

تأثیر روش های مختلف خاکورزی در تناوب های گندم- پنبه و گندم- کنجد بر میزان ترسیب کربن در خاک

محمد جواد روستا^{۱*}، صادق افضلی نیا^۲ و علی داد کرمی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۹)

چکیده

با توجه به مزایای مختلف کاربرد روش های خاکورزی حفاظتی در اراضی کشاورزی از جمله کاهش اثرات تغییر اقلیم از طریق کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن به جو، ناشی از ترسیب کربن در خاک، این پژوهش با دو تناوب گندم- پنبه و گندم- کنجد در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بختاجرد شهرستان داراب (جنوب شرقی استان فارس) با دارای اقلیم گرم و خشک، در یک خاک لوم به مدت چهار سال با هدف بررسی و مقایسه میزان ترسیب کربن در روش های مختلف خاکورزی حفاظتی با روش مرسوم، انجام شد. نتایج نشان داد در تناوب گندم- پنبه، بیشترین و کمترین مقدار کل ترسیب کربن در عمق ۰-۲۰ سانتی متری خاک با میانگین ۱۷/۱۶۰ و ۱۳/۸۱۰ تن در هکتار به ترتیب با کاربرد روش بدون خاکورزی و خاکورزی مرسوم به دست آمد. بنابراین، کشت مستقیم گندم و پنبه باعث شد مقدار کل ترسیب کربن نسبت به روش خاکورزی مرسوم ۲۴/۲۶ درصد افزایش یابد که ارزش زیست محیطی مقدار افزایش ترسیب کربن در این عمق نسبت به روش کشت مرسوم معادل ۱۰۳/۲۷۴ میلیون ریال است. در تناوب گندم- کنجد، بیشترین و کمترین مقدار کل ترسیب کربن با میانگین ۲۵/۸۵۰ و ۱۲/۵۰۵ تن در هکتار به ترتیب در روش بدون خاکورزی و خاکورزی مرسوم حاصل شد. بنابراین، کشت مستقیم گندم و کنجد مقدار کل ترسیب کربن در عمق ۰-۲۰ سانتی متری خاک را نسبت به روش خاکورزی مرسوم بیش از ۱۰۰ درصد (۱/۰۷ برابر) افزایش داد که ارزش زیست محیطی آن نسبت به روش کشت مرسوم معادل ۴۱۲ میلیون ریال محاسبه شد. در تناوب گندم- پنبه و گندم- کنجد در شرایط مشابه، روش بدون خاکورزی می تواند جایگزین روش خاکورزی مرسوم شود.

واژه های کلیدی: استان فارس، ترسیب کربن، تناوب زراعی، خاکورزی حفاظتی

- ۱- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
 - ۲- بخش تحقیقات فنی مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
 - ۳- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
- *: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mjrousta@yahoo.com

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو که مهم‌ترین آنها گاز دی‌اکسید کربن است، به‌عنوان عامل اصلی افزایش گرمایش جهانی و تغییر اقلیم شناخته شده است. اگر روند تغییر اقلیم متوقف نشود، افزایش متوسط دمای کره زمین، تغییر الگوی بارش و افزایش حوادثی مانند خشکسالی، سیل و بالا آمدن سطح آب اقیانوس‌ها را به دنبال دارد. ماده آلی خاک یک جزء کلیدی همه اکوسیستم‌های خشکی است و هر گونه تغییر در ترکیب و فراوانی آن اثرات مهمی بر بسیاری از فرایندهای موجود در سیستم دارد (۳). تغییر کاربری، تک‌کشتی و خاکورزی مداوم از عوامل کاهش دهنده مقدار کربن آلی خاک هستند (۱۴). عملیاتی مانند استفاده از کود نیتروژن، اصلاح کننده‌های آلی، مخلوط کردن باقیمانده محصول با خاک و تناوب زراعی، مقدار مواد آلی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۳). بیشنگ و همکاران (۴)، شرایط خاکورزی کم و بدون خاکورزی را به دلیل نقشی که در افزایش خاکدانه‌سازی و ترسیب کربن در خاک دارند، به‌عنوان یک ابزار مدیریت کشاورزی در خاک‌های خشک توصیه می‌کنند.

مواد آلی خاک به‌دلیل تأثیر مثبت در نگهداری آب، ساختمان خاک، فعالیت زیستی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک اهمیت زیادی در خاک دارد. مواد آلی خاک بزرگ‌ترین منبع ذخیره کربن در خشکی‌های زمین هستند (۲۶). مواد آلی خاک می‌تواند به‌عنوان منبع تولید یا محل ذخیره کربن موجود در جو عمل کند (۱۲). خاکورزی حفاظتی، به‌خصوص بدون خاکورزی، توانایی خاک را برای ذخیره (نگهداری) کربن افزایش می‌دهد و همزمان خاک را غنی ساخته و جو زمین را محافظت می‌کند. خاکورزی قابلیت استفاده اکسیژن و در نتیجه سرعت تجزیه میکروبی مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد. با تجزیه مواد آلی، مقدار زیادی دی‌اکسید کربن وارد اتمسفر می‌شود. برآورد شده است که افزایش دما به مقدار ۳ درجه سانتی‌گراد، آزاد شدن گاز دی‌اکسید کربن را به مقدار ۸ درصد افزایش می‌دهد (۲۹).

