/۴۶۵ ^{ns}	۱۴۰/۵۹۵ ^{ns}	۲	Tr \times T
۱۲۲/۷۲۹ ^{ns}	۲۲/۴۰۴ ^{ns}	۳۲/۹۲۸ ⁺	۲/۳۸۷ ^{ns}	۱	مکان نمونه برداری (L)
۵۵/۸۸۵ ^{ns}	۱۵/۰۶۵ ^{ns}	۱۲/۶۶۸ ^{ns}	۱۷/۵۱۳ ^{ns}	۲	Tr \times L
۹/۶۸۲ ^{ns}	۶۸/۰۶۳ [*]	۴/۹۲۱ ^{ns}	۰/۱۶۱ ^{ns}	۱	T \times L
۵۲/۵۵۲ ^{ns}	۱۲/۴۵۲ ^{ns}	۱۷/۱۳۳ ^{ns}	۷/۷۶۳ ^{ns}	۲	Tr \times T \times L

۱. +، *، ** و ns: به ترتیب بیان‌گر تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۰.۱، ۰.۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند.

مکان RZ نسبت به مکان TZ شود. در نهایت این اثرات موجب افزایش K_s در مکان RZ نسبت به مکان TZ شده است. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷) نشان می‌دهد که CP در مکان TZ نسبت به MP، K_s بیشتری ایجاد کرده است که در لایه سوم (۱۵-۲۲/۵ سانتی‌متری) در سطح آماری ۰.۵٪ معنی‌دار گردید. بنابراین اثرات تراکم را مؤثرتر از MP کاهش داده و در بهبود ساختمانی خاک مؤثرتر بوده است.



شکل ۸: تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع با عمق خاک در مکان‌های تردد (TZ) و عدم تردد (RZ).



شکل ۷: اثر سه نوع تراکتور جان‌دیر (J)، رومانی (R) و مسی‌فرگوسن (MF) بر تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) با عمق خاک در مکان بدون تردد (RZ).

شاید کاهش قطر و پیوستگی منافذ خاک در اثر تراکم ناشی از تردد چرخ موجب کاهش K_s گردیده است (شکل ۸). دلیل دیگر می‌تواند این باشد که در مکان RZ نفوذ ریشه‌ها بیشتر بوده و فعالیت بیولوژیکی نیز در آن ناحیه زیاد شده و پس از طی فصل رشد توانسته است موجب افزایش منافذ درشت و پیوستگی منافذ در

جدول ۷: مقایسه میانگین‌های اثرات ساده و متقابل تیمارهای تراکتور، خاک‌ورزی و موقعیت نمونه‌برداری بر ضریب آب‌گذری اشباع خاک (K_s^*)

ضریب آب‌گذری اشباع خاک (سانتی متر بر ثانیه) $\times 10^{-4}$				تیمارها و اثرات متقابل
لایه سوم	لایه دوم	لایه اول	لایه چهارم	
۱۱/۲۲۰ ^a	۱۱/۲۷۳ ^a	۱۴/۰۴۵ ^a	۷/۷۸۹ ^a	J**
۹/۵۹۷ ^{ab}	۱۱/۵۷۷ ^a	۱۳/۴۳۳ ^a	۱۰/۴۲۶ ^a	R
۶/۴۱۲ ^b	۸/۱۹۷ ^b	۷/۸۳۲ ^b	۶/۱۵۶ ^a	MF
۷/۸۹۳ ^b	۸/۳۳۵ ^{bc}	۹/۰۰۵ ^{cd}	۲/۹۱۳ ^a	J*MP
۴/۵۴۷ ^a	۱۴/۲۱۲ ^a	۱۹/۰۸۵ ^a	۱۲/۶۶۵ ^a	J*CP
۹/۲۱۳ ^{ab}	۱۳/۰۴۷ ^{ab}	۱۴/۲۲۲ ^{ab}	۶/۹۸۲ ^a	R*MP
۹/۹۸۰ ^{ab}	۱۰/۱۰۷ ^{abc}	۱۲/۶۴۳ ^{bc}	۱۰/۸۷۳ ^a	R*CP
۵/۱۲۲ ^b	۱۰/۴۲۸ ^{abc}	۸/۸۱۵ ^{cd}	۶/۲۳۵ ^a	MF*MP
۷/۷۰۲ ^b	۵/۹۶۷ ^c	۶/۸۴۸ ^d	۶/۰۷۷ ^a	MF*CP
۱۰/۲۳۵ ^{abc}	۱۰/۲۲۸ ^{abc}	۱۲/۶۲۸ ^{ab}	۹/۰۳۰ ^a	J*TZ
۱۲/۲۰۵ ^a	۱۲/۳۱۸ ^{ab}	۱۵/۴۶۲ ^a	۶/۵۴۸ ^a	J*RZ
۷/۷۹۸ ^{bc}	۹/۶۴۰ ^{bc}	۱۴/۴۲۷ ^a	۱۴/۶۶۸ ^a	R*TZ
۱۱/۳۹۵ ^{ab}	۱۳/۵۱۳ ^a	۱۲/۴۳۸ ^{ab}	۶/۱۸۳ ^a	R*RZ
۶/۸۲۸ ^c	۸/۳۱۰ ^c	۷/۴۸۲ ^b	۶/۲۱۲ ^a	MF*TZ
۵/۹۹۵ ^c	۸/۰۸۵ ^c	۸/۸۸۲ ^b	۶/۱۰۰ ^a	MF*RZ
۵/۲۴۶ ^b	۱۰/۰۱۷ ^a	۱۰/۴۹۰ ^a	۶/۷۰۴ ^a	MP*TZ
۹/۵۷۳ ^{ab}	۱۱/۱۹۰ ^a	۱۰/۸۷۱ ^a	۴/۰۴۹ ^a	MP*RZ
۱۱/۳۲۹ ^a	۸/۷۶۹ ^a	۱۲/۵۳۴ ^a	۱۳/۲۳۶ ^a	CP*TZ
۱۰/۱۵۷ ^a	۱۱/۴۲۱ ^a	۱۳/۱۸۳ ^a	۸/۵۰۶ ^a	CP*RZ

