

تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در زراعت گندم

ابوالفضل فلاح هروی^۱، حمید عباس دخت^{۲*}، احمد زارع فیض‌آبادی^۳، احمد غلامی^۴،

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

۲. دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

۳. استاد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مشهد

۴. دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۱/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۹)

چکیده

به منظور مطالعه تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی متداول با مدیریت بقایا بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در زراعت گندم، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل الف) شیوه‌های خاک‌ورزی در سه سطح (خاک‌ورزی متداول، حداقل شخم، بدون شخم) و ب) مدیریت بقایا در سه سطح (۰، ۳۰ و ۶۰٪ بقایا) بودند. نتایج نشان داد کلونیزاسیون میکوریزایی، دمای خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک و تخلخل در انواع روش‌های خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری را از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۱ نشان دادند. بیشترین کلونیزاسیون میکوریزایی (۷۲/۸۸)، ظرفیت نگهداری آب خاک (۲۱/۵۹ درصد)، تخلخل (۶۲/۰۹ درصد) در بدون شخم بود. در میزان مختلف بقایا نیز کلونیزاسیون میکوریزایی و مقاومت به نفوذ از نظر آماری در سطح ۰/۰۱، ظرفیت نگهداری آب خاک و تخلخل در سطح ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری داشتند. بالاترین عملکرد دانه در بدون شخم (۶۹۱۲/۲ کیلوگرم در هکتار) و در بقایای ۶۰ درصد (۶۹۸۰/۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. آزمایش نشان داد خاک‌ورزی حفاظتی همراه با حفظ بقایای بیشتر روی سطح خاک موجب بهبود برخی از ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک و احیاء آن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بدون شخم، تخلخل، ظرفیت نگهداری آب خاک، کلونیزاسیون میکوریزایی، مقاومت به نفوذپذیری خاک.

مقدمه

متداول، تنوع میکروبی را افزایش داده و به اکوسیستم اجازه می‌دهد که در هنگام مواجهه شدن با تغییرات محیطی، از ثبات برخوردار گردد (Verhulst *et al.*, 2012). شخم به شبکه حفره‌های خاک و هیف‌های میکوریزا که عامل مهمی برای قابل‌دسترس شدن فسفر در بعضی از خاک‌ها هستند صدمه زده و قطع می‌کند درحالی‌که سیستم بدون شخم منجر به تعادل بهتری از میکروارگانیزم‌ها شده و خاک پویاتری را به وجود می‌آورد (Hobbs *et al.*, 2008). در دوره‌های آیش، روش‌های بدون شخم و حداقل شخم میزان رطوبت بیشتری نسبت به شخم متداول حفظ می‌کنند (Farahani *et al.*, 1998). کتله و همکاران (۲۰۰۰) در مقایسه تأثیر پنج‌ساله سه روش خاک‌ورزی مختلف مشاهده کردند که کربن آلی خاک در عمق ۰ تا ۷/۵ سانتیمتری، در تیمار شخم برگردان در مقایسه با تیمار بدون شخم، ۲۰ درصد کمتر بود و در عمق ۷/۵ تا ۱۵ سانتیمتری ۱۵ درصد بیشتر و در عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری تفاوتی نداشت.

عملیات شخم ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، ظرفیت نگهداری آب و خاکدانه‌ها را تحت تأثیر قرار داده و در ساختار و فعالیت جمعیت میکروبی خاک تغییر ایجاد می‌نماید اما شخم حفاظتی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک را بهبود می‌بخشد (Mathew *et al.*, 2012). پژوهش‌ها نشان می‌دهد روش‌های کشاورزی حفاظتی موجب بهبود فرآیندهای زیستی طبیعی بخش زیر و روی خاک می‌شود و تیمارهای بدون شخم با حفظ بقایای بیشتر نسبت به شخم متداول دارای فون متنوع‌تری بوده، به طوری که جمعیت بیشتری از باکتری‌ها، اکتینومایسیت‌ها، قارچ‌ها، کرم‌های خاکی و نماتدهای در آن‌ها وجود دارد (Hobbs *et al.*, 2008; Verhulst *et al.*, 2011). حفظ بقایا در بدون شخم و شخم

خاک است. اثر مستقیم آن ناشی از شکستن فوری خاکدانه‌ها به وسیله ابزارهای شخم می‌باشد و اثر غیرمستقیم آن عدم وجود بقایا روی سطح خاک موجب فرسایش، ضربات باران بر سطح خاک شده و همچنین زیست‌توده میکروبی ضعیف نیز تشکیل خاکدانه‌ها را کند می‌کند (Verhulst et al., 2011; Lichter et al., 2008). نفوذپذیری در پوشش‌های زمین با ۸۱ و ۵۱ درصد به ترتیب ۴۱ و ۱۴ میلی‌متر در ساعت بود که به‌طور معنی‌داری در تیمار بدون شخم نسبت به تیمار شخم برگردان بیشتر بود و میزان فرسایش ۱۰ و ۲۱ کیلوگرم در هکتار که هر دو در تیمار بدون شخم نسبت به تیمار شخم برگردان معنی‌دار و کمتر بود (Williams and Wuest, 2011). چگالی ظاهری را می‌توان شاخصی از کیفیت خاک دانست (Logsdon and Karlen, 2004). هدف در این تحقیق، بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و مدیریت بقایا در مقایسه با روش متداول بر بعضی از ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی طرق مشهد در سال زراعی ۹۳-۹۲ و در تناوب ذرت - گندم به اجرا درآمد. این تحقیق به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل سه سیستم خاک‌ورزی (۱- شیوه متداول خاک‌ورزی: شخم + دیسک + تسطیح + کاشت با بذرکار)، ۲- شخم کاهش‌یافته: چیزل پکر + کاشت با بذرکار و ۳- بدون شخم: کاشت مستقیم با بذرکار و کرت فرعی شامل سه مدیریت بقایا (۱- بدون بقایا، ۲- حفظ ۳۰٪ بقایا و ۳- حفظ ۶۰٪ بقایای گیاهی) می‌باشند.

مقایسه سیستم‌های شخم بر کیفیت خاک نشان داد، متوسط pH در عمق ۰ تا ۵ سانتیمتری خاک در بدون شخم نسبت به شخم متداول کمتر بود (Verhulst et al., 2011). کاهش شخم فشرده و حفظ بقایای بیشتر در سیستم‌های حفاظتی از طریق کاهش اکسیداسیون ماده آلی خاک باعث افزایش کربن آلی خاک در مقایسه با شخم متداول شده و همچنین عناصر غذایی به میزان بیشتری حفظ شده و میکروارگانیزم‌های خاک نیز نسبت به شخم متداول کمتر تخریب شد (Entry et al., 1996; Campbell; Halvorson et al., 2002; Wilkins et al., 2002; and Zentner, 1997). نتایج تحقیقات نشان داده است که در روش شخم مداوم و سوزاندن بقایا میزان تلفات کربن آلی خاک ۸/۲ تن در هکتار بود درحالی‌که این میزان در روش بدون شخم و حفظ بقایا، ۳/۸ تن در هکتار به‌دست آمد. همچنین کشت بدون شخم نسبت به شخم متداول موجب افزایش ترسیب کربن تا ۲۳۳ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با ۱۴۱ کیلوگرم در هکتار در سال شده است (Halvorson et al., 2008; Hobbs et al., 2008). میزان کربن و ازت در سطح ۱۰ سانتیمتری خاک تحت کشت بدون شخم نسبت به شخم متداول ۶۷ درصد بیشتر بود (Wood and Edward, 1992). پژوهش‌ها نشان داده اگرچه شخم مقداری از فشرده‌گی خاک را کاهش می‌دهد اما خود عامل اصلی فشرده‌گی است درحالی‌که در سیستم بدون شخم، فشرده‌گی خاک کاهش می‌یابد (Hobbs et al., 2008). ظرفیت نگهداری آب، کربن آلی، بیومس میکروبی خاک و کل ازت در سیستم بدون شخم با حفظ بقایا در مقایسه با حذف بقایا، مساوی و یا بیش از ۱/۱ برابر بود (Patino-Zuniga et al., 2009). افزایش آب قابل‌دسترس گیاه اغلب اولین اثر قابل‌توجه کشت بدون شخم می‌باشد و حفظ بقایا و حداقل به‌هم‌زدن خاک، تبخیر را کاهش و نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد (Baker and Saxton, 2007). تخریب خاکدانه‌ها در شخم متداول نتیجه مستقیم و غیرمستقیم تخریب فیزیکی ساختار