عملیات مناسب کشاورزی شامل روش‌های کم خاکورزی یا بدون خاکورزی است که باعث کاهش تلفات مواد آلی و افزایش ذخیره آن در خاک می‌شود (۲، ۵ و ۶). فرایند تجزیه مواد آلی در روش‌های بدون خاکورزی، در ابتدا به‌وسیله قارچ‌ها و در مراحل بعدی به‌وسیله بندپایان کوچک تغذیه کننده از قارچ‌ها، نماتدها و کرم‌های خاکی در زنجیره غذایی کنترل می‌شود (۱۱). جوامع میکروبی با جمعیت قارچی غالب در روش‌های بدون خاکورزی، مواد آلی بیشتری را برای دوره‌های طولانی‌تر، ذخیره می‌کنند و این امر به پایدار ماندن بیشتر مقادیر مواد آلی منجر می‌شود. رشته‌های قارچی به تشکیل خاکدانه‌ها که از اتصال ذرات ریز خاک به یکدیگر به‌وجود می‌آیند، کمک می‌کند. این خاکدانه‌ها به بهبود ساختمان خاک و افزایش نگهداری کربن در خاک کمک می‌کنند. همچنین، پلی ساکاریدهای خارج سلولی قارچ‌ها نیز در تشکیل خاکدانه‌ها مهم هستند. خاکدانه‌ها، ترکیب مناسب‌تری از هوا و آب را برای رشد گیاه در خاک فراهم می‌کنند.

مورینو و همکاران (۲۱)، بیشترین تغییرات کربن را در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در بین کاربری‌های مختلف گزارش کردند. پاتو و همکاران (۲۴)، با بررسی ترسیب کربن و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف، میزان ذخیره کربن در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری خاک را در کاربری‌های بکر، حفاظتی، بهره‌برداری و باغی به ترتیب ۹۰/۹۶، ۸۲/۸۵ و ۷۸/۲۶ و ۳۴/۷۵ تن در هکتار گزارش کردند و نتیجه گرفتند که درصد کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و درصد تخلخل خاک بیشترین تأثیر را در مقدار ترسیب کربن دارند. مک کانکی و همکاران (۱۸) گزارش کردند میزان ذخیره کربن در خاک‌های بدون شخم در مقایسه با خاک‌های شخم خورده به مقدار ۵۱۲-۶۷ کیلوگرم در هکتار بالاتر است. از راهکارهای بوم‌شناختی مؤثر در کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در جو و افزایش آن به‌صورت مواد آلی در خاک، می‌توان به روش‌های بدون خاکورزی (۱۰ و ۱۷)، کودهای آلی، تناوب زراعی و کشت مخلوط (۹) اشاره کرد. بنابراین، از آنجا که

شد. به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع آزمایش، دو نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شدند (جدول‌های ۱ و ۲).

هر دو تناوب به‌صورت دو آزمایش جداگانه در دو مزرعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار در چهار تکرار اجرا شد. تیمارها در تناوب زراعی گندم- پنبه عبارت بودند از: ۱- کم خاکورزی (T₁)، ۲- کشت مستقیم گندم و پنبه به‌مدت چهار سال (بدون خاکورزی) (T₂)، ۳- کشت مستقیم گندم در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم پنبه به‌مدت چهار سال (T₃)، ۴- کشت مستقیم پنبه در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم گندم به‌مدت چهار سال (T₄)، ۵- خاکورزی مرسوم (T₅).

تیمارها در تناوب زراعی گندم- کنجد عبارت بودند از: ۱- کم خاکورزی (C₁)، ۲- کشت مستقیم گندم و کنجد به‌مدت چهار سال (C₂)، ۳- کشت مستقیم گندم در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم کنجد به‌مدت چهار سال (C₃)، ۴- کشت مستقیم کنجد در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم گندم به‌مدت چهار سال (C₄)، ۵- خاکورزی مرسوم (C₅).

تیمارهای سه و چهار، برای بررسی اثر تناوب خاکورزی یعنی قطع روند کشت مستقیم توسط خاکورزی مرسوم در یک فصل زراعی اجرا شد. در روش کشت مستقیم (بدون خاکورزی) قبل از کشت، هیچ‌گونه عملیات خاکورزی انجام نشد و با یک‌بار حرکت خطی‌کار، کشت مستقیم در مزرعه انجام گرفت. در روش کم خاکورزی، از یک دستگاه خاکورز مرکب استفاده شد و عملیات خاکورزی در یک مرحله انجام گرفت و سپس برای کشت بذر از کارنده استفاده شد. در روش مرسوم، خاکورزی به‌وسیله گاواهن برگردان‌دار و دیسک انجام شد و بذر با استفاده از کارنده کشت شد.

زیست‌توده گیاهی در ترسیب کربن و کاهش غلظت این گاز نقش مؤثری دارد؛ بنابراین هر گونه اقدامی که باعث افزایش پوشش گیاهی شود، به‌طور غیرمستقیم در بهبود ترسیب کربن تأثیرگذار خواهد بود. خرم‌دَل و همکاران (۱۵) با ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن مزارع کلزا در استان خراسان رضوی، میانگین ترسیب کربن خاک مزارع کلزا را ۳/۴۶ تن در هکتار محاسبه کردند. اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک، سبب افزایش ۴۸ و ۶۹ درصدی ترسیب کربن در سال‌های اول و دوم نسبت به شرایط عدم وجود بقایا شد (۲۰). علیجانی و همکاران (۱)، با بررسی تأثیر نگهداری بقایای ذرت و کاربرد کود اوره به‌مدت دو سال، گزارش کردند که با افزایش حجم بقایا، میزان نیتروژن و کربن خاک افزایش معنی‌داری نشان داد. باتجس و سامبروک (۳) حد آستانه ۳۰ تن در هکتار را برای جداسازی خاک‌های دارای کمبود کربن آلی از خاک‌های غنی از کربن آلی در نظر گرفتند. از آنجا که در بیش از ۶۰ درصد خاک‌های زیر کشت در ایران، میزان کربن آلی کمتر از ۱ درصد و در بیشتر خاک‌ها کمتر از ۰/۵ درصد است (۲۵)، استفاده از روش‌های مختلف خاکورزی حفاظتی برای افزایش میزان مواد آلی خاک‌ها ضرورتی انکارناپذیر است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر میزان کربن آلی و ترسیب کربن در خاک در دو تناوب گندم- پنبه و گندم- کنجد به‌مدت چهار سال در ایستگاه بختاجرد داراب انجام شد.

