نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۷، ص. ۱۲۶-۱۱۳

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 1, Mar.-Apr. 2018, p. 113-126

پاسخ برخی شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد محصول به مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی و گیاه پوششی در زراعت کدو تخمه کاغذی

اسماعیل اسفندیاری اخلاص[۱]- محسن نائل[۲*]- محسن شکل آبادی[۳] - جواد حمزه ئی[٤]- علی اکبر صفری سنجانی[٥]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

چکیده

به منظور بررسی اثر میان‌مدت سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی خلر بر کیفیت خاک و علمکرد کدو، آزمایشی در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در یک دوره‌ی چهار ساله (۱۳۹۳-۱۳۹۰) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان اجرا گردید. فاکتور خاک‌ورزی در سه سطح شامل NT: بدون خاک‌ورزی (کاشت مستقیم بذر در زمین زراعی)، MT: خاک‌ورزی کمینه (شخم با چیزل + دیسک) و CT: خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان‌دار + دیسک)؛ و فاکتور گیاه پوششی در دو سطح شامل C1: گیاه پوششی لگوم (خلر) و C0: بدون گیاه پوششی بودند. نتایج نشان داد شاخص‌های کربن آلی کل، کربن فعال، تنفس پایه، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، کربن خاکدانه‌ای، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل و همچنین عملکرد دانه کدو به طور معنی‌داری تحت تأثیر گیاه پوششی و خاک‌ورزی قرار گرفتند. مقدار کربن آلی خاک از ۰/۴ درصد در تیمار CT-C0 به حدود ۰/۷ درصد در تیمار NT-C1 افزایش داشت. در اکثر شاخص‌ها، بین خاک‌ورزی کمینه و بی خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، مثلا بیشترین مقدار MWD (۲/۱۴ میلی‌متر) در تیمار NT-C1 مشاهده شد که با تیمار MT-C1 (۱/۵۶ میلی متر) تفاوت معنی‌داری نداشت؛ کم‌ترین مقدار این شاخص (۰/۴۸ میلی‌متر) در CT-C0 به‌دست آمد. همچنین بیشترین عملکرد دانه کدو تخمه کاغذی (g/m^2 ۱۴۲/۰) در تیمار MT-C1 به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار NT-C1 نداشت و کمترین عملکرد دانه کدو (g/m^2 ۱۱۵/۳) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی مشاهده شد، اما با تیمارهای NT-C0، MT-C0 و CT-C1 در یک گروه آماری قرار گرفت. در نهایت، تیمار MT-C1 از نظر بهبود عملکرد گیاه و خصوصیات مختلف کیفیت خاک بهتر از تیمارهای دیگر بود اما تفاوت معنی داری با NT-C1 نداشت، به همین دلیل تیمارهای خاک‌ورزی‌های حفاظتی همراه با گیاه پوششی خلر به عنوان مناسب‌ترین رویکرد مدیریتی در بهبود خصوصیات کیفیت خاک و عملکرد گیاهی معرفی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: بخش‌های کربن آلی، خاک‌ورزی حفاظتی ،کشاورزی پایدار، همدان

مقدمه

خاک یک منبع طبیعی محدود است و استفاده مستمر و پایدار از آن در بخش کشاورزی نیازمند اجرای مدیریت پایدار اراضی است (34-۳۴). در علوم کشاورزی پیروی از قوانین طبیعی به شکل‌های گوناگون متجلی شده است که نمونه آن کشاورزی پایدار است. کشاورزی پایدار، سودمند، مستمر و درعین‌حال مؤثرترین نحوه بهره‌گیری از انرژی خورشید و تبدیل آن به محصولات کشاورزی است که بدون تخریب خاک، آب و محیط زیست انجام می‌گیرد (16-۱۶). از مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده و مؤثر در افزایش تولید پایدار می‌توان به سیستم‌های بهره‌گیری از گیاهان پوششی به‌ویژه گیاهان خانواده حبوبات برای تثبیت نیتروژن و همچنین مدیریت خاک‌ورزی با هدف بهبود کیفیت خاک اشاره کرد (۲۰). از طرف دیگر، گاوآهن برگردان‌دار ازجمله ادواتی است که هر ساله می‌تواند تخریب خاک را تشدید کند، که در بسیاری از مناطق دنیا بهره‌گیری از آن منسوخ شده است، بنابراین کاربرد فن‌آوری‌های مطلوبی همانند سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی به‌عنوان یکی از روش‌های کاربردی در کشاورزی پایدار، می‌تواند سبب کند کردن روند تخریب زمین‌ها و افزایش پایداری کشاورزی گردد (15-۱۵). خاک‌ورزی حفاظتی به آن دسته از عملیات