تکرار ۱	شخم متداول			بدون شخم			شخم حداقل		
	بقایا ۳۰ درصد	بدون بقایا	بقایا ۶۰ درصد	بدون بقایا	بقایا ۶۰ درصد	بقایا ۳۰ درصد	بدون بقایا	بقایا ۳۰ درصد	بقایا ۶۰ درصد

شکل ۱. نمایی شماتیک از نحوه قرارگیری کرت‌ها و تیمارها

هواشناسی منطقه برابر جدول (۱) بود.

سیستم آبیاری، تحت فشار و با استفاده از لوله‌های نواری تیپ بود. میزان کود مصرفی برای هر محصول بر اساس نتایج اولیه تجزیه خاک و برای تمام تیمارها یکنواخت بود. یک سوم کود نیتروژن و تمامی کود فسفره و پتاسه مورد نیاز هم‌زمان با کاشت و مابقی کود نیتروژن در دو مرحله ابتدای ساقه‌رفتن و ابتدای ظهور سنبله مصرف شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول (۲) نشان داده شده است.

ابعاد هر کرت فرعی آزمایشی ۱۲×۳۰ متر (۳۶۰ مترمربع) بود. همچنین بین هر دو کرت آزمایشی، یک متر فاصله در نظر گرفته شد. مساحت هر کرت اصلی ۱۰۸۰ مترمربع و مساحت کل آزمایش ۹۷۲۰ مترمربع بود. تاریخ کشت پانزدهم آبان ماه بود. به منظور محاسبه میزان بقایا، از عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت استفاده شد به طوری که با تغییر ارتفاع برداشت توسط هد کمباین بخشی از بقایای محصول سال قبل (ذرت) به صورت ایستاده و مابقی بر روی سطح خاک پخش شد. از رقم گندم پارسا برای کشت استفاده شد. آمار

جدول ۱. آمار هواشناسی منطقه

سال زراعی	میانگین بارندگی (mm)	میانگین دمای سالانه (°C)	میانگین دمای بیشینه‌ها (°C)	میانگین دمای کمینه‌ها (°C)	میانگین رطوبت نسبی (%)
۹۲-۹۳	۲۰۱/۲	۱۵/۷	۲۲/۵	۸/۷	۴۴/۳
بلندمدت	۲۵۴/۳	۱۴/۸	۲۱/۸	۸/۱	۵۵

جدول ۲. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسیمنس بر متر)	ماده آلی (گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (گرم بر کیلوگرم)	فسفات (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (گرم بر کیلوگرم)
۰۷/۱	۴/۶	۰/۶	۶/۵	۰/۱۸۵

رشد، نمونه‌های دست‌نخورده از خاک توسط استوانه‌های مخصوص تهیه و چگالی ظاهری و حقیقی اندازه‌گیری شد (Blake and Hartage, 1986; Entry et al., 1996). میزان تخلخل با استفاده از چگالی ظاهری و حقیقی محاسبه شد (Sessiz and Gursoy, 2010). برای اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب خاک، نمونه‌برداری تا عمق ۱۵ سانتیمتری انجام شد و مقدار رطوبت خاک در نقاط رطوبتی ظرفیت مزرعه و پژمردگی اندازه‌گیری شد (Patino-Zuniga et al., 2009). میزان مقاومت به نفوذپذیری خاک با استفاده دستگاه PENETROMETR-Netherland-Version 5.08 و تا عمق ۲۵ سانتیمتری در حالت عمودی و با فشار وارده یکنواخت در مراحل گل‌دهی و دانه‌بندی در سه تکرار اندازه‌گیری شد (Fuentes et al., 2009). پس از مرحله رسیدگی، دو مترمربع از هر کرت برداشت و سپس وزن کل و وزن دانه‌ها اندازه‌گیری شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. برای دمای خاک و مقاومت به نفوذپذیری از کرت‌های خردشده در زمان استفاده گردید و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح

میزان بذر مصرفی بر اساس تراکم ۴۵۰ بذر در مترمربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه (۴۰ گرم) ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. دمای خاک در سه عمق ۵، ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متری و قبل از پوشش کامل کانوپی و با استفاده از دماسنج‌های میله‌ای جیوه‌ای اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری اسپورهای مایکوریزا نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۱۵ سانتیمتری از پنج نقطه هر کرت برداشت و مخلوط شد و ۱۰۰ گرم از آن وزن و در بشر ۵۰۰ سانتیمتر مکعبی با استفاده از آب مقطر سوسپانسیون تهیه و با عبور از الک‌های با قطر منافذ ۵۰۰ میکرومتر (مش ۳۵)، ۲۵۰ میکرومتر (مش ۶۰) و ۱۵۰ میکرومتر (مش ۱۰۰) محتویات الک‌ها به بشرهای مربوطه منتقل و با قطره‌چکان بر روی کاغذ صافی پخش شد. به منظور شفاف‌سازی و ممانعت از چروکیدگی شدن اسپورها، به محلول لاکتوفنل منتقل و زیر بینوکولر شناسائی و شمارش اسپورها انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک خاک نیز نمونه خاک برای ۷۲ ساعت در خشک‌کن با دمای ۱۰۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده و وزن خشک نیز اندازه‌گیری شد (Patino-Zuniga; Schalamuk et al., 2006 et al., 2009). در انتهای دوره

احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

کلونیزاسیون مایکوریزایی (اسپور)

در روش‌های مختلف خاک‌ورزی تعداد اسپور مایکوریزا اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۳). به‌طوری‌که میزان آن‌ها در تیمارهای بدون شخم، شخم حداقل و شخم متداول به ترتیب ۷۲/۸۸، ۳۳/۶۶ و ۲۲/۲۲ به‌دست آمد (جدول ۴). عدم به‌هم‌زدن خاک و ثبات سطح خاک علاوه بر حفظ رطوبت بیشتر، موجب شد تا میسلیوم‌های قارچ‌ها که در اثر شخم تکه‌تکه می‌شدند، سالم مانده و امکان تولید و گسترش بیشتری برای آن‌ها فراهم گردد. عدم تردد زیاد و کاهش ترافیک باعث کاهش فشردگی خاک و بهبود وضعیت خلل و فرج و همچنین بهبود وضعیت رطوبتی و تهویه خاک شده که این امر نیز احتمالاً امکان فعالیت بیشتر گرم‌های خاکی و جانداران خاک را نیز فراهم نموده و این افزایش فعالیت بیولوژیکی اثرات متقابل مثبتی با قارچ‌های مایکوریزا داشته است. میزان بقایای متفاوت، اختلاف معنی‌داری را در تعداد اسپور مایکوریزا باعث شد (جدول ۳). بیشترین اسپور مایکوریزا در تیمار با بقایای ۶۰ درصد با تعداد ۴۶/۲۲ اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار با بقایای ۳۰ درصد (۴۲/۷۷) میزان ۸ درصد و نسبت به تیمار بدون بقایا (۳۹/۷۷) ۱۶/۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). نگهداری بقایای بیشتر در روی سطح خاک علاوه بر کاهش فرسایش از ممانعت از برخورد تابش مستقیم نور خورشید و جلوگیری از تبخیر رطوبت موجب حفظ رطوبت خاک شده است و همچنین دمای خاک را نیز تعدیل نموده و از تغییرات شدید آن ممانعت نموده و مانع افزایش شدید دمای خاک شده است. وجود بقایای بیشتر و تعدیل رطوبت و دمای خاک، شرایط را برای میکروارگانیسم‌ها و موجودات خاکزی مناسب‌تر نموده که موجب