مواد و روش‌ها

این بررسی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بختاجرد واقع در شهرستان داراب (جنوب شرقی استان فارس) با اقلیم گرم و خشک، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه در دو مزرعه جداگانه و دو تناوب زراعی گندم- پنبه و گندم- کنجد در یک خاک لوم به مدت چهار سال با هدف بررسی و مقایسه میزان ترسیب کربن در روش‌های مختلف خاکورزی حفاظتی با روش مرسوم، انجام

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در تناوب گندم-پنبه

عمق (cm)	EC (dS/m)	pH	O.C (%)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	سیلت (%)	رس (%)	شن (%)	بافت خاک
۰-۱۰	۱/۸	۷/۹	۰/۵۷	۵/۹	۱۵۲	۴۷/۵	۱۷/۱	۳۵/۵	لوم
۱۰-۲۰	۰/۷۶	۷/۹	۰/۵۳	۴/۷	۹۵	۴۶/۱	۱۹/۱	۳۴/۹	لوم

EC: قابلیت هدایت الکتریکی (شوری) عصاره اشباع خاک، pH: اسیدیته خمیر اشباع (واکنش خاک)، O.C: کربن آلی خاک

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در تناوب گندم-کنجد

عمق (cm)	EC (dS/m)	pH	O.C (%)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	سیلت (%)	رس (%)	شن (%)	بافت خاک
۰-۱۰	۱/۲۲	۷/۶	۰/۶۷	۳/۹۲	۲۳۳/۴	۳۶/۰	۱۸/۰	۴۶/۰	لوم
۱۰-۲۰	۰/۸۶	۷/۸	۰/۵۴	۲/۷۸	۱۶۶/۶	۳۳/۰	۱۸/۰	۴۹/۰	لوم

EC: قابلیت هدایت الکتریکی (شوری) عصاره اشباع خاک، pH: اسیدیته خمیر اشباع (واکنش خاک)، O.C: کربن آلی خاک

برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک، قبل از شروع آزمایش و اعمال تیمارها و همچنین در پایان هر تناوب در سال چهارم (قبل از برداشت محصول) از استوانه‌های نمونه‌گیری استفاده شد و از دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک (از هر کرت یک نمونه و در مجموع ۲۰ نمونه در سال چهارم)، نمونه‌برداری شد. نمونه‌های دست‌نخورده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و با تقسیم جرم خاک خشک به حجم استوانه، جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد. برای تعیین مقدار کربن آلی خاک، در سال چهارم بعد از برداشت محصول از دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در هر کرت نمونه مرکب برداشته (یک نمونه در هر کرت و در مجموع ۲۰ نمونه) و خشک شدند. درصد کربن آلی نمونه‌های عبور داده شده از الک دو میلی‌متری، اندازه‌گیری شد و میزان ترسیب کربن با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۱۶):

$$Cs = O.C \times BD \times D \times 0.1 \quad (1)$$

Cs: میزان کربن ترسیب شده در خاک (مگاگرم در هکتار)

O.C: میزان کربن آلی خاک (گرم در کیلوگرم خاک)

BD: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

D: ضخامت لایه خاک (سانتی‌متر)

۰/۱: ضریب تبدیل

مزرعه آزمایش در شروع پژوهش در حالت آیش بود؛ بنابراین در ابتدا 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 برای جلوگیری از ایجاد مزاحمت برای دستگاه کارنده، بقایای خارج شده از انتهای کمباین به بیرون از زمین برده شد. تمام بقایای پنبه پس از خرد شدن با ساقه خردکن پشت تراکتوری روی سطح خاک در کرت‌ها حفظ شدند، همچنین تمام بقایای کنجد بدون خرد شدن در کرت‌ها نگه‌داشته شدند. ابعاد کرت‌های آزمایش ۶×۳۰ متر بود و گندم رقم چمران به مقدار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار در نیمه دوم آبان، کنجد رقم داراب ۲ به مقدار ۱۵ کیلوگرم در هکتار و پنبه رقم بختگان به مقدار ۲۵ کیلوگرم در هکتار در نیمه اول تیرماه در کرت‌ها کشت شد. کودهای شیمیایی حاوی عناصر پرمصرف، با توجه به آزمون خاک در سال‌های مختلف مصرف شد (جدول ۳). کودهای سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم و یک‌سوم کود اوره در زمان کاشت و توسط کارنده به کرت‌ها داده شد و بقیه کود اوره به نسبت مساوی در دو مرحله به‌صورت سرک و با دست در مزرعه پخش شد. سایر عملیات زراعی شامل آبیاری (آبیاری سطحی)، مبارزه با علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها در تمام تیمارها به‌طور یکسان اعمال شد.

جدول ۳. کودهای شیمیایی مورد استفاده در تیمارها در سال‌های مختلف (کیلوگرم در هکتار)

سال	اوره	سوپرفسفات تریپل	سولفات پتاسیم
سال اول	۴۰۰	۱۵۰	۱۰۰
سال دوم	۴۰۰	۱۰۰	۵۰
سال سوم	۴۰۰	۱۰۰	۵۰
سال چهارم	۴۰۰	۱۰۰	۵۰

با در نظر گرفتن اینکه هر تن کربن معادل با ۳/۶۷ تن گاز دی اکسید کربن است، مقدار معادل گاز دی‌اکسید کربن که از هوا در خاک به صورت کربن آلی ترسیب شده محاسبه شد. سپس، ارزش اقتصادی- زیست‌محیطی مقدار کربن ترسیب شده براساس پیشنهاد ریورز (۲۷)، که میزان مالیات بر کربن را به ازای هر تن دی‌اکسید کربن ۲۰۰ دلار اعلام کرده و هم‌اکنون نرخ رسمی برابری هر دلار برابر با ۴۲۰۰۰ ریال است، محاسبه شد. در پایان، پس از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن، داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تناوب گندم- پنبه

نتایج تجزیه واریانس تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک در انتهای اجرای آزمایش در جدول ۴ آمده است. با توجه به این جدول، مشخص می‌شود که از لحاظ آماری، اثر تیمار (روش‌های مختلف خاکورزی) بر درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد، ولی بر درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در عمق ۱۰-۲۰ و میزان کل ترسیب کربن در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک تأثیر معنی‌داری نداشت. بنابراین، به دلیل انجام عملیات زراعی و حفظ بقایا در سطح خاک، در روش‌های خاکورزی و به خصوص خاکورزی حفاظتی فقط میزان مواد آلی لایه سطحی خاک به میزان بیشتری تحت تأثیر قرار گرفته است.

