

تأثیر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد پنبه در تناوب پنبه-گندم

صادق افضل‌نیا^{۱*}، علی‌داد کرمی^۲ و دادگر محمدی^۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۱/۳۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۳۰

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

۲- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

۳- بخش تحقیقات اقتصادی-اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

*مستول مکاتبه: sja925@mail.usask.ca

چکیده

اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و عملکرد محصول ممکن است تحت تأثیر شرایط اقلیمی، نوع خاک، نوع محصول و تناوب زراعی تغییر نماید. بنابراین، بررسی اثرات این نوع روش‌های خاک‌ورزی در شرایط آب و هوایی مختلف، خاک‌های با بافت‌های متفاوت و تناوب‌های زراعی گوناگون ضروری است. در این تحقیق اثر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک، عملکرد پنبه و بازده اقتصادی آن در تناوب گندم-پنبه در اقلیم گرم استان فارس بررسی شد. تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و چهار تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب به مدت چهار سال اجرا شد. تیمارهای تحقیق شامل کم‌خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) و خاک‌ورزی مرسوم (شاهد) بودند. نتایج نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر حفظ رطوبت در خاک داشتند به طوری که تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، مقدار رطوبت خاک را به ترتیب ۱۵/۲۲ و ۵/۴۷ درصد افزایش دادند. روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر نفوذ تجمعی آب در خاک، پایداری خاک‌دانه‌ها و عملکرد پنبه نداشت. مقایسه اقتصادی تیمارهای خاک‌ورزی نیز نشان داد که خاک‌ورزی مرسوم دارای بیشترین بازده اقتصادی بود و روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی در رتبه‌های بعدی قرار داشتند، هر چند تولید تحت همه روش‌های خاک‌ورزی اقتصادی (دارای سود) بود. بنابراین، چنان‌چه در جایگزینی خاک‌ورزی مرسوم با خاک‌ورزی حفاظتی در مناطق گرم استان فارس مدیریت مناسب اعمال شود، می‌توان از مزایای این روش در کشت پنبه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: روش‌های خاک‌ورزی، عملکرد پنبه، خصوصیات خاک، بازده اقتصادی

۱- مقدمه

تأثیر این روش‌ها بر خصوصیات خاک و عملکرد محصول، بررسی نتایج تحقیقات گذشته و انجام تحقیقات جدید منطقه‌ای در این زمینه ضروری است.

واکنش عملکرد پنبه به روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله شرایط اقلیمی، شیوه مدیریت، نوع و شرایط خاک، نوع محصول و تناوب زراعی متفاوت باشد. مقایسه اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد پنبه در ایالت تنسی آمریکا نشان داد که عملکرد پنبه در روش بی‌خاک‌ورزی بیشتر از عملکرد آن در خاک‌ورزی مرسوم است (شواب و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج تحقیق دیگری در ایالت تنسی آمریکا نشان داد که کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم عملکرد پنبه را افزایش می‌دهد (ریپر و همکاران، ۲۰۰۰). مقایسه عملکرد پنبه در

پنبه یکی از محصولات عمده کشاورزی استان فارس است که بیشتر در شهرستان‌های شرقی و جنوب شرقی این استان از جمله شهرستان داراب کشت می‌شود. بر اساس آمارهای موجود، استان فارس با ۱۵۸۳۱ هکتار زیر کشت و تولید ۵۰۹۷۶ تن مقام دوم تولید پنبه در کشور را دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). تهیه زمین برای کاشت پنبه در این استان عمدتاً به روش مرسوم انجام می‌شود و استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی هنوز جایگاه خود را پیدا نکرده است. استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در تولید پنبه باید مبتنی بر نتایج تحقیقات علمی منطقه‌ای باشد تا با شرایط منطقه سازگاری مناسب‌تری داشته باشد. بنابراین برای ارزیابی نحوه

که یکی از مزایای استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در کشت گندم پس از برداشت برنج، صرفه‌جویی در مصرف آب است که نتیجه حفظ رطوبت بیشتر در خاک می‌باشد (ارنستین و لاکسمی، ۲۰۰۸).

روش‌های خاک‌ورزی و به‌ویژه خاک‌ورزی حفاظتی می‌توانند خصوصیات خاک را نیز تحت تأثیر قرار دهند. نتایج مقایسه اثر روش‌های خاک‌ورزی بر خصوصیات خاک در شرایط دیم نشان داد که مقاومت به نفوذ خاک در خاک‌ورزی مرسوم نسبت به بی‌خاک‌ورزی کمتر است (گوان و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج تحقیقی در استان فارس نشان داد که نفوذ تجمعی آب در خاک تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی کاهش می‌یابد (افضلی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۷). هم‌چنین مک‌گری و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند که استفاده از روش خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش هدایت هیدرولیکی خاک و نفوذ آب در خاک می‌شود. نتایج تحقیقات پیرمادیان و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که بین بُعد فرکتالی خاکدانه‌ها در روش‌های مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و روش بی‌خاک‌ورزی دارای کوچک‌ترین بُعد فرکتالی است.

بررسی نتایج تحقیقات انجام شده در زمینه اثر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد پنبه و خصوصیات خاک نشان می‌دهد که این نتایج معمولاً تحت تأثیر نوع محصول، تناوب زراعی و شرایط آب و هوایی قرار دارند. بنابراین، تحقیقات جدید در مورد اثرات روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در شرایط اقلیمی و محصولات مختلف مورد نیاز است. به‌همین دلیل، این تحقیق برای مقایسه روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی مرسوم از نظر خصوصیات خاک، عملکرد پنبه و اثرات اقتصادی آن در تناوب گندم-پنبه در منطقه گرم استان فارس (شهرستان داراب) انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب در استان فارس با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ به مدت چهار سال انجام شد. به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع تحقیق از مزرعه محل آزمایش نمونه مرکب تهیه و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

خاک‌ورزی نواری و خاک‌ورزی مرسوم در ایالت فلوریدا نشان داد که عملکرد پنبه در خاک‌ورزی نواری بیشتر از عملکرد آن در خاک‌ورزی مرسوم است (ویاتراک و همکاران، ۲۰۰۶). ارزیابی اثر روش‌های خاک‌ورزی بر عملکرد پنبه در پاکستان نشان داد که کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم عملکرد پنبه را افزایش می‌دهد (خان و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج تحقیق دیگری در پاکستان نیز نشان داد که عملکرد پنبه در روش کم‌خاک‌ورزی و مصرف ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن بیشتر از عملکرد آن در بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم با مصرف مقدار کود مشابه است (عثمان و همکاران، ۲۰۱۴). از طرف دیگر، مقایسه عملکرد پنبه در روش‌های بی‌خاک‌ورزی و مرسوم در ایالت کالیفرنیا آمریکا نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین این دو روش از نظر عملکرد پنبه وجود ندارد (میچل و همکاران، ۲۰۱۶). تحقیقات عباس و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که راندمان اقتصادی پنبه تحت کشت مستقیم ۵۴ درصد بیشتر از راندمان اقتصادی آن در خاک‌ورزی مرسوم بود.