افزایش فعالیت آن‌ها شده و وجود بقایا باعث افزایش ماده آلی خاک و بهبود شرایط برای فعالیت قارچ‌ها شده است. اثرات متقابل خاک‌ورزی و میزان بقایا بر کلونیزاسیون مایکوریزایی معنی‌دار نشد (جدول ۳). عملیات شخم کاهش‌یافته و حفظ بقایا، ساختار خاک را بهبود داده و زیست‌توده میکروبی خاک و حاصلخیزی آن را افزایش داد (Alvear *et al.*, 2005). عملیات شخم، کلونیزاسیون آریسکولار مایکوریزا (McGonigle *et al.*, 1990) و تراکم اسپور آریسکولار مایکوریزا را کاهش داد (Kabir *et al.*, 1998). اثر مثبت بدون شخم و حفظ بقایا مرتبط با بهبود ساختار خاک و فراهم بودن بیشتر بستر آلی برای میکروارگانیسم‌های خاک است (Ceja *et al.*, 2010 b). نتایج نشان داد جمعیت قارچ‌ها و باکتری‌هایی همچون قارچ آریسکولار مایکوریزا و اکتینوباکتیریا در سطح خاک بدون شخم بیشتر بود و عملیات شخم حفاظتی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک را بهبود بخشید (Mathew *et al.*, 2012). رایزوبیوم مایکوریزا به‌عنوان شاخص ویژه کیفیت خاک محسوب شده زیرا حساسیت بالایی به مواد شیمیایی کشاورزی (Domsch *et al.*, 1983) و عملیات مدیریتی کشاورزی دارند (Le roux *et al.*, 2008). قارچ آریسکولار مایکوریزا به‌عنوان گونه کلیدی برای رصد کیفیت خاک است (Jeffries *et al.*, 2003). کلونیزاسیون مایکوریزایی همبستگی زیادی با نوع گیاه میزبان، استفاده از زمین و نوع عملیات مدیریتی دارد (Kling and Jakobson, 1998). در مقایسه با تغییرات سریع در ویژگی‌های زیستی که پس از تخریب خاک رخ می‌دهد تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی با سرعت کمتری انجام می‌شود (Le roux *et al.*, 2008) فراوانی و تنوع اسپور مایکوریزا مابین مدیریت‌های خاک‌ورزی فشرده و غیر فشرده متفاوت بود (Oehl *et al.*, 2003). برخی از ویژگی‌های زیستی خاک پاسخی به تغییرات در عملیات کشاورزی است (Sharma *et al.*, 2010).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس برای صفات‌های اندازه‌گیری شده در عملیات خاک‌ورزی و مدیریت بقایا

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد	کلونیزاسیون مایکوریزایی (اسپور)		ظرفیت نگهداری آب	
			تخلخل	در ظرفیت مزرعه	در نقطه پژمردگی	ظرفیت نگهداری آب
تکرار	۲	۷۷۷۶۱/۵ ns	۹/۱۴۸ ns	۰/۶۲۲ ns	۰/۲۷۵ ns	۰/۷۲۵ ns
خاک‌ورزی	۲	۷۱۷۵۰/۱۲۸*	۶۳۵۴/۷**	۷۳/۹۵۱**	۵/۸۵۷**	۰/۲۱۹ ns
تکرار * خاک‌ورزی	۴	۶۵۶۶۶ ns	۱/۲۰۳ ns	۰/۸۰۳ ns	۰/۱۴۹ ns	۰/۰۶۷ ns
میزان بقایا	۲	۱۲۰۲۱۸۵/۵۹**	۹۳/۵۹۲**	۱۰/۵۲۹*	۱/۹۷۶*	۰/۱۱ ns
خاک‌ورزی* میزان بقایا	۴	۱۰۰۴۲۸/۱ ns	۸/۸۱۴ ns	۹/۳۹۴*	۱/۷۶۶*	۰/۲۷۴ ns
خطا	۱۲	۱۴۰۶۹۵/۹	۳/۷۴	۱/۸۵	۰/۴۸۸	۰/۳۷۵

** معنی‌دار شدن در سطح ۱٪، * معنی‌دار شدن در سطح ۵٪، ns معنی‌دار نبودن.

جدول ۴. میانگین عملکرد دانه و صفتهای اندازه‌گیری شده در عملیات خاک‌ورزی و میزان مختلف بقایا

مقاومت به نفوذپذیری خاک (Mpa)			دمای خاک (°C)			ظرفیت نگهداری آب (%)		کلونیزاسیون مایکوریزایی (اسپور) (No./100 gr soil)		عملکرد ماکرو (kg/ha)	تیمارهای آزمایشی	
۲۵ cm	۲۰ cm	۱۵ cm	۲۵ cm	۱۵ cm	۵ cm	سطح خاک	در نقطه پژمردگی دائم	در ظرفیت مزرعه	تخلخل (%)			
۱/۵۸۲ a	۱/۳۲ a	۱/۲۳۹ a	۱۸/۵۵ a	۱۹/۹ a	۲۱/۰۶ a	۲۴/۸۳ a	۸/۱۶ a	۲۰ c	۵۶/۶۸ b	۲۲/۲۲ c	۶۳۷۶/۹ b	شخم متداول
۱/۳۰۷ b	۱/۲۱۷ a	۱/۲۹۴ a	۱۸/۴۸ a	۱۹/۰۹ b	۲۰/۰۲ b	۲۱/۴۴ b	۸/۴۵ a	۲۱/۵۹ a	۶۲/۰۹ a	۷۲/۸۸ a	۶۹۱۲/۲ a	بدون شخم
۱/۳۲۵ b	۱/۲۶۷ a	۱/۲۸۱ a	۱۸/۵۶ a	۱۹/۷۷ a	۲۰/۹۳ a	۲۴/۷۵ a	۸/۴۲ a	۲۰/۵۴ b	۶۱/۰۴ a	۳۳/۶۶ b	۶۴۸۸/۸ b	حداقل شخم
۱/۵۳۲ a	۱/۵ a	۱/۴۶۱ a	۱۸/۶ a	۱۹/۸۱ a	۲۰/۹۴ a	۲۴/۲۷ a	۸/۲۵ a	۲۰/۱۹ b	۵۸/۷۳ b	۳۹/۷۷ c	۶۲۵۵/۲ b	بقایای صفر درصد
۱/۳۵۱ b	۱/۰۹۷ b	۱/۱۴۱ b	۱۸/۵۵ a	۱۹/۴۹ b	۲۰/۶۵ ab	۲۳/۶۹ b	۸/۳۲ a	۲۰/۸۳ ab	۶۰/۲۶ a	۴۲/۷۷ b	۶۵۴۱/۹ b	بقایای ۳۰ درصد
۱/۳۳۱ b	۱/۲۰۷ b	۱/۲۱۲ b	۱۸/۴۱ a	۱۹/۴۶ b	۲۰/۴۳ b	۲۳/۰۵ c	۸/۴۷ a	۲۱/۱۱ a	۶۰/۸۲ a	۴۶/۲۲ a	۶۹۸۰/۸ a	بقایای ۶۰ درصد