نتایج مقایسه میانگین میزان مواد آلی در عمق‌های ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک، میزان ترسیب کربن و ارزش اقتصادی میزان کربن ترسیب شده در روش‌های مختلف خاکورزی در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۵ مشخص می‌شود که پس از چهار سال استفاده از روش بدون خاکورزی یا کشت مستقیم (T₂)، بیشترین درصد کربن آلی خاک با میانگین ۰/۷۹ درصد و بیشترین میزان ترسیب کربن با میانگین ۱۰/۳۳ تن در هکتار به دست آمد و کمترین درصد کربن آلی خاک و کمترین میزان ترسیب کربن در روش کشت مرسوم به ترتیب با میانگین ۰/۵۶ درصد و ۷/۰۲۵ تن در هکتار حاصل شد. یعنی، کشت مستقیم گندم و پنبه باعث شد درصد کربن آلی لایه ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک نسبت به روش خاکورزی مرسوم به میزان ۴۱/۰۷ درصد و میزان ترسیب کربن به میزان ۴۲/۸۲ درصد افزایش یابد. میزان افزایش درصد کربن آلی و ترسیب کربن در خاک در دو روش خاکورزی کشت مستقیم پنبه و کشت مرسوم گندم در سال سوم و کشت مستقیم گندم (T₄) و کشت مرسوم پنبه در سال سوم (T₃) کمتر از میزان افزایش ناشی از کاربرد روش خاکورزی کشت مستقیم گندم و پنبه بود که نشان‌دهنده تأثیر منفی عدم استمرار کشت مستقیم و قطع آن با خاکورزی مرسوم (تناوب خاکورزی) بر درصد کربن آلی و ترسیب کربن در خاک است. همچنین، در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک، درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک ناشی از کاربرد روش کم خاکورزی (T₁) نیز بیشتر از درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک ناشی از کاربرد خاکورزی مرسوم (T₅) و کمتر از درصد کربن آلی و ترسیب کربن در خاک در روش کشت مستقیم (T₂) بود. کاهش درصد

جدول ۴. میانگین مربعات ویژگی‌های مورد بررسی در روش‌های مختلف خاکورزی در تناوب گندم-پنبه

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد کربن آلی (۰-۱۰ سانتی‌متر)	درصد کربن آلی (۱۰-۲۰ سانتی‌متر)	میزان ترسیب کربن (۰-۱۰ سانتی‌متر)	میزان ترسیب کربن (۱۰-۲۰ سانتی‌متر)	میزان کل ترسیب کربن (۰-۲۰ سانتی‌متر)
تکرار	۳	۰/۰۲۷۹	۰/۰۰۷۷	۳/۵۲۵۶	۱/۴۶۳۹	۸/۸۴۱۳
تیمار	۴	۰/۳۲۲۹**	۰/۰۰۱۷ ns	۵/۲۹۵۵**	۰/۳۲۴۵ ns	۶/۶۹۲۸ ns
خطا	۱۲	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۹۰	۰/۸۴۸۳	۱/۱۴۵۱	۲/۶۰۸۶
ضریب تغییرات		۱۱/۰۷	۱۸/۲۱	۱۰/۶۳	۱۵/۹۰	۱۰/۴۹

**، * و ns، به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۵. مقایسه میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در روش‌های مختلف خاکورزی در تناوب گندم-پنبه*

روش خاکورزی	عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر		عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر		ارزش اقتصادی-زیست‌محیطی نسبت به روش مرسوم (میلیون ریال)
	میزان ترسیب کربن (t/ha)	کربن آلی (%)	میزان ترسیب کربن (t/ha)	کربن آلی (%)	
T1	۰/۶۸ab	۸/۸۱۳ ab	۰/۵۰ a	۶/۳۶۸ a	۴۲/۲۳۴
T2	۰/۷۹a	۱۰/۰۳۳ a	۰/۵۵ a	۷/۱۲۸ a	۱۰۳/۲۷۴
T3	۰/۶۴bc	۸/۱۲۵ bc	۰/۵۰ a	۶/۵۶۸ a	۲۷/۲۲۱
T4	۰/۷۴b	۹/۳۱۵ ab	۰/۵۲ a	۶/۸۰۵ a	۷۱/۲۱۳
T5	۰/۵۶c	۷/۰۲۵ c	۰/۵۳ a	۶/۷۸۵ a	-

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

مرسوم با به هم زدن کامل خاک باعث تسریع اکسایش مواد آلی خاک و در نتیجه آزاد شدن سریع‌تر عناصر غذایی می‌شود و امکان هدرروی کربن و سایر عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. این نتیجه با نتایج گزارش شده به وسیله قاسمی‌نژاد رایینی و صادقی (۱۳) شومن و همکاران (۲۸) نیز مطابقت دارد که دلیل آن را می‌توان روند تدریجی تجزیه لاشبرگ و تبدیل به هوموس که از لایه‌های سطحی خاک آغاز می‌شود دانست. سومر و همکاران (۳۰) اظهار کردند که ترکیبی از کم خاکورزی و نگه‌داشتن بخشی از بقایای گیاهی در خاک افزایش نسبی کربن آلی خاک را در پی دارد. در کوتاه‌مدت، کیفیت بقایا ولی در میان‌مدت، کمیت بقایا بر میزان کربن آلی خاک مؤثر است (۲۲). بیشنگ و همکاران (۴) نیز گزارش کردند که میزان کربن آلی خاک در مقایسه با خاکورزی مرسوم در روش کم خاکورزی ۹۰-۲۴ درصد و در روش بدون خاکورزی ۸۰-۲۳ درصد افزایش یافت.

کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک در روش خاکورزی مرسوم به دلیل زیور و شدن کامل خاک در اثر شخم با گاوآهن برگردان‌دار است. زیرا به هم خوردن خاک باعث تهویه بیشتر شده و تجزیه میکروبی مواد آلی خاک را تسریع کرده و تلفات آن را افزایش می‌دهد. مقایسه میانگین درصد کربن آلی و مقدار ترسیب کربن در خاک در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در روش‌های مختلف خاکورزی نشان داد که تأثیر همه روش‌های خاکورزی مورد استفاده بر درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک تقریباً یکسان بوده و از نظر آماری، تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (جدول ۵). از آنجا که روش‌های مختلف خاکورزی حفاظتی، بیشتر باعث تغییر در لایه سطحی خاک می‌شوند و بقایای گیاهی نیز در سطح خاک قرار می‌گیرد، طبیعی است که این روش‌ها بیشترین تأثیر را بر میزان مواد آلی لایه سطحی خاک داشته باشند. در صورتی که روش خاکورزی

جدول ۶. میانگین مربعات ویژگی‌های مورد بررسی در روش‌های مختلف خاکورزی در تناوب گندم- کنجد

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد کربن آلی (۰-۱۰ سانتی‌متر)	درصد کربن آلی (۱۰-۲۰ سانتی‌متر)	میزان ترسیب کربن (۰-۱۰ سانتی‌متر)	میزان ترسیب کربن (۱۰-۲۰ سانتی‌متر)	میزان کل ترسیب کربن (۰-۲۰ سانتی‌متر)
تکرار	۳	۰/۲۷۳۸	۰/۶۷۴۹	۰/۸۹۲۴	۱۲/۱۱۴۰	۱۱/۵۴۹۴
تیمار	۴	۰/۲۶۹۱**	۰/۶۲۲۰*	۴۴/۲۰۷۶**	۱۱/۰۸۳۲*	۹۱/۲۹۴۱**
خطا	۱۲	۸۴/۱۲۹۹	۰/۰۱۵۰	۱/۳۶۲۳	۲/۵۷۷۲	۳/۰۵۵۶
ضریب تغییرات		۲۵/۰۶	۱۸/۱۱	۱۱/۱۷	۱۷/۹۵	۹/۰۲

**، * و ns، به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی‌دار

سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. با توجه به اینکه در روش‌های خاکورزی حفاظتی، خاک به میزان کمتری به هم خورده می‌شود و بیش از ۵۰ درصد از بقایای گیاهی در سطح خاک نگه داشته می‌شود، بنابراین، معنی‌دار بودن اثر خاکورزی بر کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک در این پژوهش قابل توجیه است.

نتایج مقایسه میانگین میزان کربن آلی و میزان ترسیب کربن در عمق‌های ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک و میزان کل ترسیب کربن در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک و ارزش اقتصادی- زیست‌محیطی میزان کربن ترسیب شده در روش‌های مختلف خاکورزی در جدول ۷ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۷ مشخص می‌شود که پس از چهار سال استفاده از روش بدون خاکورزی یا کشت مستقیم (C₂)، بیشترین درصد کربن آلی خاک با میانگین ۱/۱۹ درصد و بیشترین میزان ترسیب کربن با میانگین ۱۵/۲۹۵ تن در هکتار در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک، به دست آمد. کمترین درصد کربن آلی خاک و کمترین میزان ترسیب کربن در روش کشت مرسوم (C₅) به ترتیب با میانگین ۰/۵۰ درصد و ۶/۳۱۵ تن در هکتار حاصل شد. یعنی چهار سال کشت مرسوم گندم و کنجد باعث شد میزان کربن آلی خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری، از ۰/۶۷ درصد به ۰/۵۰ درصد کاهش یابد (جدول‌های ۲ و ۷). شارما و همکاران (۲۹) نیز گزارش کردند ۱۴ سال کشت مداوم، بدون اضافه کردن هیچ‌گونه بقایای گیاهی، مقدار مواد آلی خاک را از ۲ درصد به ۱ درصد کاهش داد.

پس از چهار سال کاربرد روش بدون خاکورزی یا کشت مستقیم (T₂)، بیشترین میزان کل ترسیب کربن با میانگین ۱۷/۱۶۰ تن در هکتار به دست آمد و کمترین میزان کل ترسیب کربن در روش کشت مرسوم با میانگین ۱۳/۸۱۰ تن در هکتار حاصل شد. یعنی، کشت مستقیم گندم و پنبه باعث شد میزان کل ترسیب کربن در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک نسبت به روش خاکورزی مرسوم به میزان ۲۴/۲۶ درصد افزایش یابد که ارزش زیست‌محیطی میزان کل ترسیب کربن در این عمق نسبت به روش کشت مرسوم معادل ۱۰۳/۲۷۴ میلیون ریال است. نتیجه پژوهش پالم و همکاران (۲۲) نشان داد که ترکیبی از تناوب زراعی و بدون خاکورزی در مقایسه با سیستم تک کشتی باعث افزایش بیشتر میزان کربن ترسیب شده در خاک شد.