روش‌های خاک‌ورزی به دلیل تفاوت در شدت به هم‌خوردگی خاک و در نتیجه میزان بقایای گیاهی باقی مانده در سطح خاک، حفظ رطوبت در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نتایج مقایسه کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در رومانی نشان داد که روش کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم رطوبت بیشتری را در خاک حفظ می‌کند (روسو، ۲۰۰۵). نتایج تحقیقات العیسی و سمره (۲۰۰۷) در شمال اردن نیز نشان داد که مقدار حفظ رطوبت در خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم است. نتایج تحقیقی در استان فارس حاکی از آن است که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، ذخیره رطوبت در خاک را تا ۲۵٪ افزایش می‌دهد (افضلی‌نیا و کرمی، ۱۳۹۷). نتایج تحقیقی در استان خراسان رضوی نشان داد که در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک، روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم رطوبت بیشتری را در خاک حفظ می‌کنند (بحریپور و همکاران، ۱۳۹۵). هم‌چنین نتایج مقایسه مقدار تبخیر از سطح خاک در روش‌های بی‌خاک‌ورزی و مرسوم در ایتالیا نشان داد که تبخیر از سطح خاک در روش بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم کمتر می‌باشد (دیویتا و همکاران، ۲۰۰۷). از طرف دیگر، نتایج تحقیقات در هند نشان داد

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام تحقیق

عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته pH	کربن آلی (%)	سیلت (%)	رس (%)	شن (%)	بافت خاک
۰-۱۰	۱/۸	۷/۹	۰/۵۷	۳۳	۱۹	۴۸	لومی
۱۰-۲۰	۰/۷۶	۷/۹	۰/۵۳	۳۴	۲۰	۴۶	لومی

زمین برده شد (برای جلوگیری از ایجاد مزاحمت برای کارنده)، ضمن این که تمام بقایای پنبه با استفاده از ساقه خردکن پشت تراکتوری خرد شده و در کرت‌ها حفظ شد. بنابراین بعد از اعمال تیمارها و کاشت، در تیمارهای کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی به ترتیب ۷۹ و ۳۸ درصد بقایای گیاهی در سطح خاک حفظ شده بود. ابعاد کرت‌های آزمایش ۶×۳۰ متر بود و گندم رقم چمران به مقدار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار در نیمه دوم آبان و پنبه رقم بختگان به مقدار ۲۵ کیلوگرم در هکتار در نیمه اول تیر ماه در کرت‌ها کشت شد. میزان کود مصرفی بر اساس نیاز کودی مزرعه در سال‌های مختلف، تعیین گردید که تمامی کود فسفات (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و پتاس (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و یک چهارم کود اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در زمان کاشت و توسط کارنده به کرت‌ها داده شد و بقیه کود اوره (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) در دو مرحله به صورت سرک و با دست در مزرعه پخش شد. سایر عملیات زراعی شامل آبیاری، مبارزه با علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها در تمام تیمارها به‌طور یکسان اعمال گردید. برای مقایسه روش‌های مختلف خاک‌ورزی، شاخص‌هایی مانند درصد رطوبت خاک، پایداری خاکدانه‌ها، نفوذ تجمعی آب در خاک و عملکرد پنبه اندازه‌گیری شدند و تیمارها از نظر اقتصادی نیز با هم مقایسه شدند.

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و چهار تکرار در یک قطعه زمین با کرت‌های ثابت در تناوب گندم-پنبه انجام شد. تیمارهای تحقیق عبارت بودند از (۱) کم‌خاک‌ورزی، (۲) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) و (۳) خاک‌ورزی مرسوم (شاهد). در تیمار بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) قبل از کشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشد و با یک بار حرکت کارنده کشت مستقیم بذر پنبه و گندم در مزرعه کاشته شد (عمق کاشت برای هر دو محصول پنج سانتی‌متر بود). در روش کم‌خاک‌ورزی از یک دستگاه خاک‌ورز مرکب استفاده شد و عملیات خاک‌ورزی در یک مرحله انجام گرفت (عمق ۱۰ سانتی‌متر) و سپس برای کاشت گندم و پنبه از خطی‌کار و ردیف‌کار استفاده گردید (عمق کاشت برای هر دو محصول پنج سانتی‌متر بود). در روش مرسوم، خاک‌ورزی توسط گاواهن برگردان‌دار (عمق ۲۰ سانتی‌متر)، دیسک و لولر انجام شد و بذر گندم و پنبه با استفاده از خطی‌کار و ردیف‌کار کاشته شد (عمق کاشت برای هر دو محصول پنج سانتی‌متر بود). مشخصات ماشین‌ها و ادوات استفاده شده در جدول ۲ ارائه شده است. مزرعه آزمایشی در شروع تحقیق به صورت آیش بود، بنابراین در شروع آزمایش بقایای اندکی (بیشتر بقایای علف‌های هرز) در مزرعه وجود داشت. در سال‌های بعد در تمام تیمارهای آزمایش، بقایای ایستاده گندم در زمین حفظ شد و بقایای خارج شده از انتهای کمباین به بیرون از

جدول ۲- مشخصات ماشین‌ها و ادوات استفاده شده

نوع ادوات	مشخصات
گاواهن	برگردان‌دار، چهار خیش، یک‌طرفه با عرض کار ۱۴۰ سانتی‌متر
دیسک	کششی، دارای دو گروه بشقاب و ۶ بشقاب در هر گروه
خاک‌ورز مرکب	خاک‌ورز مرکب پوتینگر، سوار شونده و عرض کار ۳ متر
ردیف‌کار کشت مستقیم	ردیف‌کار سیماتو، شیاربازکن دیسکی، موزع صفحه ای، ۴ ردیفه و با عرض کار ۳ متر
خطی‌کار کشت مستقیم	بذرکار-کودکار اسفوجیا، موزع استوانه شیاردار، ۱۷ ردیفه، عرض کار ۳ متر و شیاربازکن دیسکی

۲-۱- روش اندازه‌گیری شاخص‌ها

خاکدانه‌ها استفاده شد که کاهش بعد فرکتالی و افزایش قطر متوسط وزنی و هندسی نشان دهنده افزایش پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک است. برای تعیین این معیارها، در هر کرت از دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک نمونه مرکب برداشته شد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و سنگریزه‌های درشت، ریشه‌ها و بقایای گیاهی از نمونه‌ها جدا گردیدند. با استفاده از سری الک خشک با قطرهای ۰/۴۲، ۰/۸۴، ۲، ۴/۷۵، ۶/۴، ۱۲/۷ و ۳۸ میلی‌متر، توزیع اندازه خاکدانه‌های هواخشک تعیین گردید. برای محاسبه MWD از روابط ۱ و ۲ استفاده شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i W_i \quad (1)$$

$$GMD = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \log \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad (2)$$