میانگین‌های با حروف مشابه در یک ستون (برای خاک‌ورزی و میزان بقایا) در سطح ۵ درصد بر طبق آزمون دانکن معنی‌دار نیستند

دمای سطح خاک

درجه سانتی‌گراد بود که نسبت به حداقل شخم (۲۳/۶۹) درجه سانتی‌گراد (جدول ۵) دمای سطح خاک در روش بدون شخم، شخم حداقل و شخم متداول به ترتیب ۲۱/۴۴، ۲۴/۷۵ و ۲۴/۸۳ به‌دست آمد (جدول ۴). عدم شخم احتمالاً موجب کاهش تبخیر و افزایش ذخیره رطوبت و کاهش فرسایش شده همچنین کاهش تردد هم در بهبود نفوذپذیری خاک مؤثر بوده است. افزایش رطوبت خاک موجب تعدیل درجه حرارت آن و جلوگیری از افزایش آن شده است. دمای سطح خاک در میزان مختلف بقایا دارای تفاوت معنی‌داری شدند به‌طوری‌که کمترین درجه حرارت سطح خاک در میزان بقایای ۶۰ درصد

در روش‌های مختلف خاک‌ورزی باعث بروز تفاوت معنی‌داری در دمای سطح خاک شد (جدول ۵). دمای سطح خاک در روش بدون شخم، شخم حداقل و شخم متداول به ترتیب ۲۱/۴۴، ۲۴/۷۵ و ۲۴/۸۳ به‌دست آمد (جدول ۴). عدم شخم احتمالاً موجب کاهش تبخیر و افزایش ذخیره رطوبت و کاهش فرسایش شده همچنین کاهش تردد هم در بهبود نفوذپذیری خاک مؤثر بوده است. افزایش رطوبت خاک موجب تعدیل درجه حرارت آن و جلوگیری از افزایش آن شده است. دمای سطح خاک در میزان مختلف بقایا دارای تفاوت معنی‌داری شدند به‌طوری‌که کمترین درجه حرارت سطح خاک در میزان بقایای ۶۰ درصد

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس برای صفتهای اندازه‌گیری شده در عملیات خاک‌ورزی و مدیریت بقایا در زمان‌های مختلف

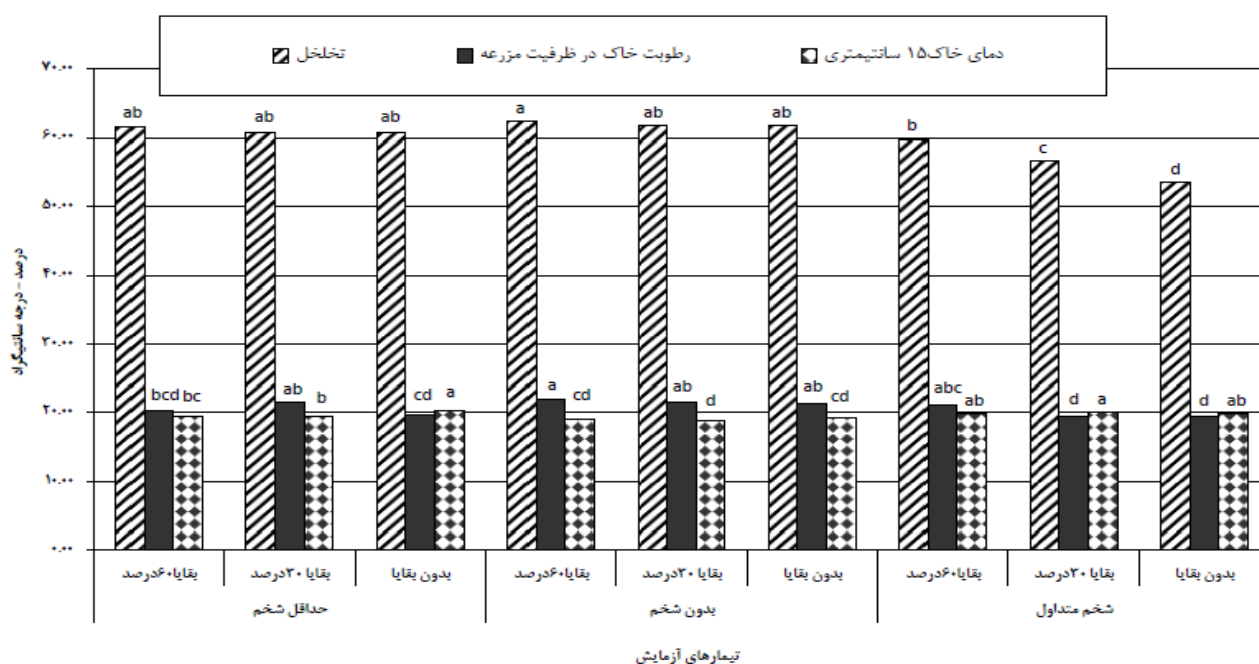
مقاومت به نفوذپذیری خاک			دمای خاک			درجه آزادی	منابع تغییرات
۲۵	۲۰	۱۵	۲۵	۱۵	۵		
۰/۰۴۲ ns	۰/۰۱۹ ns	۰/۰۲ ns	۰/۱۲۱ ns	۰/۱۵۲ ns	۰/۰۱۹ ns	۰/۲۲۶ ns	تکرار
۰/۴۲۴ ns	۰/۰۴۷ ns	۰/۰۱۴ ns	۰/۰۱۷ ns	۳/۴۰۷ **	۵/۷۳ **	۶۷/۲۵ **	خاک‌ورزی
۰/۰۳۱ ns	۰/۰۳۵ ns	۰/۰۸۹ ns	۰/۲۹۳ ns	۰/۲۹۵ ns	۰/۳۷۹ ns	۰/۸۷۲ ns	تکرار* خاک‌ورزی
۰/۲۲ ns	۰/۷۸۲ **	۰/۵۱ **	۰/۱۶۱ ns	۰/۶۷۰ *	۱/۱۸۴ *	۶/۷۲۶ **	میزان بقایا
۰/۱۴۱ ns	۰/۱۲۸ ns	۰/۰۹۷ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۴۲۳ *	۰/۵۷ ns	۰/۶۸۵ ns	خاک‌ورزی * میزان بقایا
۰/۰۵۱ ns	۰/۰۳۵ ns	۰/۰۳۸ ns	۰/۳۴۶ ns	۰/۱۲۵ ns	۰/۱۷۳ ns	۰/۴۸۳ ns	تکرار * خاک‌ورزی * بقایا
۱۱/۰۷ **	۱۰/۱۹ **	۸/۵۳۱ **	۱۷۴/۹۶ **	۲۲۸/۳۷ **	۲۱۰/۸۳ **	۰/۵۶ ns	زمان
۲/۲۹۷ **	۲/۱۵۸ **	۲/۴۱۲ **	۱/۱۰۳ ns	۰/۳۹۲ ns	۰/۰۲۷ ns	۰/۴۲۱ ns	خاک‌ورزی * زمان
۰/۰۸۴ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۸ ns	۰/۱ ns	۰/۲۰۲ ns	۰/۲۶۴ ns	۰/۵۶۴ ns	تکرار * خاک‌ورزی * زمان
۰/۸۶۷ *	۰/۵۹۸ **	۰/۳۰۴ *	۰/۲۵۳ ns	۰/۳۹۵ ns	۰/۴۹۵ ns	۰/۱۴۳ ns	بقایا * زمان
۰/۲۷۷ ns	۰/۲۷۷ *	۰/۲۰۸ *	۱/۶۳۹ *	۰/۳۶ ns	۰/۴۵۸ ns	۱/۲۹۶ *	خاک‌ورزی * بقایا * زمان
۰/۱۲۶	۰/۰۵۲	۰/۰۴۸	۰/۴۴۸	۰/۱۲۲	۰/۴۰۸	۰/۳۲۱	خطا