۱، ۲، ۳ و ۵- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیاران و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
(*- نویسنده مسئول: Email: moh_nael@yahoo.com)
۴- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

DOI: 10.22067/jsw.v32i1.66383

خاک‌ورزی گفته می‌شود که طی آن کمترین آسیب به منابع خاک و آب وارد گردد و همه یا حداقل ۳۰ درصد مانده‌های گیاه زراعت قبلی، بعد از کشت محصول جدید در سطح خاک باقی بماند (۳۰) و شامل روش‌ها و تکنیک‌هایی برای کاشت محصول روی مانده‌ها و کلش به‌جامانده از محصول قبلی می‌باشد.

تحقیقاتی زیادی در مورد اثر مدیریت خاک‌ورزی و گیاهان پوششی بر عملکرد گیاهی و کیفیت خاک انجام شده است. مدیریت درست مانده‌های گیاهی باعث افزایش کربن آلی خاک، افزایش پایداری خاکدانه‌ها، افزایش گنجایش تبادل کاتیونی خاک، افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی و کاهش وابستگی اکوسیستم‌های کشاورزی به کودهای شیمیایی شده و سرانجام باعث حفظ و افزایش پایداری اکوسیستم می‌گردد (۲۱ و ۲۴). مسیگا و همکاران (18–۱۸) و باهاتاچاریا و همکاران (۶) گزارش کردند کاربرد نهاده‌های آلی مانند گیاهان پوششی می‌تواند افزون بر بهبود ساختمان فیزیکی خاک، با افزایش مقدار ماده آلی خاک به بهبود شرایط زیستی و آنزیمی خاک نیز منجر گردد. دهاینوت مدینا (۸) و بحرانی و همکاران (3–۳) بیان کردند سیستم‌های بی‌خاک‌ورزی با حفظ مانده‌های گیاهی در برابر خاک‌ورزی مرسوم، مقدار کربن آلی خاک، اندازه خاکدانه‌ها، نیتروژن آلی خاک سطحی و فعالیت زیستی را افزایش می‌دهند.

با توجه به نتایجی که محققین مختلف گزارش کرده‌اند، نوع خاک‌ورزی مناسب و یا استفاده از گیاهان پوششی برای مناطق مختلف از نظر نوع خاک و اقلیم، متفاوت می‌باشد. پلازا بونیلا و همکاران (۲۵) گزارش کردند که استفاده از خاک‌ورزی مرسوم در اقلیم معتدل اروپا باعث کاهش مقدار ماده آلی خاک و افت کیفیت خاک‌ها می‌گردد، اما زمانی که همین خاک‌ورزی همراه با گیاه پوششی لگوم اعمال شود تلفات کربن و نیتروژن آلی خاک کاهش و راندمان محصول افزایش می‌یابد. میچل و همکاران (۲۰) بیان کردند گیاهان پوششی و شیوه بدون خاک‌ورزی تاثیر مثبت بر سلامت خاک در کالیفرنیا گذاشتند. اگرچه این پاسخ ممکن است برای سیستم‌های کشاورزی دیم مناسب باشد و در سیستم‌های کشاورزی آبی به طور مستقیم بر تولید محصولات در کوتاه مدت تاثیر نگذارد، اما اطلاعات به دست آمده نشان داد که این مدیریت‌ها باعث بهبود کلی خواص شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک در این ناحیه شد. لذا این نتایج، ارزش تلاش‌های آینده را برای گسترش و پذیرش سیستم‌های کشاورزی حفاظتی در منطقه، جهت بهبود سلامت خاک تقویت می‌کند (20–۲۰).