رطوبت خاک در هر سال با استفاده از دستگاه TDR در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک، و قبل از گلدهی گیاه و پیش از آبیاری اندازه‌گیری شد. در هر کرت رطوبت سه نقطه اندازه‌گیری گردید و میانگین آنها به عنوان رطوبت آن کرت در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری نفوذ تجمعی آب در خاک از روش استوانه دوگانه در زمان برداشت محصول دوم (پایان تناوب) استفاده گردید. روش‌های مختلفی برای محاسبه بُعد فرکتالی پدیده‌های طبیعی از جمله خاکدانه‌ها وجود دارد که اکثر آنها تجربی است. در مورد سری‌های مکانی یا زمانی، بُعد فرکتالی را می‌توان از طریق محاسبه تابع نیم‌تغییرنما (واریوگرام) به صورت کمی بیان کرد (وبستر و آلیور، ۲۰۰۱). برای بررسی پایداری خاکدانه‌ها، از سه معیار قطر متوسط وزنی (MWD)، قطر متوسط هندسی (GMD) و بُعد فرکتالی

هزینه سوخت متفاوت و سایر هزینه‌ها در تمامی تیمارها یکسان بود، لذا هزینه‌های عملیات خاک‌ورزی و هزینه سوخت برای تیمارهای مختلف در سال‌های مطالعه، محاسبه شد. قیمت گندم براساس قیمت تضمینی و پنبه براساس قیمت توافقی در منطقه مورد مطالعه در سال انجام تحقیق در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- رطوبت خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های رطوبت خاک نشان داد که از نظر آماری تیمار خاک‌ورزی و سال در سطح یک درصد و اثر متقابل این دو در سطح پنج درصد بر حفظ رطوبت در خاک اثر معنی‌دار داشت (جدول ۳). دو تفاوت عمده خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی، مقدار بقایای حفظ شده در سطح خاک و به‌هم‌خوردگی خاک است که باعث تفاوت اثر آن‌ها بر حفظ رطوبت خاک می‌شود. از طرف دیگر، چون فاصله زمانی آبیاری مزرعه تا اندازه‌گیری رطوبت خاک در تمام سال‌ها یکسان نبوده است، بنابراین میانگین رطوبت خاک در سال‌های مختلف با هم متفاوت بوده‌اند.

نتایج مقایسه میانگین رطوبت خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر حفظ رطوبت خاک وجود داشت به‌طوری که بیشترین مقدار رطوبت خاک مربوط به تیمار بی‌خاک‌ورزی و کم‌ترین رطوبت مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم بود (جدول ۴). تیمار کم‌خاک‌ورزی از نظر حفظ رطوبت بین دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی قرار داشت. تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، مقدار حفظ رطوبت در خاک را به‌ترتیب ۱۵/۲۲ و ۵/۴۷ درصد افزایش دادند که دلیل آن حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و عدم یا کاهش شخم خاک در این تیمارها بود. افزایش رطوبت خاک در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم در نتایج تحقیقات اکثر محققین این زمینه گزارش شده است که به‌عنوان نمونه می‌توان به نتایج تحقیقات العیسی و ثمره (۲۰۰۷)، دیویتا و همکاران (۲۰۰۷)، ارنستین و لاکسمی (۲۰۰۸)، اسکندری و فیضی‌اصل (۱۳۹۶)، افضلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۷ الف) و افضلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۷ ب) اشاره نمود.

البته باید توجه داشت که میزان تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر حفظ رطوبت خاک تابع فصل کشت (تابستانه یا زمستانه) و زمان اندازه‌گیری رطوبت در طول فصل رشد گیاه (ابتدا یا انتهای فصل رشد) می‌باشد. سال انجام تحقیق هم اثر معنی‌داری بر مقدار حفظ رطوبت در خاک داشت به‌طوری که مقدار رطوبت خاک در سال‌های اول و دوم با اختلاف معنی‌داری بیشتر از رطوبت خاک در سال‌های سوم و چهارم بود. مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده در خاک تحت تأثیر مستقیم فاصله زمانی بین اندازه‌گیری رطوبت و زمان آبیاری قبلی و همچنین سرعت تبخیر رطوبت خاک تحت تأثیر شرایط جوی (دما،

که در آنها، MWD و GMD به‌ترتیب قطر متوسط وزنی و هندسی w_i (mm)، جرم خاک‌دانه‌ها در یک کلاس اندازه‌ای با میانگین قطری \bar{x}_i ، شماره غربال و n تعداد غربال است. با استفاده از توزیع اندازه خاک‌دانه‌ها و به‌کارگیری رابطه ۳ (تیلور و ویت‌کرفت، ۱۹۹۲) بُعد فرکتالی محاسبه و خاک‌دانه‌ها در هفت کلاس ۰ تا ۰/۴۲، ۰/۴۲ تا ۰/۸۴، ۰/۸۴ تا ۰/۱۲۷، ۰/۱۲۷ تا ۰/۲۵۴، ۰/۲۵۴ تا ۰/۵۰۸، ۰/۵۰۸ تا ۱/۰۱۶ و ۱/۰۱۶ تا ۳/۱۶ میلی‌متر تفکیک شدند.

$$\frac{M(x < X)}{M_t} = \left(\frac{x}{XL}\right)^{3-D_m} \quad (3)$$

در رابطه ۳، D_m بُعد فرکتال جرمی، $M(x < X)$ جرم تجمعی خاک‌دانه‌ها روی غربال‌ها با اندازه‌های کوچک‌تر از X ، M_t جرم کل خاک‌دانه‌ها (باقی‌مانده روی تمام غربال‌ها)، XL بالاترین اندازه منفذ غربال و x میانگین قطر خاک‌دانه‌ها در هر کلاس است. برای تعیین عملکرد پنبه، در پایان فصل پس از حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت و ۲ خط حاشیه، محصول ۱۰ متر مربع بقیه مساحت کرت برداشت و عملکرد پنبه در واحد سطح محاسبه گردید. پس از جمع‌آوری داده‌ها از کرت‌های مورد نظر، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شد و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. برای مقایسه اقتصادی تیمارهای مختلف از روش ارزش کنونی خالص تغییرات بازده برنامه‌ای تیمارها نسبت به تیمار شاهد استفاده گردید. در این روش ابتدا بازده برنامه‌ای^۱ هر تیمار در سال‌های مختلف محاسبه و تغییرات آن نسبت به تیمار شاهد بر اساس رابطه‌های ۴ و ۵ به‌دست آمد (سلطانی، ۱۳۸۰):

$$GM_i = TR_i - TVC_i \quad (4)$$

$$\Delta GM_i = GM_i - GM_0 \quad (5)$$

که در آنها، GM_i بازده برنامه‌ای تیمار i ام، TR_i درآمد ناخالص تیمار i ام، TVC_i هزینه‌های متغیر تیمار i ام، ΔGM_i تغییرات بازده برنامه‌ای و GM_0 بازده برنامه‌ای تیمار شاهد است. در مرحله بعد مجموع ارزش کنونی خالص تغییرات بازده برنامه‌ای تیمارها نسبت به تیمار شاهد در سال‌های مختلف بر اساس رابطه ۶ محاسبه گردید:

$$NPV = \sum_{i=1}^n GM_i \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (6)$$