** معنی‌دار شدن در سطح ۱٪، * معنی‌دار شدن در سطح ۵٪، ns معنی‌دار نبودن.

دمای عمق خاک

روش‌های مختلف خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری را در دمای خاک در عمق‌های خاک نشان دادند (جدول ۵). در عمق‌های ۵ و ۱۵ سانتیمتری خاک، بدون شخم دارای دمای کمتر و معنی‌داری نسبت به شخم حداقل و شخم متداول بود اما در ۲۵ سانتیمتری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). کاهش تعداد عملیات انجام‌شده در مزرعه، زیر و رو نکردن خاک، کاهش فشردگی، بهبود نفوذپذیری و افزایش میزان رطوبت خاک موجب شده که دمای خاک در بدون شخم نسبت به شخم حداقل و شخم متداول کاهش یابد و این تفاوت در دما در عمق بیشتر نیز هرچند کمتر ولی مشاهده می‌شود. میزان مختلف بقایا باعث بروز تفاوت معنی‌داری در دمای اعماق ۵ و ۱۵ سانتیمتری خاک شدند (جدول ۵). کمترین دمای خاک در اعماق ۵ و ۱۵ سانتیمتری در بقایای ۶۰ درصد به دست آمد که به ترتیب ۲۰/۴۳ و ۱۹/۴۶ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۴). حفظ بقایا در روی سطح خاک با کاهش دادن جذب گرمای خورشید، موجب خنک‌تر شدن دمای خاک در اعماق مختلف

شد. وجود بقایا روی سطح خاک مانع تبخیر بیشتر و احتمالاً موجب کاهش فرسایش و کاهش نفوذپذیری خاک شد که میزان رطوبت بیشتری را در خود نگهداری و به تعدیل دمای خاک کمک کرده است. شخم کاهش‌یافته و حفظ بقایا نفوذپذیری خاک تسهیل، ساختار خاک بهبود و میزان آلی افزایش و درجه حرارت خاک تعدیل شد. ساختار خاک بهبود یافته موجب افزایش هوادهی و انتشار آب و مواد غذایی در پروفیل خاک شد و حفظ بقایا نیز باعث افزایش فعالیت میکروبی و محتوای بیومس میکروبی خاک شد (Ceja *et al.*, 2010 b). درجه حرارت خاک، میزان آب خاک، جرم حجمی، تخلخل، نفوذپذیری تحت تأثیر سیستم‌های شخم قرار گرفتند (Sessiz and Gursoy, 2010). درجه حرارت سطح خاک در شخم متداول و بدون بقایا ۶ درجه فارنهایت نسبت به روش بدون شخم با پوشش بقایا گرم‌تر بود (Simmons and Nafziger, 2011). حفظ بقایا روی سطح خاک خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار داد و درجه حرارت اوج خاک را ۴ درجه سانتی‌گراد کاهش داد و آب قابل‌دسترس افزایش یافت (Buerkert *et al.*, 2000).



شکل ۲. میانگین اثرات متقابل عملیات مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایا بر بعضی از صفات

تخلخل

روش‌های مختلف خاک‌ورزی باعث بروز تفاوت معنی‌داری در میزان تخلخل شدند (جدول ۳). میزان تخلخل در بدون شخم ۶۲/۰۹ درصد بود که نسبت به روش شخم متداول (۵۶/۶۸ درصد) ۹/۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴) و هرچند که مابین بدون شخم و شخم حداقل در این خصوص تفاوت

معنی‌داری نبود اما میزان تخلخل در روش بدون شخم نسبت به حداقل شخم بیشتر بود. در روش بدون شخم کاهش تردد و ترافیک ادوات و ماشین‌آلات کشاورزی در مزرعه موجب کاهش فشردگی خاک شده و از تخریب خاکدانه‌ها (کلوخه و یا پودر شدن) ممانعت نموده و فشردگی کمتر امکان فضای بیشتری را برای هوا و آب در خاک ایجاد نموده که افزایش حجم خاک را

کمک کرده است. میزان بقایای متفاوت، اختلاف معنی‌داری را در ظرفیت نگهداری آب در ظرفیت مزرعه موجب شدند (جدول ۳). بقایای ۶۰ درصد با ۲۱/۱۱ درصد بیشترین میزان را به خود اختصاص داد (جدول ۴). افزایش میزان بقایای گیاهی بیشتر و همچنین ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و جانداران باعث افزایش میزان ماده آلی خاک شد که در افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک مؤثر بوده است. همچنین بقایای بیشتر موجب کاهش تبخیر از سطح خاک، کاهش دمای خاک و کاهش روان آب و افزایش نفوذپذیری شده است. اثرات متقابل خاک‌ورزی و میزان بقایا بر ظرفیت نگهداری آب در ظرفیت مزرعه معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین میزان آن در روش بدون شخم با میزان بقایای ۶۰ درصد با ۲۱/۹۷ درصد به-دست آمد (شکل ۲). شخم فشرده تجزیه بقایا را سریع و ماده آلی خاک را کاهش داد و اثرات درازمدت منفی بر ساختار خاک داشت که منجر به کاهش نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب خاک شد (Reeves *et al.*, 1992). فشردگی خاک ناشی از چرخ‌های تراکتور و ترافیک ادوات و دنباله‌بندها میزان آب خاک را در ظرفیت مزرعه کاهش داد (Soane, 1990). پوشش بقایا میزان ذخیره آب خاک را، ماده آلی خاک، چرخش ازت را افزایش و خاک را در برابر فرسایش آبی و بادی محافظت کرد (Lopez *et al.*, 2003). نگهداری بقایا روی سطح خاک موجب کاهش فرسایش و اثرات مثبتی بر کیفیت خاک و حفظ رطوبت داشت (Sessiz and Gursoy, 2010). در مناطق خشک و نیمه‌خشک حدود ۴۰ تا ۷۰ درصد از اتلاف آب از سطح خاک در اثر تبخیر می‌باشد که می‌توان به‌وسیله مواد پوشاننده خاک از آن جلوگیری نمود (Jalota, 1993). برخی محققین بیشترین سطوح رطوبت خاک را در خاک‌پوش‌های کاه و کلش و برگ در مقایسه با خاک عاری از پوشش و پلی‌اتیلن شفاف مشاهده نمودند (Ashworth and Harrison, 1983). در آزمایشی پس از شش سال ظرفیت نگهداری آب، کربن آلی، بیومس میکروبی خاک و کل ازت در سیستم بدون شخم با حفظ بقایا در مقایسه با حذف بقایا، مساوی و یابیش از ۱/۱ برابر بود. انتشار CO₂ و N₂O در سیستم بدون شخم با حفظ بقایا در مقایسه با سیستم شخم متداول کاهش داشت اما تولید NO₃⁻ افزایش یافت (Patino-Zuniga *et al.*, 2009). بدون شخم با حفظ بقایا بالاترین میزان رطوبت و شخم متداول میزان رطوبت متوسطی را دارا بودند. نتایج نشان داد که مخلوط کردن بقایا با خاک در شخم متداول در مقایسه با حفظ بقایا در بدون شخم عملیاتی است که تأثیر کمتری بر حفاظت خاک دارد (Govaerts *et al.*, 2009). روش‌های مختلف خاک‌ورزی باعث بروز اختلاف