تناوب گندم- کنجد

نتایج تجزیه واریانس تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک در انتهای اجرای آزمایش در جدول ۶ آمده است. نتایج تجزیه واریانس تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک در انتهای سال چهارم نشان داد که از نظر آماری، این تأثیر در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر خاک در سطح ۱ درصد و در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۶). همچنین، تأثیر روش‌های خاکورزی بر میزان کل ترسیب کربن در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در

جدول ۷. مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد بررسی در روش‌های مختلف خاکورزی در تناوب گندم-کنجد*

روش خاکورزی	عمق ۱۰-۲۰ سانتی متر		عمق ۱۰-۲۰ سانتی متر		ارزش اقتصادی-زیست محیطی نسبت به روش مرسوم (میلیون ریال)
	میزان ترسیب کربن (t/ha)	کربن آلی (%)	میزان ترسیب کربن (t/ha)	کربن آلی (%)	
C ₁	۲۰/۳۳۸ ^b	۰/۷۲ ^a	۹/۳۲۳ ^a	۰/۸۷ ^b	۲۴۱/۴۷۵
C ₂	۲۵/۸۷۰ ^a	۰/۷۹ ^a	۱۰/۵۷۵ ^a	۱۵/۲۹۵ ^a	۴۱۲/۰۱۶۲
C ₃	۱۹/۷۶۸ ^b	۰/۶۷ ^a	۸/۸۵۰ ^a	۱۰/۹۱۸ ^b	۲۲۳/۹۰۴
C ₄	۱۸/۴۶۳ ^b	۰/۷۳ ^a	۹/۷۷۳ ^a	۸/۶۹۰ ^c	۱۸۳/۶۷۳
C ₅	۱۲/۵۰۵ ^c	۰/۴۷ ^b	۶/۱۱۹ ^b	۶/۳۱۵ ^d	-

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

روش‌های مختلف خاکورزی در تناوب گندم-کنجد، نشان داد که تأثیر همه روش‌های خاکورزی مورد استفاده بر درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک در مقایسه با روش خاکورزی مرسوم بیشتر بوده و از نظر آماری، این تفاوت‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار شدند. هر چند، روش‌های خاکورزی دیگر، تفاوت آماری معنی‌داری با هم در سطح ۵ درصد نشان ندادند (جدول ۷). بیشترین میزان کربن آلی و ترسیب کربن در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک به ترتیب با ۰/۷۹ درصد و ۱۰/۵۷۵ تن در هکتار مربوط به روش خاکورزی کشت مستقیم گندم و کنجد (C₂) و کمترین آن مربوط به روش خاکورزی مرسوم به ترتیب با ۰/۴۷ درصد و ۶/۱۱۹ تن در هکتار بود. در این عمق، روش کشت مستقیم گندم و کنجد، میزان کربن آلی و ترسیب کربن در خاک را نسبت به روش خاکورزی مرسوم به ترتیب به میزان ۶۸/۱۰ و ۷۲/۸۲ درصد افزایش داد که این افزایش در مقایسه با افزایش در لایه ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک کمتر است. از آنجا که روش‌های مختلف خاکورزی حفاظتی، بیشتر باعث تغییر در لایه سطحی خاک می‌شوند و بقایای گیاهی نیز در سطح خاک قرار می‌گیرد، طبیعی است که این روش‌ها بیشترین تأثیر را بر میزان مواد آلی لایه سطحی خاک داشته باشند. در صورتی که روش خاکورزی مرسوم با به هم زدن کامل خاک باعث تسریع اکسایش مواد آلی خاک و در نتیجه آزاد شدن سریع‌تر عناصر غذایی می‌شود و امکان هدرروی کربن و

کشت مستقیم گندم و کنجد (C₂) باعث شد درصد کربن آلی لایه ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک نسبت به روش خاکورزی مرسوم به میزان ۱/۳۸ برابر و میزان ترسیب کربن به میزان ۱/۴۲ برابر افزایش یابد. میزان افزایش درصد کربن آلی و ترسیب کربن در خاک در دو روش خاکورزی کشت مستقیم گندم و کشت مرسوم کنجد در سال سوم (C₃) و کشت مستقیم کنجد و کشت مرسوم گندم در سال سوم (C₄)، کمتر از میزان افزایش ناشی از کاربرد روش خاکورزی کشت مستقیم گندم و کنجد (C₂) بود که نشان‌دهنده تأثیر منفی عدم استمرار کشت مستقیم و قطع آن با خاکورزی مرسوم (تناوب خاکورزی) بر درصد کربن آلی و ترسیب کربن در خاک است. همچنین، در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک، درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک ناشی از کاربرد روش کم خاکورزی (C₁) نیز بیشتر از درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک ناشی از کاربرد خاکورزی مرسوم (C₅) و کمتر از درصد کربن آلی و ترسیب کربن در خاک در روش کشت مستقیم (C₂) بود. کاهش درصد کربن آلی و میزان ترسیب کربن در خاک در روش خاکورزی مرسوم به دلیل زیرورو شدن کامل خاک در اثر شخم با گاوآهن برگردان‌دار است. زیرا به هم خوردن خاک باعث تهویه بیشتر شده و تجزیه میکروبی مواد آلی خاک را تسریع کرده و تلفات آن را افزایش می‌دهد. مقایسه میانگین درصد کربن آلی و مقدار ترسیب کربن در خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک در

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اینکه مساحت زیادی از زمین‌های کشاورزی در دنیا و از جمله ایران (حدود ۳۵۰ میلیون هکتار) در اثر عملیات خاکورزی شدید و نامناسب دچار کاهش مواد آلی و به‌دنبال آن افزایش فرسایش و تخریب شده، یکی از مهم‌ترین سازوکارها در این شرایط، استفاده از تناوب صحیح زراعی و روش‌های خاکورزی حفاظتی از جمله بدون خاکورزی است. افزایش مواد آلی و به‌دنبال آن کربن آلی خاک علاوه بر اینکه باعث کاهش گاز دی‌اکسید کربن موجود در هوا و ترسیب آن در خاک و در نتیجه اصلاح گرمایش زمین می‌شود، کیفیت و کمیت آب در عرصه، کیفیت هوا، کمیت و کیفیت محصول و امنیت غذایی را افزایش داده، باعث حفاظت خاک و اصلاح اراضی تخریب یافته، تصفیه آلاینده‌ها، تسهیل انتقال و ذخیره آب و اصلاح، و بهبود زیست بوم‌ها می‌شود. کاربرد روش بدون خاکورزی در تناوب‌های گندم- پنبه و گندم- کنجد در طی چهار سال باعث شد میزان کل ترسیب کربن در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک نسبت به روش خاکورزی مرسوم به ترتیب به میزان ۲۴/۲۶ و ۱۰۰ درصد افزایش یابد که ارزش زیست‌محیطی آن به ترتیب معادل ۱۰۳/۲۷۴ و ۴۱۲ میلیون ریال تعیین شد. بنابراین، با توجه به مزایای دیگر روش‌های خاکورزی حفاظتی از جمله کاهش مصرف سوخت و افزایش ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر انجام عملیات تهیه زمین و کاشت، جایگزینی این روش‌ها به‌ویژه روش کم خاکورزی در تناوب گندم- پنبه و گندم- کنجد در مناطق گرم استان فارس و مناطق با شرایط مشابه، پیشنهاد می‌شود. زیرا علاوه بر سازگاری با محیط زیست، در راستای پایداری تولید بوده و از نظر اقتصادی نیز مقرون به‌صرفه هستند.