که در آن، $\left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$ ضریب تبدیل ارزش آینده به حال و NPV مجموع ارزش کنونی خالص تغییرات بازده برنامه‌ای است. جهت محاسبه بازده برنامه‌ای هر تیمار درآمد ناخالص و هزینه‌های تولید تیمارها برآورد گردید. درآمد حاصل از هر تیمار براساس میزان عملکرد محصول اصلی و فرعی و قیمت واحد محصول محاسبه گردید. با توجه به این‌که در تیمارهای مختلف هزینه‌های خاک‌ورزی و

¹ Gross margin

جدول ۳- تجزیه واریانس داده های رطوبت خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
تکرار	۳	۱/۶۶	۱/۴۳ ^{ns}
روش خاک ورزی	۲	۲۶/۹۱	۲۲/۹۵ ^{**}
سال	۳	۱۴۲/۳۷	۱۲۱/۴۲ ^{**}
برهم کنش سال-خاک ورزی	۶	۳/۴۳	۲/۹۳ [*]
خطا	۲۴	۱/۱۷	

ns نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار، * نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ و ** نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ می باشد.

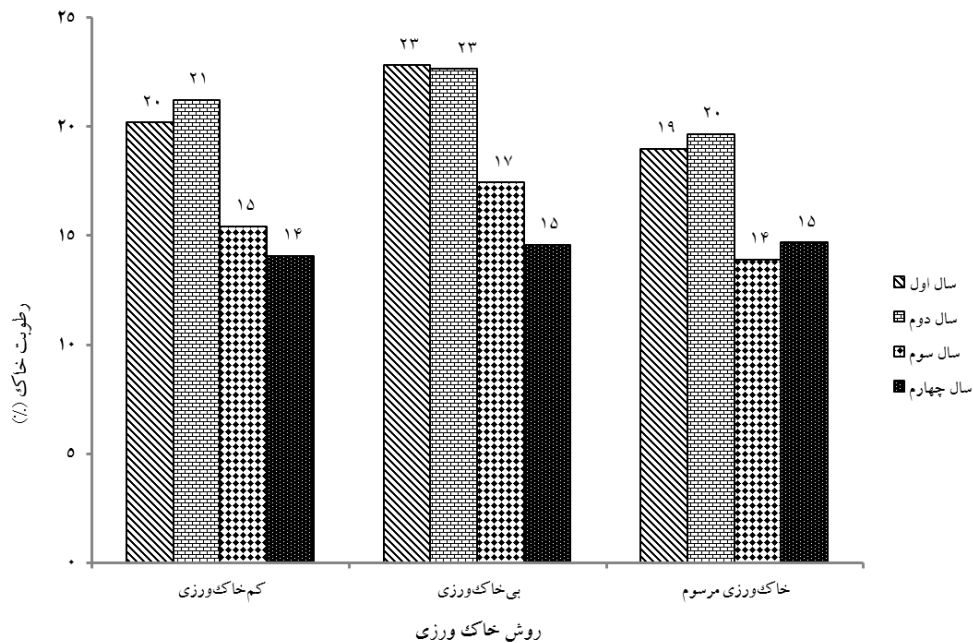
جدول ۴- مقایسه میانگین رطوبت خاک

سال	رطوبت خاک (%)	روش خاک ورزی	رطوبت خاک (%)
سال اول	۲۰/۶۸a	کم خاک ورزی	۱۷/۷۴b
سال دوم	۲۱/۱۹a	بی خاک ورزی	۱۹/۳۸a
سال سوم	۱۵/۶۰b	خاک ورزی مرسوم	۱۶/۸۲c
سال چهارم	۱۴/۴۶b		

حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار بین تیمارهاست.

جدول ۵- آمار هواشناسی در دوره رشد پنبه در سال های انجام تحقیق

سال	تبر			مرداد			شهریور			مهر			آبان		
	رطوبت	تبخیر	دما	رطوبت	تبخیر	دما	رطوبت	تبخیر	دما	رطوبت	تبخیر	دما	رطوبت	تبخیر	دما
اول	۲۶/۰	۴۳۸/۵	۳۳/۵	۱۹/۰	۴۴۲/۶	۳۰/۲	۲۷/۰	۲۹۹/۳	۲۶/۰	۳۰/۰	۲۶/۰	۱۹۴/۲	۳۳/۰	۱۸۱/۵	۱۲۴/۹
دوم	۲۴/۰	۳۵۴/۲	۳۴/۰	۲۴/۰	۳۷۲/۶	۲۹/۷	۳۰/۰	۲۸۰/۰	۲۴/۷	۲۴/۰	۲۴/۷	۱۸۶/۸	۴۲/۰	۱۷/۸	۱۱۵/۴
سوم	۲۵/۰	۳۶۴/۱	۳۳/۶	۲۳/۰	۳۷۵/۸	۳۰/۵	۲۹/۰	۲۷۴/۰	۲۴/۸	۲۴/۰	۲۴/۸	۱۸۹/۵	۴۴/۰	۲۱/۴	۱۱۶/۸
چهارم	۲۸/۰	۳۶۰/۵	۳۲/۸	۳۶/۰	۳۱۱/۵	۳۰/۰	۳۵/۰	۲۶۳/۹	۲۴/۵	۲۴/۰	۲۴/۵	۱۷۲/۹	۵۱/۰	۱۷/۹	۸۹/۱



شکل ۱- اثر متقابل سال و روش خاک ورزی بر رطوبت خاک

روش خاک‌ورزی در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر نفوذ تجمعی آب در خاک داشت، اما نفوذ تجمعی آب در خاک تحت تأثیر معنی‌دار روش خاک‌ورزی قرار نگرفت (جدول ۶). با توجه به متفاوت بودن مقدار به‌هم‌خوردگی خاک در روش‌های مختلف خاک‌ورزی، توقع این بود که روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر نفوذ تجمعی آب در خاک داشته باشد ولی این گونه نشد. این نشان می‌دهد که علاوه بر مقدار به‌هم‌خوردگی خاک، عوامل دیگری مانند مواد آلی خاک و نفوذ ریشه گیاهان در خاک نیز بر نفوذپذیری خاک مؤثرند. هم‌چنین، با توجه به این‌که نفوذپذیری خاک در سال‌های مختلف در شرایط رطوبتی متفاوت اندازه‌گیری شده‌اند، اثر سال بر نفوذ تجمعی آب در خاک معنی‌دار شده است.