به دنبال داشته است و با افزایش حجم خاک، جرم حجمی خاک کاهش یافته است. میزان بقایای مختلف تفاوت معنی‌داری را در میزان تخلخل خاک نشان دادند (جدول ۳). میزان تخلخل در بقایای ۶۰، ۳۰ و ۰ درصد به ترتیب ۶۰/۸۲، ۶۰/۲۶ و ۵۸/۷۳ درصد به‌دست آمد (جدول ۴). افزایش میزان بقایا در روی سطح خاک موجب بهبود وضعیت ماده آلی خاک شد ضمن اینکه تعدیل دمای خاک و حفظ رطوبت شرایط را برای فعالیت‌های بیولوژیکی فراهم نموده که افزایش فعالیت‌های جانداران در خاک علاوه بر افزایش تولید ماده آلی زنده و غیرزنده، بر فعالیت‌های فیزیکی و افزایش خلل و فرج خاک کمک کرده است. اثرات متقابل خاک‌ورزی و میزان بقایا بر میزان تخلخل معنی‌دار شد و بیشترین و کمترین میزان تخلخل در بدون شخم با میزان بقایای ۶۰ درصد و شخم متداول با بدون بقایا به ترتیب ۶۲/۴۸ و ۵۳/۵۹ درصد بود (شکل ۲). فشردگی خاک ناشی از تردد چرخ‌های تراکتور منجر به کاهش تخلخل و کاهش کیفیت ساختار خاک شد (Soane, 1990). بررسی روش‌های مختلف خاک‌ورزی و بقایا نشان داد میزان تخلخل خاک در بدون شخم ۵۵/۵ درصد به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از شخم حداقل و شخم متداول بود (Sessiz and Gursoy, 2010). شخم برگردان عامل تنزل ساختار خاک و خاکدانه‌ها و کاهش مواد آلی خاک بود. شخم متداول در مقایسه با بدون شخم تخلخل کل، تخلخل ریز را کاهش داد اما تخلخل درشت افزایش داشت (Kettler *et al.*, 2000). سیستم بدون شخم با حفظ بقایا در مقایسه با سیستم شخم متداول باعث هم بهبود وضعیت خاکدانه‌ها و هم افزایش ثبات آن‌ها گردید و خصوصیات فیزیکی خاک نیز بهتر شد (Govaerts *et al.*, 2009). در کشاورزی حفاظتی جمعیت کرم‌های خاکی، کربن کل و پایداری خاکدانه‌ها نسبت به شخم متداول بالاتر بود. در آزمایشی پنج‌ساله شاخص‌های کیفیت خاک ارتباط مثبتی با حفظ بقایا و کاهش شخم نشان داد اما اثر تناوب روی این موضوع بیشتر بود (Thierfelder and Wall, 2010).

ظرفیت نگهداری آب

در روش‌های مختلف خاک‌ورزی در ظرفیت نگهداری آب در ظرفیت مزرعه تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۳). بیشترین آن در بدون شخم با ۲۱/۵۹ درصد بود (جدول ۴). عدم شخم و به هم زدن خاک موجب کاهش تبخیر و حفظ رطوبت بیشتر در خاک شده است. کاهش تردد و ترافیک کم ماشین‌آلات در مزرعه نیز باعث کاهش فشردگی خاک و افزایش خلل و فرج و افزایش ذخیره‌سازی رطوبت شده است. کاهش فشردگی به کاهش روان آب و نفوذ بیشتر آب به درون خاک نیز

معنی‌داری در ظرفیت نگهداری آب در نقطه پژمردگی دائم نشدند (جدول ۳). همچنین میزان بقایای مختلف و اثرات متقابل خاک‌ورزی و میزان بقایا اختلاف معنی‌داری در ظرفیت نگهداری آب در نقطه پژمردگی دائم نشان ندادند (جدول ۳).

مقاومت به نفوذپذیری خاک

روش‌های مختلف خاک‌ورزی باعث بروز تفاوت معنی‌داری در میزان مقاومت به نفوذپذیری خاک نشدند (جدول ۵). شخم مکرر و تردد ادوات و ماشین‌آلات در طی سال‌های متوالی باعث افزایش فشردگی و نفوذپذیری کمتر خاک می‌شود اما برای کاهش فشردگی نیاز به زمان بیشتری وجود دارد هر چند مقایسه میانگین‌ها در عمق ۲۵ سانتیمتری تفاوت معنی‌داری را نشان دادند و کمترین مقاومت به نفوذپذیری مربوط به بدون شخم بود (جدول ۴). میزان بقایای مختلف تفاوت معنی‌داری را در میزان مقاومت به نفوذپذیری خاک در عمق‌های ۱۵ و ۲۰ سانتیمتری نشان دادند (جدول ۵). مابین میزان بقایای ۶۰ و ۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما هر دو نسبت به بدون بقایا از فشردگی کمتری برخوردار بودند (جدول ۴). حفظ میزان بقایای بیشتر از طریق تعادل دمایی بهتر در خاک و ذخیره رطوبت بیشتر و ثبات محیط خاک منجر به ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کرم‌های خاکی و سایر جانداران شده است و تولید ماده آلی بیشتر در خاک و ایجاد خلل و فرج بیشتر موجب افزایش نفوذپذیری خاک شده است. همچنین در چنین شرایطی فعالیت ریشه‌ها نیز بهتر شده که نفوذپذیری خاک را افزایش داده است. اثرات متقابل خاک‌ورزی و میزان بقایا بر میزان مقاومت به نفوذپذیری خاک معنی‌دار نشد (جدول ۵). افزایش ماده آلی خاک ممکن است فشردگی خاک را توسط ارتقاء مقاومت به تغییر شکل و یا توسط افزایش انعطاف‌پذیری خاک، کاهش دهد (Entry et al., 1996). نفوذپذیری خاک نسبت به چگالی ظاهری به خاک‌ورزی حساس‌تر می‌باشد (Fabrizzi et al., 2005). آزمایش طولانی‌مدت روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایا نشان داد مابین سیستم‌های بدون شخم و شخم رایج تفاوت معنی‌داری در میزان فشردگی خاک وجود ندارد، اما مقاومت به نفوذپذیری خاک در میزان بقایای بیشتر تفاوت معنی‌داری داشت و در بقایای بیشتر، کمتر بود (Fuentes et al., 2009). شخم کاهش‌یافته توأم با حفظ بقایا روی سطح خاک منجر به افزایش نفوذپذیری آب در خاک شد (Lichter et al., 2008). میزان نفوذپذیری، جمعیت کرم‌های خاکی، کربن کل و پایداری خاکدانه‌ها در شخم حفاظتی به‌طور معنی‌داری نسبت به شخم

متداول بیشتر بود (Thierfelder and Wall, 2010).