سایر عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. در مقایسه با خاکورزی مرسوم، عملیات بدون خاکورزی در یک دوره پنج ساله باعث افزایش معادل ۱/۳۸ تن در هکتار در کربن آلی خاک شد (۳۰). پالم و همکاران (۲۲) گزارش کردند افزودن کودهای نیتروژن‌دار در مقایسه با عدم کاربرد آنها باعث افزایش میزان کربن آلی خاک شد. در یک تناوب ۱۰ ساله گندم- بقولات دانه‌ریز، استفاده از کودهای نیتروژن‌دار در کشت گندم، کربن آلی خاک را به میزان ۰/۲۹ تن در هکتار در سال افزایش داد (۳۰). درویش و همکاران (۷) گزارش کردند کشت باقلا و خلر در میان نوارهای کشت جو باعث افزایش معنی‌دار میزان کربن آلی خاک در باغ‌های گیلان شد. اثرات تناوب بر کربن آلی خاک به مقدار زیست‌توده هوایی و زیرزمینی تولید شده به‌وسیله گیاهان کاشته شده و بخشی از این زیست‌توده که در خاک باقی می‌ماند بستگی دارد (۸). ماسری و ریان (۱۹) گزارش کردند که میزان کربن آلی تولید شده در یک تناوب ۱۲ ساله گندم- یونجه بیشتر از تناوب گندم- ماش در مقایسه با کشت مداوم گندم یا تناوب گندم- آیش بود.

پس از چهار سال استفاده از روش بدون خاکورزی یا کشت مستقیم گندم و کنجد (C₂)، بیشترین میزان کل ترسیب کربن با میانگین ۲۵/۸۵۰ تن در هکتار به‌دست آمد و کمترین میزان کل ترسیب کربن در روش کشت مرسوم با میانگین ۱۲/۵۰۵ تن در هکتار حاصل شد. یعنی، کشت مستقیم گندم و کنجد باعث شد میزان کل ترسیب کربن در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک نسبت به روش خاکورزی مرسوم بیش از ۱۰۰ درصد (۱/۰۷ برابر) افزایش یابد که ارزش زیست‌محیطی میزان کل ترسیب کربن در این عمق نسبت به روش کشت مرسوم معادل ۴۱۲ میلیون ریال است.

منابع مورد استفاده

1. Alijani, Kh., M. J. Bahrani and S. A. Kazemeini. 2012. Short-term responses of soil and wheat yield to tillage, corn residue management and nitrogen fertilization. *Soil and Tillage Research* 124: 78-82.
2. Atallah, T., C. Jamous, P. Debs and T. Darwish. 2012. Biosolid recycling to enhance carbon sequestration in mountainous Lebanese conditions. *Lebanese Science Journal* 13: 69-79.