رطوبت نسبی و سرعت باد) می‌باشد. با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار شرایط جوی در سال‌های انجام تحقیق (جدول ۵)، به‌نظر می‌رسد متفاوت بودن رطوبت خاک در سال‌های مختلف علیرغم تلاش برای اندازه‌گیری با فاصله زمانی مساوی از آبیاری قبلی، به دلیل متفاوت بودن فاصله زمانی بین اندازه‌گیری رطوبت و زمان آبیاری قبلی در سال‌های مختلف بوده است. مقایسه اثر برهم‌کنش روش خاک‌ورزی و سال بر رطوبت خاک نیز نشان داد که در تمام سال‌ها، روش بی‌خاک‌ورزی بیش‌ترین رطوبت خاک را به‌خود اختصاص داده است (شکل ۱).

۳-۲- نفوذ تجمعی آب در خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به نفوذ تجمعی آب در خاک نشان داد که سال در سطح یک درصد و برهم‌کنش سال و

جدول ۶- تجزیه واریانس داده‌های نفوذ تجمعی آب به خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
تکرار	۳	۹/۳۲	۱/۴۷ ^{ns}
روش خاک‌ورزی	۲	۱۳/۵۸	۲/۱۴ ^{ns}
سال	۳	۷۹۹/۹۲	۱۲۶/۱۳ ^{**}
برهم‌کنش سال-خاک‌ورزی	۶	۲۳/۶۳	۳/۷۳ [*]
خطا	۲۴	۶/۳۴	

ns نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و ** نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد.

دیگر، مقایسه سرعت نفوذ آب در خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که هرچند شیب افت سرعت نفوذ در دقایق اولیه اندازه‌گیری در تیمارهای مختلف متفاوت است اما در انتهای زمان اندازه‌گیری، تمام تیمارها دارای سرعت نفوذ یکسان هستند (شکل ۲). افت سریع‌تر سرعت نفوذ آب در خاک در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در مقایسه با بی‌خاک‌ورزی احتمالاً به دلیل شسته شدن رس لایه سطحی شخم خورده خاک و ته‌نشین شدن آن در زیر لایه سطحی می‌باشد. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نفوذ آب به خاک در سال‌های مختلف نشان داد که بین سال‌های مختلف از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری وجود داشت به‌طوری‌که بیشترین نفوذ تجمعی آب به‌خاک در سال دوم انجام تحقیق اتفاق افتاد و کمترین آن مربوط به سال چهارم بود (جدول ۸). همان‌گونه که اشاره شد، دلیل این امر تغییر شرایط رطوبتی خاک در زمان اندازه‌گیری نفوذ تجمعی در سال‌های مختلف می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی از نظر نفوذ تجمعی آب در خاک نشان داد که هرچند اختلاف بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر نفوذ تجمعی آب در خاک معنی‌دار نبود، اما مقدار این نفوذ تحت تأثیر مقدار به‌هم‌خوردگی خاک در این تیمارها بود به‌طوری‌که خاک‌ورزی مرسوم بیشترین و بی‌خاک‌ورزی کمترین مقدار نفوذ تجمعی آب در خاک را داشت (جدول ۷). این امر نشان می‌دهد که در خاک متوسط محل انجام این تحقیق، علیرغم این‌که در تیمار کشت مستقیم خاک شخم نخورده است، ریشه گیاه کشت شده تا حدودی راه نفوذ آب به خاک را باز کرده و به‌عنوان شخم بیولوژیک عمل کرده است، در حالی‌که در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و مرسوم، شخم منافذ باز شده توسط ریشه گیاه را تخریب می‌کند. بنابراین به‌نظر می‌رسد در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نباید نگران عدم نفوذ آب به‌خاک با بافت متوسط بود. حتی افزایش نفوذپذیری خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نیز در نتایج برخی تحقیقات گذشته گزارش شده است (مک‌گری و همکاران، ۲۰۰۰). از طرف

جدول ۷- مقایسه میانگین نفوذ تجمعی آب به خاک

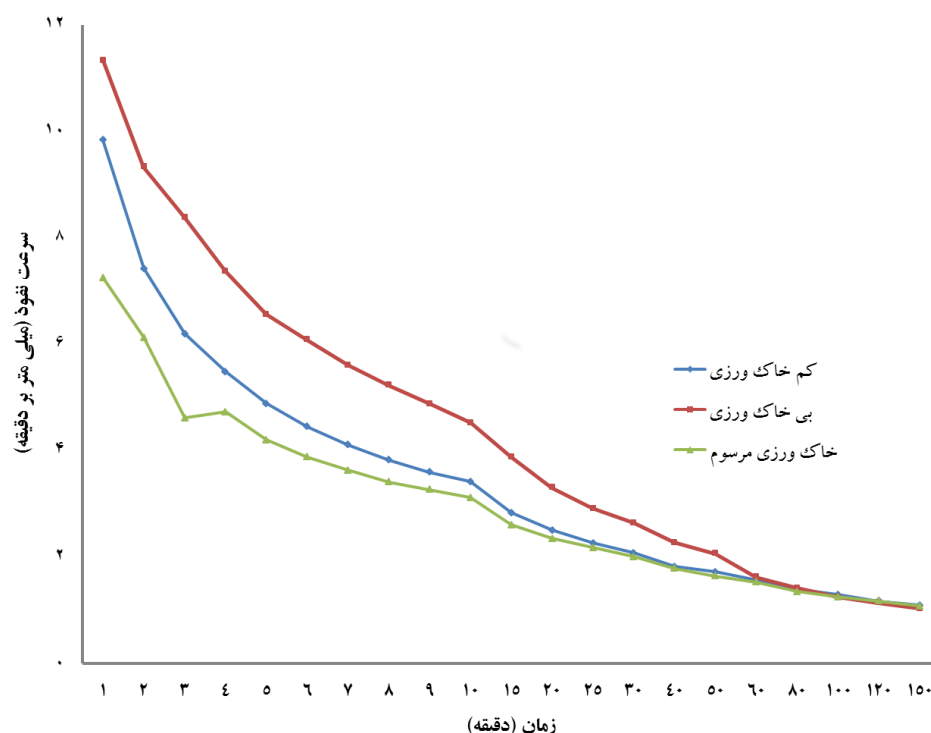
سال	نفوذ تجمعی (cm)	روش خاک‌ورزی	نفوذ تجمعی (cm)
سال اول	۱۷/۶۴b	کم‌خاک‌ورزی	۱۵/۰۸a
سال دوم	۲۵/۰۳a	بی‌خاک‌ورزی	۱۴/۰۷a
سال سوم	۱۱/۲۵c	خاک‌ورزی مرسوم	۱۵/۹۱a
سال چهارم	۶/۱۵d		

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.