عملکرد دانه

عملکرد دانه تولیدی در روش‌های مختلف خاک‌ورزی معنی‌دار شد (جدول ۳). روش بدون شخم دارای بیشترین میزان عملکرد (۶۹۱۲/۲ کیلوگرم در هکتار) بود که به میزان ۶/۵ درصد بیشتر از عملکرد در روش حداقل شخم (۶۴۸۸/۸ کیلوگرم در هکتار) و ۸/۴ درصد بیش از شخم متداول (۶۳۷۶/۹ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۴). با توجه به کاهش هزینه‌های تولید شامل آماده‌سازی، انرژی و غیره در روش بدون شخم، در صورت عدم افزایش تولید نیز، این روش می‌تواند توجه داشته باشد. به دلیل نیاز به زمان برای احیاء و بهبود کیفیت خاک، ماده آلی خاک، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، تخلخل و...، عدم افزایش زیاد در عملکرد در سال‌های اولیه، منطقی به نظر می‌رسد؛ و حتی در صورت مساوی بودن عملکرد نیز بدون شخم دارای مزیت نسبی بیشتری می‌باشد. در روش بدون شخم کاهش تردد وسایل و ماشین‌آلات، کاهش فشردگی، افزایش تخلخل و همچنین عدم به‌هم‌زدن خاک و کاهش پودر شدن خاک و کاهش سله بستن و ذخیره آب بیشتر موجب تسریع در جوانه‌زنی، سبز، استقرار گیاه و شاخص سطح برگ بیشتر شد. همچنین این روش شرایط مناسب‌تری را برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها و جانداران خاکی فراهم نمود و حفظ خلل و فرج ایجادشده توسط کرم‌های خاکی علاوه بر ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها و فعالیت‌های بیولوژیکی، باعث توسعه ریشه‌ها نیز شد و افزایش فعالیت بخش‌های هوایی (بالای خاک) و زیرزمینی (زیر خاک) گیاه موجب استفاده بهتر از منابع تولید توسط گیاه در روش بدون شخم و افزایش عملکرد شد. تیمارهای مختلف میزان بقایا نیز باعث بروز اثرات معنی‌داری در عملکرد دانه شدند (جدول ۳). بیشترین میزان عملکرد مربوط به تیمار با بقایای ۶۰ درصد به مقدار ۶۹۸۰/۸ کیلوگرم بود (جدول ۴). حفظ بقایا در سطح خاک موجب تعدیل درجه حرارت خاک، دمای خنک‌تر خاک در تابستان و گرم‌تر در زمستان شد. همچنین موجب حفظ رطوبت و مانع تبخیر از سطح خاک و آب قابل‌دسترس بیشتر برای گیاه شد و باعث تسریع در جوانه‌زنی و استقرار و رشد سریع‌تر گردید. تخلخل و تهویه مطلوب‌تر خاک و رشد بهتر ریشه‌ها و حفظ بقایا شرایط را برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کرم‌های خاکی فراهم نمود و موجب بهبود وضعیت مواد آلی شد. وجود بقایا مانع برخورد قطرات باران به ذرات خاک و عدم پراکنده شدن آن‌ها شد. نفوذپذیری خاک افزایش و فرسایش کاهش یافت. وجود بقایا مانع تغییرات شدید دمایی در سطح خاک شد و از خسارت

نتیجه‌گیری کلی

پیشنهاد این مطالعه کاربرد خاک‌ورزی حفاظتی همراه با حفظ بقایای بیشتر در روی سطح خاک می‌باشد که موجب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، شرایط مناسب رشدی گیاه و عملکرد گندم می‌گردد. نتایج نشان داد که کاهش خاک‌ورزی و حفظ بقایای بیشتر روی سطح خاک موجب بهبود فرآیندهای بیولوژیکی طبیعی و ایجاد شرایط مناسب برای توسعه و افزایش جمعیت میکروبی می‌شود. افزایش خاک‌ورزی و حذف بقایا موجب ازدیاد فشردگی و کاهش نفوذپذیری خاک خواهد شد. کاهش خاک‌ورزی و بخصوص بدون شخم توأم با حفظ بقایای بیشتر در روی سطح خاک با رعایت تناوب می‌تواند علاوه بر کاهش تردد و هزینه‌های تولید با بهبود وضعیت رطوبتی و دمایی خاک، آب قابل‌دسترس بیشتری برای گیاه تأمین و با تعدیل دمای خاک، موجب شرایط مناسب‌تر رشدی و استفاده بهینه از منابع را برای گیاه فراهم نماید. با توجه به کاهش ریزش‌های آسمانی، کمبود آب، تنش‌های حرارتی و رطوبتی و کشاورزی فشرده رایج و به‌منظور حفاظت از آب و احیاء خاک به‌عنوان منابعی مهم، خاک‌ورزی حفاظتی توأم با مدیریت بقایا راهی برای حفاظت از منابع تولید و پایداری می‌باشد.

REFERENCES

- Alvear, M., Rosas, A., Rouanet, J. L. and Borie, F. (2005). Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from Southern Chile. *Journal of Soil Tillage Research*, 82, 195–202.
- Ashworth, S. and Harrison, H. (1983). Evaluation of mulches for use in the home garden. *Journal of Horticultural Science*, 18(2), 180-182.
- Baker, C. J. and Saxton, K. E. (2007). *No-tillage seeding in conversation Agriculture* 2nd edu. From <http://www.fao.org/docrep/012/al298e/al298e.htm>
- Blake, G. R. and Hartage, K. H. (1986). Bulk density in methods of soil analysis part 1 Ed. A Klute. Pp 364-366. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, USA.
- Buerkert, A., Bationo, A. and Dossa, K. (2000). Mechanisms of residue mulch-induced cereal growth increases in west Africa. *Journal of Soil Science Society of America*, 64, 347-354.
- Ceja-Navarro, J. A., Rivera, F. N., Patiño-Zúñiga, L., Govaerts, B., Marsch, R., Vila-Sanjurjo, A. and Dendooven, L. (2010 a). Molecular characterization of soil bacterial communities in contrasting zero tillage systems. *Journal of Plant Soil*, 329, 127-137.
- Ceja-Navarro, J. A., Rivera, F. N., Patiño-Zúñiga, L., Vila-Sanjurjo, A., Crossa, J., Govaerts, B. and Dendooven, L. (2010 b). Phylogenetic and multivariate analyses to determine the effects of

سرمازدگی و تنش سرمایی کاست. اثرات متقابل خاک‌ورزی و بقایا بر عملکرد معنی‌دار نشد (جدول ۳). بدون شخم توأم با حفظ بقایا، بالاترین عملکرد، بهترین کیفیت خاک و حداقل مقدار پوسیدگی ریشه و کمترین تعداد نماتد را دارا بود (Ceja *et al.*, 2010 a). عملکرد در روش بدون شخم بیشتر از شخم متداول بود که ناشی از بهبود کیفیت خاک و افزایش راندمان مصرف آب گیاه بود (Samarajeewa *et al.*, 2006). عملیات بدون خاک‌ورزی در مقایسه با عملیات متداول طی یک دوره چندساله منجر به افزایش عملکرد گندم گردید (Tarkalsona *et al.*, 2006). در آزمایشی متوسط عملکرد دوازده‌ساله در بدون شخم با حفظ بقایا نسبت به بدون شخم با برداشت کامل بقایا و نسبت به شخم معمول با بقایا و بدون بقایا بالاتر بود (Verhulst *et al.*, 2011). در آزمایشی عملکرد سویا در بدون شخم پایین‌تر از سیستم شخم متداول اعلام شد که دلایل آن را کاهش درصد سبز و استقرار گیاه دانستند (Philbrook *et al.*, 1991). در بررسی روش‌های خاک‌ورزی اعلام شد کشت بدون شخم در سال‌های اول و دوم نسبت به حداقل شخم از عملکرد کمتری برخوردار بود (Yalcin and Cakir, 2006). در آزمایشی چهارده‌ساله، بدون شخم و حفظ بقایا بالاترین کیفیت خاک و عملکرد را دارا بود (Fuentes *et al.*, 2009).

different tillage and residue management practices on soil bacterial communities. *Journal of Applied and Environmental microbiology*, 76, 3685–3691.