* در هر ستون و در هر گروه، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشابه می‌باشند، اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن /۵).
** J=تراکتور جان‌دیر، R=تراکتور رومانی، MF=تراکتور مسی فرگوسن، MP=خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار، CP=خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی، TZ=مکان تردد و RZ=مکان بدون تردد.

نتیجه‌گیری

باقی می‌ماند احتمالاً پیوستگی منافذ بیشتر بوده است. به عبارت دیگر خاک‌ورزی رایج هر چند که تخلخل کل و Micro-P را افزایش داده است، ولی در انتقال آب و K_s نقش Macro-P و پیوستگی منافذ بیشتر است و در دو عمق پایینی مقدار Macro-P در CP بیش از MP است. بنابراین بالا بودن میزان K_s در تیمار CP غیر منتظره نیست.

پ- با افزایش وزن تراکتورها، TP کاهش یافت.
ت- در مکان تردد چرخ، CP نسبت به Macro-MP و P و K_s بیش‌تری را ایجاد کرد، ولی ترتیب اثرات این دو سیستم بر Micro-P بر عکس بود.

الف- خاک‌ورزی مرسوم در مقایسه با خاک‌ورزی حفاظتی موجب افزایش معنی‌دار تخلخل کل و تخلخل ریز گردید که افزایش حجم منافذ ریز به دلیل اثر خرد کنندگی بیشتر گاوآهن برگردان‌دار بر خاکدانه‌ها می‌باشد. اما این دو سیستم خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری بر منافذ درشت ایجاد نکردند.

ب- خاک‌ورزی حفاظتی موجب افزایش K_s نسبت به خاک‌ورزی مرسوم گردید. با این‌که تخلخل کل و تخلخل ریز در MP بیش از CP بود، میزان K_s در CP بیش از MP مشاهده شد. در تیمار CP به دلیل به هم ریختگی کم-تر خاک منافذ درشت بیشتری را در خاک