جدول ۸- اثر متقابل سال و روش خاک‌ورزی بر نفوذ تجمعی آب به خاک (cm)

روش خاک‌ورزی	سال			
	اول	دوم	سوم	چهارم
کم‌خاک‌ورزی	۱۵/۶۰c	۲۸/۵۳a	۱۰/۰۷d	۵/۵۰e
بی‌خاک‌ورزی	۱۶/۱۰c	۲۳/۵۷b	۱۰/۲۵d	۶/۳۵e
خاک‌ورزی مرسوم	۲۱/۲۳b	۲۳/۰۰b	۱۲/۸۰d	۶/۶۰e

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.



شکل ۲- تغییرات سرعت نفوذ آب در خاک با گذشت زمان در روش‌های مختلف خاک‌ورزی

تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی در پایان تحقیق، بُعد فرکتالی (D_m) کاهش یافته و شاخص‌های MWD و GMD به‌طور معنی‌داری افزایش یافته‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که در منطقه اجرای تحقیق، تیمارهای خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری تأثیرگذار بوده‌اند و توانسته‌اند ساختمان خاک را بهبود بخشند.

۳-۳- پایداری خاک‌دانه‌ها

مقایسه میانگین پارامترهای پایداری خاک‌دانه‌ها و ساختمان خاک پیش از اعمال تیمارها و در پایان تحقیق نشان داد که پارامترهای پایداری خاک‌دانه‌ها از شروع آزمایش به‌انتهای آزمایش بهبود یافته‌اند و تیمارهای خاک‌ورزی باعث بهبود کمی ساختمان خاک شده‌اند (جدول ۹). این نتایج نشان داد که با گذشت زمان و

جدول ۹- مقایسه میانگین پارامترهای پایداری خاک‌دانه‌ها و ساختمان خاک در آغاز و پایان تحقیق

GMD(mm)	MWD (mm)	D_m	تیمار
۱/۳۹۴ b	۷/۲۴۰ b	۲/۷۵۸ a	قبل از آغاز تحقیق (Y_1)
۱/۶۰۷ a	۹/۳۱۸ a	۲/۷۱۸ b	بعد از پایان اجرای تحقیق (Y_2)

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.

ساله تحقیق باعث شده تا تغییرات پارامترهای کمی ساختمان و شاخص‌های پایداری خاک‌دانه تعدیل شود (جدول ۱۰). هر چند انتظار می‌رفت که در لایه سطحی خاک به دلیل کربن آلی بیشتر، ساختمان

پارامترهای پایداری خاک‌دانه‌ها در دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک اختلاف معنی‌داری نداشتند که احتمالاً دوره چهار

خاک وضعیت بهتری داشته باشد، اما عملاً این گونه نشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تیمارهای خاک‌ورزی و حفظ بقایا در طول چهار سال تحقیق باعث شده‌اند تا مقدار پارامترهای ارزیابی ساختمان

به هم نزدیک شده و این بهبود ساختمان در دو لایه سطحی خاک اتفاق بیافتد.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین پارامترهای پایداری خاک‌دانه‌ها و ساختمان خاک در دو عمق مختلف خاک

عمق خاک (cm)	D_m	MWD (mm)	GMD(mm)
۱۰-۰ (D ₁)	۲/۷۳۵ a	۸/۲۶۹ a	۱/۴۷۵ a
۲۰-۱۰ (D ₂)	۲/۷۴۰ a	۸/۲۸۹ a	۱/۵۲۶ a

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.

خاک‌دانه‌ها در دوره انجام تحقیق (جدول ۹)، انتظار این بود که در انتهای تحقیق اختلاف بین روش‌های خاک‌ورزی از نظر بُعد فرکتالی و شاخص‌های پایداری معنی‌دار باشد که این گونه نشد. بنابراین، به نظر می‌رسد حتی روش خاک‌ورزی مرسوم نیز به دلیل ترکیب بقایای گیاهی با خاک (مقدار بقایای گیاهی در تمام تیمارها یکسان بوده و فقط نحوه ترکیب این بقایا با خاک متفاوت بوده است) در بهبود پایداری خاک‌دانه‌ها نقش داشته است هرچند نقش آن کمتر از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بوده است.

گرچه پارامترهای بُعد فرکتالی و شاخص‌های پایداری خاک‌دانه‌ها تحت تاثیر معنی‌دار تیمارهای مختلف خاک‌ورزی قرار نگرفتند، ولی بُعد فرکتالی (D_m) در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی کاهش و شاخص‌های پایداری (GMD و MWD) در مقایسه با تیمار خاک‌ورزی مرسوم افزایش داشتند (جدول ۱۱). این موضوع بیانگر این است که ساختمان خاک تحت تاثیر سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی بهبود یافته است اما برای معنی‌دار شدن این تأثیر، احتمالاً نیاز به زمانی بیش از چهار سال می‌باشد. هم‌چنین، با توجه به تأثیر معنی‌دار اثر خاک‌ورزی بر بهبود بُعد فرکتالی و شاخص‌های پایداری

جدول ۱۱- مقایسه میانگین پارامترهای پایداری خاک‌دانه‌ها و ساختمان خاک در تیمارهای خاک‌ورزی

تیمار	D_m	MWD(mm)	GMD(mm)
کم‌خاک‌ورزی	۲/۷۲۲ a	۸/۶۴۹ a	۱/۵۳۸ a
بی‌خاک‌ورزی	۲/۷۴۰ a	۸/۴۷۹ a	۱/۵۴۵ a
خاک‌ورزی مرسوم	۲/۷۵۰ a	۷/۸۲۲ a	۱/۴۴۹ a

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.