- Domsch, K.H., Jagnow, G. and Anderson, T. H. (1983). An ecological concept for the assessment of side effects of agrochemical on soil microorganisms. *Journal of Residue Rev*, 86, 65–105.
- Entry, J. A., Reeves, D. W., Backman, C. B. and Raper, R. L. (1996). Influence of wheel traffic and tillage on microbial biomass, residue decomposition and extractable nutrients in a Coastal Plain Soil. *Journal of Plant and Soil*, 180, 129-137.
- Halvorson, A.D., Peterson, G.A. and Reule, C. A. (2002). Tillage system and crop rotation effects on dryland crop yields and soil carbon in the central great plains. *Agronomy Journal*, 94, 1429–1436.
- Fabrizzi, K. P., Gortia, F. O., Costa, J. L. and Picone, L. I. (2005). Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in southern Pampas of Argentina. *Journal of Soil & Tillage Research*, 81, 57-69.
- Fuentes, M., Govaerts, B., De Len, F., Hidalgo, C., Dendooven, L., Sayre, K. D. and Etchevers, J. (2009). Fourteen years of applying zero and

- conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *Journal of Europ. J. Agronomy*, 30, 228–237.
- Govaerts, B., Sayre, K. D., Goudeseune, B., Corte, P. D., Lichter, K., Dendooven, L. and Deckers, J. (2009). Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Journal of Soil and Tillage Research*, 103, 222–230.
- Hobbs, P. R., Sayre, K. and Gupta, R. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical transactions of the royal society*. 543-555. from <http://rstb.royalsocietypublishing.org/subscription>
- Jalota, S. K. (1993). Evaporation through a soil mulch in relation to characteristics and evaporation. *Australian Journal of soil Research*, 31(2), 131-136.
- Jeffries, P., Gianinazi, S., Perotto, S., Turnau, K. and Barea, J. M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Journal of Biol Fertil Soils*, 37, 1–16.
- Kabir, Z., O'Halloran, I. P., Widden, P. and Hamel, C. (1998). Vertical distribution of arbuscular mycorrhizal fungi under corn (*Zea mays* L.) in no-till and conventional tillage systems, *Journal of Mycorrhiza*, 8, 53–55.
- Kettler, T. A., Lyon, D. J., Doran, J.W., Powers, W. L. and Strou, w. w. (2000). Soil Quality Assessment after Weed-Control Tillage in a No-Till Wheat-Fallow Cropping System, *Journal of Soil Science Society of America*, 64, 355-364.
- Kling, M. and Jakobsen, I. (1998). Arbuscular mycorrhiza in soil quality assessment, *Journal of Ambio*, 27, 29–34.
- Le Roux, X., Poly, F., Currey, P., Commeaux, C., Hai, B., Nicol, G.W., Prosser, J. I., Schloter, M., Attard, E., and Klumpp, K. (2008). Effects of aboveground grazing on coupling among nitrifier activity, abundance and community structure. *Journal of ISME J*, 2, 221–232.
- Lichter, K., Govaerts, B., Six, J., Sayre, K. D., Deckers, J. and Dendooven, L. (2008). Aggregation and C and N contents of soil organic matter fractions in a permanent raised-bed planting system in the Highlands of Central Mexico, *Journal of Plant Soil*, 305, 237–252
- Logsdon, S. D. and Karlen, D. L. (2004). Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. *Journal of Soil & Tillage Research*, 78, 143-149.
- Lopez, M. V., Moret, D., Gracia, R. and Arrue, J. L. (2003). Tillage effects on barley residue cover during follow in semiarid Aragon. *Journal of Soil & Tillage Research*, 72, 53-64.
- Mathew, R., Feng, Y., Githinji, L., Ankumah, R. and Balkcom, K. (2012). Impact of no-tillage and conventional tillage systems on soil microbial communities. *Journal of Applied and Environmental Soil Science*. Article ID 548620, 10 pages.
- McGonigle, T. P., Evans, D. G. and Miller, M. H. (1990). Effect of degree of soil disturbance on mycorrhizal colonization and phosphorus absorption by maize in growth chamber and field experiments. *Journal of New Phytol*, 116, 629–636.
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mader, P., Boller, T. and Wiemken, A. (2003). Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agro-ecosystems of central Europe, *Journal of Appl Environ Microbiol*, 69, 2816–2824.
- Patiño-Zúñiga, L., Ceja-Navarro, J. A., Govaerts, B., Luna-Guido, M., Sayre, K. D. and Dendooven, L. (2009). The effect of different tillage and residue management practices on soil characteristics, inorganic N dynamics and emissions of N₂O, CO₂ and CH₄ in the central highlands of Mexico: a laboratory study. *Journal of Plant Soil*, 314, 231–241.
- Philbrook, B. D., Oplinger, E. S. and Freed, B. E. (1991). Solid-seeded soybean cultivar response in three tillage systems. *Journal of Production Agriculture*, 4, 86–91.
- Reeves, D. W., Rogers H. H., Droppers, J. A., Prior, S. A. and Powell, J. B. (1992). Wheel-Traffic effects on corn as influenced by tillage system, *Journal of Soil tillage Research*, 23, 177-192.
- Samarajeewa, K. B. D. P., Horiuchi, T. and Oba, S. (2006). Finger millet (*Eleusine corocana* L. Gaertn) as a cover crop on weed control, growth and yield of soybean under different tillage systems. *Journal of Soil & Tillage Research*, 90, 93-99.
- Sessiz, A., Alp, A. and GURSOY, S. (2010). Conservation and conventional tillage methods on selected soil physical properties and corn (*Zea mays* L.) yield and quality under croppin system in turkey, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16 (5), 597-608.
- Sharma, S. K., Ramesh, A., Sharma, M. P., Joshi, O. P., Govaerts, B., Steenwerth, K. L. and Karlen, D. L. (2010). Microbial Community Structure and Diversity as Indicators for Evaluating Soil Quality, Springer Science Business Media B.V. 317-358
- Schalamuk, S., Velazquez, S., Chidichimo, H. and Cabello, M. (2006). Fungal spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with spring wheat: effects of tillage, *Journal of Mycologia*, 98(1), 16–22.
- Simmons, F. W. and Nafziger, E. D. (2011). Soil management and tillage. *Illinois Agronomy Handbook*. p. 133-142. [http:// extension. cropsci. illinois. edu/.../chapter10.pdf](http://extension.cropsci.illinois.edu/.../chapter10.pdf) .
- Soane, B. D. (1990). The role of organic mater in soil compactability: a review of some practical aspects. *Journal of Soil Tillage Research*, 16, 179-201.

- Tarkalsona, D. D., Hergertb, G. W. and Cassman, K. G. (2006). Long-term effects of tillage on soil chemical properties and grain yields of a dryland winter wheat sorghum/corn-fallow rotation in the great plains. *Journal of Agronomy Journal*, 98, 26-33.
- Thierfelder, C. and Wall, P. C. (2010). Rotation in conservation agriculture systems of zambia: Effects On Soil Quality And Water Relations. *Journal of Experimental Agriculture*, 46 (3), 309-325.
- Verhulst, N., Govaerts, B., Sayre, K. D., Sonder, K., Romero-Perezgrovasa, R., Mezzalama, M. and Dendooven, L. (2012). Conservation agriculture as a means to mitigate and adapt to climate change, a case study from Mexico. *Climate Change Mitigation and Agriculture*. Earthscan, Oxon, ISBN: 9781849713924, pp. 287-300.
- Verhulst, N., Govaerts, B., Nelissen, V., Sayre, K. D., Crossa, J., Raes, D. and Deckers, J. (2011). The effect of tillage, crop rotation and residue management on maize and wheat growth and development evaluated with an optical sensor. *Journal of Field Crops Research*, 120, 58-67.
- Wilkins, D. E., Simens, M. C. and Albrecht, S. L. (2002). Changes in soil physical characteristics during transition from intensive tillage to direct seeding. *Journal of Transactions of the ASAE*, 45(4), 877-880.
- Wood, C. W. and Edwards, J. H. (1992). Agroecosystem management effects on soil carbon and nitrogen. *Journal of Agric Ecosys. Environ*, 39, 123-138.
- Yalcin, H. and Cakir, E. (2006). Tillage effects and enery efficienciens of subsoiling and direct seeding in light soil on yield of second crop corn for silage in western Turkey. *Journal of Soil & Tillage Research*, 90, 250-255.