3. Batjes, N. H. and W. G. Sombroek. 1997. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils *Global Change Biology* 3: 161-173.
4. Bisheng, W., G. Lili, W. Yu, X. Wei, J. Li, Sh. Li, X. Song, G. Liang, D. Cai and X. Wu. 2019. Distribution of soil aggregates and organic carbon in deep soil under long-term conservation tillage with residual retention in dryland. *Journal of Arid Land*: 11(2): 241-254. <https://doi.org/10.1007/s40333-019-0094-6>.
5. Boukhoudoud, N., R. Gros, T. Darwish and A. M. Farnet Da Silva. 2016. Agriculture practice and coastal constraint effects on microbial functional properties of soil in Mediterranean olive orchards. *European Journal of Soil Science* 67: 470-477. <https://doi.org/10.1111/ejss.1234>.
6. Cerdà, A., F. Gonzalez Penaloza, C. Santin and S. H. Doerr. 2012. Land abandonment, fire recurrence and soil carbon content in the Macizo del Caroig, Eastern Spain. *Geophysics Research Abstracts* 14: EGU2012-14331.
7. Darwish, T. M., I. Jomaa, T. Atallah, S. Hajj, A. Shaban, R. Zougheib and F. Sibai Ouayda. 2012. An agropastoral system as a practice to enhance organic matter in Lebanese inland mountainous soils. *Lebanese Science Journal* 13: 1-14.
8. Darwish, T., T. Atallah and A. Fadel. 2017. Challenges of soil carbon sequestration in the NENA region. *Soil* 4: 225-235.
9. Falloon, P. D., P. Smith, J. U. Smith, J. Szabó, K. Coleman and S. Marshall. 1998. Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted Carbon Model to GIS databases. *Biology and Fertility of Soil* 27(3): 236-241.
10. Follett, R. F., J. Z. Castellanos and E. D. Buenger. 2005. Carbon dynamics and sequestration in an irrigated Vertisol in Central Mexico. *Soil and Tillage Research* 83: 148-158.
11. Hu, S., D. C. Coleman, M. H. Beare and P. F. Hendrix. 1995. Soil carbohydrates in aggrading and degrading agroecosystems, influences of fungi and aggregates. *Agricultural Ecosystems and Environment* 54: 77-88.
12. Johnson, M. G. and J. S. Kern. 1991. Sequestering carbon in soils: A workshop to explore the potential for mitigating global climate change. USEPA Rep. 600/3-91-031. USEPA Environ. Res. Lab, Corvallis, OR.
13. Ghaeminejad Raeini, M. and H. Sadeghi. 2017. The evaluation of carbon sequestration at plant's organs and soil characteristics in understory of *Zygophyllum atriplicoides* and *Gymnocarpus decander* (Case study: Saleh-Abad, Hormozgan). *Iranian Journal of Range and Desert Research* 24(4): 699-707. (In Farsi).
14. Guo, L. J., S. Lin, T. Q. Liu, C. G. Cao and C. F. Li. 2016. Effects of conservation tillage on topsoil microbial metabolic characteristics and organic carbon within aggregates under a rice (*Oryza sativa* L.)-wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping system in Central China. *PLoS One* 5: e0146145, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146145>.
15. Khorramdel, S., P. Rezvanimoghaddam and L. Jafari. 2016. Evaluating the potential of carbon sequestration for canola fields under Khorasan Razavi Province. *Journal of Crop Production* 9(3): 22-43. (In Farsi).
16. Kooch, Y., S. M. Hosseini, C. Zaccane, H. Jalilvand and S. M. Hojjati. 2012. Soil organic carbon sequestration as affected by afforestation: the Darab Kola forest (north of Iran) Case study. *Journal of Environmental Monitoring* 14: 2438-2446.
17. Lal, R. and J. M. Kimble. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutritional Cycling Agroecosystems* 49(1-3): 243-253.
18. Mc Conkey, B. G., B. C. Liang, C. A. Campbell, D. Curtin, A. Moulin, S. A. Brandt and G. P. Lafond. 2003. Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. *Plant and Soil* 74(1): 81-90.
19. Masri, Z. and J. Ryan. 2006. Soil organic matter and related physical properties in a Mediterranean wheat-based rotation trial. *Soil and Tillage Research* 87: 146-154.
20. Moradi, R., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and H. Mansoori. 2015. Effect of tillage, residue management and nitrogen fertilizer on carbon balance and global warming potential in maize cultivation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 25(1): 29-44. (In Farsi).
21. Moreno, G., J. J. Obrador and A. Garcia. 2007. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 270-280.
22. Palm, Ch., H. Blanco-Canqui, F. DeClerck, L. Gatere and P. Grace. 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187: 87-105. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010>.
23. Plaza-Bonilla, D., J. L. Arrúe, C. Cantero-Martínez, R. Fanlo, A. Iglesias and J. Álvaro-Fuentes. 2015. Carbon management in dryland agricultural systems, A review. *Agronomy Sustainable Development* 35: 1319-1334.
24. Pato, M., A. Salehi, Gh. Zahedi Amiri and A. Banej shafiei. 2017. Soil carbon stock and its relationship with physical and chemical characteristics in soil of different land-uses in Zagros region. *Journal of Forest and Wood Products (JFWP) (Iranian Journal of Natural Resources)* 69(4): 747-756. (In Farsi).
25. Safari Sanjaby, A. A. 2003. Soil biology and biochemistry. Bu-Ali Sina University Press, Hamedan. (In Farsi).
26. Post, W. M., T. H. Peng, W. R. Emmanuel, A. W. King, V. H. Dale and D. L. De Angelis. 1990. The global carbon cycle. *American Science* 78: 310-326.

27. Rivers, N. 2014. The Case for a carbon tax in Canada, Canada 2020. Article available at <http://canada2020.ca/canada-carbon-tax/>.
28. Schuman, G. E., H. Janzen and J. E. Herrick. 2002. Soil carbon information and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution* 116: 391-396.
29. Sharma, P., V. Abrol, S. Abrol and R. Kumar. 2012. Climate change and carbon sequestration in dryland soils, *In: Tech open access book*, chap. 6, <https://doi.org/10.5772/52103> (last access: 31 July 2018).
30. Sommer, R., C. Pigginn, D. Feindel, M. Ansar, L. van Delden, K. Shimonaka, J. Abdalla, O. Douba, G. Estefan, A. Haddad, R. Haj-Abdo, A. Hajdibo, P. Hayek, Y. Khalil, A. Khoder and J. Ryan. 2014. Effects of zero tillage and residue retention on soil quality in the Mediterranean region of northern Syria. *Open Journal of Soil Science* 4: 109-125. <https://doi.org/10.4236/ojss.2014.43015>.

The Effect of Tillage Methods in Wheat-Cotton and Wheat-Sesame Rotations on the Soil Carbon Sequestration

M. J. Rousta^{1*}, S. Afzalinia² and A. Karami³

(Received: May 20-2019; Accepted: July 31-2019)

Abstract

Given the various advantages of applying conservation tillage methods in the agriculture, including reducing the effects of climate change by decreasing the carbon dioxide emissions to the atmosphere caused by carbon sequestration in soil, this study was conducted with two wheat-cotton and wheat-sesame rotations at Agricultural Research Station Bakhtajerd, in Darab, the southeast of Fars Province, which had a warm and dry climate; this work was carried out in a loam soil during four years. The aim of this investigation was to compare the carbon sequestration (CS) in the soil after application of different conservation tillage methods with the conventional method. The results showed that in wheat-cotton rotation, the maximum and minimum amount of CS in the 0-20 cm depth of soil with the average 17.160 and 13.810 t/ha could be obtained by using no-till and conventional tillage, respectively. Therefore, no-till increased CS by 24.26% in wheat and cotton cultivation, as compared to the conventional tillage. The economic value of this CS increment for the environment was \$2459 per hectare. In the wheat-sesame rotation, the highest and lowest CS was obtained with an average of 25.850 and 12.505 t/ha in no-till and conventional tillage, respectively. Namely, direct seeding of wheat and sesame increased the CS at the 0-20 cm depth of soil by 107%, as compared to the conventional tillage with the economic value of \$9809.5 per hectare. Under similar conditions, in wheat-cotton and wheat-sesame rotations, the conventional methods could be replaced by no tillage.

Keywords: Carbon sequestration, Conservation tillage, Fars province, Rotation

1. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shiraz, Iran.
2. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shiraz, Iran.
3. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shiraz, Iran.

*: Corresponding author, Email: mjrousta@yahoo.com