۳-۴- عملکرد پنبه

عملکرد محصول در سطح خاک‌ورزی مرسوم حفظ شود کافی است، بنابراین عدم اختلاف معنی‌دار تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم از نظر عملکرد پنبه نتیجه مثبتی تلقی می‌شود. هم‌چنین، با توجه به شرایط اقلیمی در سال‌های مختلف انجام تحقیق (جدول ۵) و تغییرات جزئی در مدیریت مزرعه، تأثیر معنی‌دار سال بر عملکرد پنبه قابل توجهی می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد پنبه در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که عملکرد پنبه تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های خاک‌ورزی و برهم‌کنش سال و خاک‌ورزی قرار نگرفت، در حالی که اثر سال انجام تحقیق بر عملکرد پنبه معنی‌دار بود (جدول ۱۲). با توجه به این که در استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی توقع افزایش عملکرد محصول به خصوص در کوتاه‌مدت مدنظر نیست و چنانچه

جدول ۱۲- تجزیه واریانس داده‌های عملکرد پنبه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
تکرار	۳	۷۳۸۶۶۵	۱/۸۴ ^{ns}
روش خاک‌ورزی	۲	۳۵۱۴۷	۰/۰۹ ^{ns}
سال	۳	۴۹۱۰۵۰۰	۱۲/۲۲ ^{**}
برهم‌کنش سال-خاک‌ورزی	۶	۱۹۲۶۰۲	۰/۴۸ ^{ns}
خطا	۲۴	۴۰۱۹۴۸	

ns نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و ** نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد.

خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد پنبه در تحقیقات مختلف، تفاوت در شرایط آب و هوایی و نوع خاک می‌باشد. بنابراین نتایج تحقیقات گذشته نیز نشان می‌دهد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی عملکرد پنبه را در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم کاهش نمی‌دهند که این موضوع نوید دهنده امکان جایگزینی خاک‌ورزی مرسوم با خاک‌ورزی حفاظتی در تهیه زمین پنبه می‌باشد. هم‌چنین مقایسه عملکرد پنبه در سال‌های مختلف نشان داد که میانگین عملکرد پنبه در سال‌های مختلف با هم اختلاف معنی‌دار داشتند که با توجه به شرایط اقلیمی در سال‌های مختلف (جدول ۵) و تغییرات جزئی در مدیریت مزرعه، قابل توجه می‌باشد. بیش‌ترین عملکرد پنبه (۳۴۸۷ کیلوگرم در هکتار) در سال سوم و کمترین آن (۲۰۶۱ کیلوگرم در هکتار) در سال اول به‌دست آمد.

مقایسه میانگین عملکرد پنبه در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که تمام میانگین‌ها در یک کلاس آماری قرار گرفتند و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول ۱۳). بررسی نتایج اکثر تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی شامل کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی عملکرد پنبه را در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم افزایش می‌دهند که نتایج تحقیقات شواب و همکاران (۲۰۰۲) و ریپر و همکاران (۲۰۰۰) در ایالت تنسی آمریکا، ویاتراک و همکاران (۲۰۰۶) در ایالت فلوریدا، خان و همکاران (۲۰۱۵) و عثمان و همکاران (۲۰۱۴) در پاکستان از این جمله‌اند. البته نتایج برخی تحقیقات از جمله تحقیقات میچل و همکاران (۲۰۱۶) در ایالت کالیفرنیا آمریکا نیز نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین روش‌های بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم از نظر عملکرد پنبه می‌باشد. دلیل عمده تفاوت در نتایج تأثیر

جدول ۱۳ - مقایسه میانگین عملکرد پنبه

عملکرد پنبه (kg/ha)	تیمار
-	سال اول
۲۰۶۱b	سال دوم
۲۸۸۶ab	سال سوم
۳۴۸۷a	سال چهارم
۲۲۹۲b	روش خاک‌ورزی
-	کم‌خاک‌ورزی
۲۷۲۲a	بی‌خاک‌ورزی
۲۶۳۰a	خاک‌ورزی مرسوم
۲۶۹۲a	

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.

۳-۵- ارزیابی اقتصادی

کمتر بود، در حالی که اگر فقط عملکرد پنبه مبنای محاسبه قرار می‌گرفت، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و به ویژه کم‌خاک‌ورزی (به دلیل عملکرد بالاتر و هزینه کمتر) اقتصادی‌تر بودند. هم‌چنین، چنانچه ارزش اقتصادی تأثیرات مثبت تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم از جمله افزایش ظرفیت مزرعه‌ای، افزایش ماده آلی و ذخیره رطوبت خاک در محاسبات وارد شوند، احتمالاً تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی اقتصادی‌تر خواهند بود. نتایج تحقیقات گذشته نیز نشان دهنده افزایش راندمان اقتصادی پنبه تحت کشت مستقیم در مقایسه با راندمان اقتصادی آن در خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (عباس و همکاران، ۲۰۱۶).

نتایج مقایسه میانگین هزینه‌ها، درآمدها و سود ناخالص (بازده برنامه‌ای) تیمارها نشان داد که تمامی تیمارها دارای سود ناخالص مثبت بودند و تیمار شاهد یعنی خاک‌ورزی مرسوم بیشترین بازده برنامه‌ای یا سود ناخالص را داشت (جدول ۱۴). هم‌چنین محاسبه تغییرات بازده برنامه‌ای تیمارهای مختلف نسبت به تیمار شاهد مشخص نمود که تمامی تیمارها نسبت به تیمار شاهد از سود ناخالص کمتری برخوردار بودند. از دلایل عمده بیشتر بودن سود ناخالص تیمار شاهد نسبت به سایر تیمارها، محاسبه درآمدها براساس میزان عملکرد دو محصول پنبه و گندم در سال زراعی بوده است (عملکرد گندم در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم

جدول ۱۴- ارزش کنونی هزینه‌ها و درآمدها و بازده برنامه‌ای تیمارهای مختلف (میلیون ریال در هکتار)

رتبه	تغییرات نسبت به شاهد	بازده برنامه‌ای	درآمدها	جمع هزینه‌ها	هزینه‌های غیرمشترک	تیمار
۲	-۲/۲۹	۵۱/۳۸	۱۵۵/۹۰	۱۰۴/۵۲	۱۰/۴۵	کم‌خاک‌ورزی
۳	-۵/۵۲	۴۸/۱۴	۱۴۹/۰۹	۱۰۰/۹۵	۶/۸۷	بی‌خاک‌ورزی
۱	۰	۵۳/۶۶	۱۶۳/۸۲	۱۱۰/۱۵	۱۶/۰۸	خاک‌ورزی مرسوم

۴- نتیجه گیری

استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی نباید نگران افزایش فشردگی خاک و محدودیت نفوذ ریشه بود. روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم عملکرد پنبه را نیز کاهش ندادند بنابراین، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌توانند جایگزین خاک‌ورزی مرسوم در تهیه بستر بذر پنبه در مناطق گرم استان فارس گردند. مقایسه اقتصادی خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم نشان داد که خاک‌ورزی حفاظتی علی‌رغم مزایای زیادی که دارد، سود اقتصادی کمتری نسبت به خاک‌ورزی مرسوم دارد که به‌نظر می‌رسد با گذشت زمان و سازگاری محصول با خاک‌ورزی حفاظتی، این نقیصه نیز برطرف خواهد شد.