منابع

- مصدقی، م. ر.، افیونی، م. و همت، ع. ۱۳۸۰. اثر دو شیوه خاک‌ورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در کارولینای شمالی، آمریکا و مقایسه آن با شرایط ایران. هفتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهرکرد، ص ۱۳۰-۱۳۲.
- Al-Adawi, S. S. and Reeder, R. C. 1996. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. *Trans. ASAE*. 39 (5): 1641-1649.
- Alakukku, L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil Till. Res.* 37: 211-222.
- Arshad, M. A., Franzluebbers, A. J. and Azooz, R. H. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northern Canada. *Soil Till. Res.* 53: 41-47.
- Bauder, J. W., Randall, G. W. and Swan, J. B. 1981. Effect of four continuous tillage systems on mechanical impedance of a clay loam soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 802-806.
- Chang, C. and Lindwall, C. W. 1989. Effect of long-term minimum tillage practices on some physical properties of a Chernosem clay loam. *Can. J. Soil Sci.* 69: 443-449.
- Flint, L. E. and Flint, A. L. 2002. Porosity. In: Warren, A.D. (ed) *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Science Society of America Inc, pp. 241 - 254.
- Gajri, P. R., Arora, V. K. and Prihar, S. S. 2002. *Tillage for Sustainable Cropping*. The Haworth Press Inc., USA. 196 pp.
- Gupta S. C., Sharma, P. P. and Defranchi, S. A. .1989. Compaction effects on soil structure. *Adv. Agron.* 42: 311-338.
- Håkansson, I., Voorhees, W. B., Elonen, P., Raghavan, G.S.V., Lowery, B. van Wijk, A. L. M., Rasmussen, K. and Riley, H. 1987. Effect of high axle load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. *Soil Till. Res.* 10: 259-268.
- Kay, B. D. and Vanden Bygaart, A. J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil Till. Res.* 66: 107-118.
- Kucera, H. L. and Promersberger, W. J. 1960. Soil compaction: A North Dakota Problem? *North Dakota Bimonthly Res. Bull.*, Vol. 21, No. 7, Sept-Oct.
- Kutilek, M. and Nielsen, D. R. 1994. *Soil hydrology*. Catena verlag. Cremlingen, Germany.
- Lal, R. Mahboubi, A. A. and Faussey, N. R. 1994. Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 517-522.
- Lal, R. and D. M. Vandoren Jr. 1990. Influence of 25 years of continuous corn production by three tillage methods on water infiltration for two soils in Ohio. *Soil Till. Res.* 16: 71-84.
- Mahboubi, A. A, Lal, R. and Faussey, N. R. 1993. Twenty- eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil.Sci.Soc.Am.J.* 57: 506-512.
- Njøs, A. 1976. Long term effects of tractor traffic in two field experiments in Norway. *Rep.* 45 (27), Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences. pp. 1-7.
- Pagliai, M., M. Raglione, T. Panini, M. Maletta, and M. Lamarca. 1995. The structure of two alluvial soils in Italy after 10 years of conventional and minimum tillage. *Soil Till. Res.* 34: 209-223.
- Reynolds, W. D. and Elrick, D. E. 2002. Constant head soil core (tank) method. In: Warren, A. D. (Ed) *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Science Society of America Inc. pp. 804-808.
- Reynaldo, A., Stenbery, C, M., Nelson, P., Rydbery, T. and Håkansson, I. 1994. Soil and crop responses to different tillage systems. *Soil Till. Res.* 29: 335-355.
- Shipitalo, M. J. and Protz, R. 1987. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.* 67: 445-456.
- Soane, B. D. and C. van Ouwerkerk. 1994. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier, Amsterdam, ISBN 0-444-88286-3, pp. 662.
- Soane, B. D. and J. D. Pidgeon. 1975. Tillage requirements in relation to soil physical properties. *Soil Sci.* 119: 376-384.
- Soane, B. D., Blackwell, P. S., Dickson, J. W. and Painter, D. J. 1980/1981. Compaction by agricultural vehicles: A review I. Soil and wheel characteristics. *Soil Till. Res.* 1: 207-237.

- Voorhees, W. B., Senst, C. G. and Nielson, W. W. 1978. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the northern Corn Belt . Soil Sci.Soc. Am. J. 1 42: 344-349.
- Voorhees, W. B. and Lindstron, M. J. 1984. Long-term effect of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction . Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 152-156.

Soil Pore Size Distribution and Saturated Hydraulic Conductivity of a Sandy Loam Soil as Affected by Various Tillage Practices

Bayat¹, H., Hadji Abasi², M. A., Mosaddeghi³, M. R. and Mahboubi⁴, A. A.

Abstract

Performing different tillage methods with different tractors can produce an immediate effect because of the varying degrees of physical manipulation. Our objective was to investigate some soil physical properties response to short-term tillage application using different tractors on a fine loamy, mixed, mesic Calcixerollic Xerochrepts soil in Hamadan. Two tillage systems [chisel plow (CP), and moldboard plow (MP)] and three tractors [John Deer (J), Romania (R) and Massey Ferguson (MF)] were evaluated using a factorial split-plot design with three replications. Within row zone (RZ) and traffic zone (TZ) soil samples were collected from four layers to a depth of 30 cm by the end of wheat growth season, and compared for total porosity (TP), macroporosity (Macro-P), microporosity (Micro-P) and saturated hydraulic conductivity (K_s). The results showed that MP significantly increased TP and Macro-P. Tillage plus tractor influenced the TP in the RZ. The TP ranking was MF>J>R with CP at all the successive layers but this order was not observed with MP. While the impacts of tillage treatments on Macro-P within both TZ and RZ were significant, the change within TZ was not considerable. The Micro-P was also significantly affected within TZ. The K_s and Macro-P were higher within TZ with CP than MP, while Micro-P was decreased with CP. It was concluded that the performance of conservational tillage system using MF had beneficial effect on the selected soil physical properties.

Keyword: Tillage, Hydraulic conductivity, Porosity

1 and 4. Assistant Professor and Professor respectively. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University. Hamadan.

2 and 3. Professor and Associate Professor respectively, Department of Soil Science, Isfahan University of Technology, Isfahan.