با وجود تحقیقات فراوان صورت گرفته پیرامون اثر گیاهان پوششی متفاوت و خاک‌ورزی‌های مختلف بر شاخص‌های کیفیت خاک، تاکنون تحقیقی در زمینه تأثیر مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی‌های مختلف با گیاه پوششی خلر در زراعت کدو تخمه کاغذی بر شاخص‌های کیفیت خاک و همچنین عملکرد کدو تخمه کاغذی در ایران و جهان صورت نگرفته است. ازاین‌رو این تحقیق با هدف بررسی تأثیر میان‌مدت (چهارسال) دو روش خاک‌ورزی حفاظتی (بدون خاک ورزی و خاک ورزی حداقل) و گیاه پوشش خلر در مقایسه با مدیریت مرسوم منطقه (خاک‌ورزی برگردان بدون گیاه پوششی) بر برخی از مهم‌ترین جنبه‌های کیفیت خاک و نیز عملکرد زراعی کدو تخمه‌کاغذی در منطقه نیمه‌خشک همدان انجام شد تا بهترین مدیریت از نظر نوع خاک‌ورزی و گیاه پوششی جهت حفظ و بهبود کیفیت خاک و همچنین افزایش عملکرد کدو برای این منطقه به دست آید.

مواد و روش‌ها

موقعیت و ویژگی‌های محل انجام آزمایش

آزمایش در دو گام مزرعه‌ای و آزمایشگاهی انجام گرفت. بخش زراعی آن در سال زراعی ۹۳–۱۳۹۲ در مزرعه پژوهش‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا واقع در روستای دستجرد در فاصله ۳۷ کیلومتری از شهر همدان انجام گرفت. جایگاه انجام آزمایش در ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی، و ۳۵ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی، با ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا قرار دارد. برخی از ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آمده است. میزان کل بارندگی در طول فصل زراعی۹۲–۹۳ حدود ۳۳۰ میلی‌متر و دمای کمینه و بیشینه به ترتیب ۶/۱– و ۳۸/۸ بود (۱۴).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- physicochemical properties of soil in experimental site

بافت خاک soil texture	شن (درصد) sand (%)	سیلت (درصد) silt (%)	رس (درصد) clay (%)	ازت (درصد) N (%)	فسفر فراهم available P (mg kg^{-1})	پتاسیم K (mg kg^{-1})	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (Cmolc kg^{-1})	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	pH
Clay Loam	43	30	27	0.3	13	350	15	0.41	7.45

طرح آزمایشی، آماده‌سازی زمین و کشت گیاه

آزمایش به شکل فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید که شامل ترکیب فاکتوریل سه سطح مدیریت خاک‌ورزی شامل بدون خاک‌ورزی (NT)، خاک‌ورزی کمینه (MT) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) به همراه دو سطح گیاه پوششی خلر (C1) و بدون گیاه پوششی (C0) بود. لازم به یادآوری است زمین مورد مطالعه به مدت ۴ سال متوالی تحت نظام‌های خاک‌ورزی فوق (خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی کمینه و بدون خاک‌ورزی)، و وجود و عدم وجود گیاه پوششی خلر مدیریت شده بود. سال قبل از انجام این آزمایش (بهار ۱۳۹۲)، ذرت به‌عنوان گیاه اصلی کشت شده و پس از برداشت، مانده‌های آن در سطح خاک رها شده بود. بذر خلر در تاریخ ۱۵ اسفند هرسال به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کشت شد، سپس در اواخر اردیبهشت همان سال و دو هفته قبل از کاشت گیاه اصلی (ذرت یا کدو تخمه کاغذی)، زمانی که حدوداً ۳۰ درصد گیاه به گل رفته بود، خلر با یک دیسک سطحی کف بر شده و در سطح کرت‌ها رها شد. مقدار زیست توده برگردانده شده به خاک در تیمارهای دارای گیاه پوششی حدود ۳۰۰ گرم بر متر مربع بود. در کرت‌های بدون گیاه پوششی، علف‌های هرزی که رشد کرده بودند از سطح خاک جمع‌آوری و بیرون برده شدند. پس از گذشت یک هفته، با ادوات مخصوص برای هر نوع از نظام‌های خاک‌ورزی، زمین شخم زده شد.