در این تحقیق، اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک، شاخص اقتصادی و عملکرد پنبه در تناوب گندم- پنبه بررسی شد. نتایج نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم ذخیره رطوبت در خاک را افزایش می‌دهند که این افزایش حفظ رطوبت در خاک نتیجه حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و کاهش به‌هم‌خوردگی خاک می‌باشد. افزایش حفظ رطوبت، کاهش مصرف آب و صرفه‌جویی در مصرف آب را به‌دنبال دارد که در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران اهمیت زیادی دارد. همچنین، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم نفوذ آب به خاک را کاهش ندادند که نشان می‌دهد در

منابع

- احمدی، ک.، ح.، ر.، عبادزاده، ح.، عبدشاه، ع.، کاظمیان، و. م.، رفیعی. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی: محصولات زراعی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، دفتر آمار و فناوری اطلاعات، انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، تهران.
- اسکندری، ا. و. و. فیضی‌اصل. ۱۳۹۶. تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر برخی خواص فیزیکی خاک و عملکرد محصول در تناوب گندم- ماشک در منطقه سردسیر دیم. نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۷، شماره ۲.
- افزایی نیا، ص. و. ع. کرمی. ۱۳۹۷ الف. اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و عملکرد ذرت در تناوب با گندم، مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۹، شماره ۱.
- افزایی نیا، ص.، ع. کرمی و م. ج. روستا. ۱۳۹۷ ب. اثر کشاورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و عملکرد کنگد در تناوب با گندم، نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی، دوره ۳۱، شماره ۳.
- بحرپور، و.، ع. روحانی، م. ح. عباسپورفرد، س. ظریف نشاط، و م. ح. آق خانی. ۱۳۹۵. اثر روش خاک‌ورزی و مدیریت بقایا بر برخی خصوصیات خاک، نشریه مکانیزاسیون کشاورزی، دوره ۳، شماره ۲.
- سلطانی، غ. اقتصاد مهندسی، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه شیراز، ۱۳۸۰.
- Abbas, H. G., Mahmood A., and Ali, Q. 2016. **Zero tillage: A potential technology to improve cotton yield.** Genetika. 48(2): 761-776.
- Al-Issa, T. A., and Samarah, N. H. 2007. **The effect of tillage on barley production under rainfed condition of Jordan.** American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 2(1): 57-59.
- 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 and Tillage Research. 92(1-2): 69-78.
- Erenstein, O., and Laxmi, V. 2008. **Zero tillage impacts in India's rice-wheat systems: A review.** Soil and Tillage Research. 100: 1-14.
- Guan, D., Zhang, Y., Al-Kaisi, M. M., Wang, Q., Zhang M. and Li, Z. 2015. **Tillage practices effect on root distribution and water use efficiency of winter wheat under rain-fed condition in the North China Plain.** Soil and Tillage Research. 146: 286-295.
- Khan, N., Usman, K., Yazdan, F., Din, S. U., Gull, S. and Khan, S. 2015. **Impact of tillage and intra-row**

- spacing on cotton yield and quality in wheat–cotton system.** Archives of Agronomy and Soil Science. 61(5): 581–597.
- McGarry D., Bridge, B. J. and Radford, B. J. 2000. **Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in semi-arid subtropics.** Soil and Tillage Research. 53: 105-115.
- Mitchell, J. P., Shrestha, A. and Munk, D. S. 2016. **Cotton response to long-term no-tillage and cover cropping in the San Joaquin Valley.** The Journal of Cotton Science. 20: 8–17.
- Pirmoradian, N., Sepaskhah, A. R. and Hajabbasi, M. A. 2005. **Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments.** Biosystems Engineering. 90: 227-234.
- Raper, R.L., Reeves, D. W., Burmester, C. H. and Schwab, E. B. 2000. **Tillage depth, tillage timing, and cover crop effects on cotton yield, soil strength, and tillage energy requirements.** Applied Engineering in Agriculture. 16 (4): 379-385.
- Rusu, T. 2005. **The influence of minimum tillage systems upon the soil properties, yield and energy efficiency in some arable crops.** Journal of Central European Agriculture. 6(3): 287-294.
- Schwab, E. B., Reeves, D. W. , Burmester, C. H. and Raper, R. L. 2002. **Conservation tillage systems for cotton in the Tennessee Valley.** Soil Science Society of American Journal. 66: 569–577.
- Tyler, S. W., and Wheatcraft, S. W. 1992. **Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations.** Soil Science Society of America journal. 56: 362-369.
- Usman, K., Khan, N., Khan, M. U., Saleem, F. Y. and Rashid, A. 2014. **Impact of tillage and nitrogen on cotton yield and quality in a wheat-cotton system, Pakistan.** Archives of Agronomy and Soil Science. 60(4): 519–530.
- Webster, R., and Oliver, M. A. 2001. **Geostatistics for environmental scientists.** John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Wiatrak, P. J., Wright, D. L. and Marois, J. J. 2006. **Development and yields of cotton under two tillage systems and nitrogen application following white lupin grain crop.** The Journal of Cotton Science. 10: 1-8.

Effect of Conservation Tillage Methods on Soil Physical Properties and Cotton Yield in Wheat-Cotton Rotation

S. Afzalnia^{1*}, A. Karam² and D. Mohammadi³

Received: 20 April 2019

Accepted: 22 October 2019

¹Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran.

²Department of Soil and Water Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran.

³Department of Agricultural Socio-Economic and Extension Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran.

*Corresponding author: sja925@mail.usask.ca

Abstract

Effect of conservation tillage on soil properties and crop yield may be influenced by climate condition, soil type, and crop type and rotation. Therefore, evaluation of different tillage methods in different climate conditions, soil textures, and crop rotations is necessary. In this research, the effect of conservation tillage methods on soil properties, cotton yield, and its economic efficiency was evaluated in wheat-cotton cropping system in arid climate condition of Fars province (Iran). The study was conducted in the form of a complete block experimental design with three treatments and four replications in Darab Agricultural Research Station for four years. The treatments were reduced tillage, no-tillage, and conventional tillage (control treatment). The results showed that the tillage method had significant effect on moisture retention in the soil so that the no-till and reduced tillage increased moisture retention in the soil compared to the conventional tillage by 15.22 and 5.47%, respectively. The tillage methods had no significant effect on the soil infiltration, soil aggregates, and cotton yield. Economic evaluation revealed that the conventional tillage had the highest economic efficiency followed by the reduced tillage and no-till. However, the economic returns of all treatments were positive. If a proper management be applied during replacing the conventional tillage with conservation tillage methods, the advantages of conservation tillage could be reached in cotton planting.

Keywords: Tillage methods, Cotton yield, Soil properties, Economic efficiency