برای اجرای خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان + دیسک بهره‌گیری شد. این نوع گاوآهن‌ها ۹۰ تا ۹۵ درصد مانده‌های گیاهی را در هر سری عملیات دفن می‌کنند و تنها ۵ تا ۱۰ درصد از مانده‌ها و خاک سطحی زیر و رو نمی‌شود. برای انجام خاک‌ورزی کمینه از گاوآهن چیزل که شمع‌کوب (پیلر) نیز به آن وصل بود بهره‌گیری شد. این گاوآهن برخلاف گاوآهن برگردان‌دار و بشقابی خاک را برنمی‌گرداند، بلکه همانند یک ابزار برنده در خاک نفوذ نموده و فقط آن را شکاف می‌دهد. سطح خاک شخم‌خورده با گاوآهن چیزل به‌گونه‌ای است که در برابر باد و باران مقاومت نشان می‌دهد و در جذب آب مفید است و چون مانده‌های گیاهی در سطح خاک باقی می‌ماند، تبخیر رطوبت را نیز کاهش می‌دهد. در کرت‌های بدون خاک‌ورزی هیچ‌گونه عملیاتی انجام نشد و کلیه مانده‌ها در سطح خاک به‌صورت پوشش باقی ماندند. لازم به ذکر است روش مرسوم منطقه برای کشاورزی به گونه خاک‌ورزی مرسوم و بدن گیاه پوششی است که به عنوان شاهد در این مطالعه در نظر گرفته شده است.

در نهایت در اواسط خرداد ۹۳ کاشت کدو تخمه‌کاغذی با تراکم ۲/۲ بوته در مترمربع با فاصله ردیف ۱۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر انجام شد (در هر کرت ۳ ردیف کشت شد). آبیاری زمین به صورت بارانی و هر ۶ روز یک بار انجام گرفت.

نمونه‌برداری از خاک و گیاه

نمونه‌برداری از خاک جهت بررسی شاخص‌های مختلف کیفیت خاک در پایان سال زراعی چهارم (اوایل مهر ماه ۹۳)، پس از برداشت کدو و از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری با سه تکرار انجام گردید. سعی شد نمونه‌های هر تکرار از ترکیب نمونه‌ی کنار بوته و میان ردیف‌ها انجام گیرد. نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و دور از نور مستقیم خورشید و در سایه هوا خشک شدند. مقداری از نمونه‌ها به گونه دست‌نخورده و بقیه آن‌ها پس از کوبیده شدن با توجه به آزمایش‌های مورد نظر از الک دو و الک نیم میلی‌متر عبور داده شدند. برخی شاخص‌های کیفیت خاک شامل کربن آلی، به روش اکسایش تر (36-۳۶)، کربن فعال، با محلول ۰/۰۲ مولار پرمنگنات پتاسیم (37-۳۷)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWD[1])، با روش الک تر (38-۳۸) تعیین شد. علاوه بر این، کربن خاکدانه‌ای، در خاکدانه‌های درشت و ریز جدا اندازه گیری شد، به این گونه که خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر درشت خاکدانه (۰/۲۵-۴ میلی‌متر) و خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر (۰/۲۵-۰/۰۵۳)، ریزخاکدانه در نظر گرفته شد (23-۲۳). درشت خاکدانه‌ها با توجه به خاک مانده روی هر الک، از ترکیب نسبی خاک روی الک ۲ و ۰/۲۵ میلی‌متر به دست آمد و ریزخاکدانه‌ها تنها از روی الک ۰/۰۵۳ برداشت شدند (31-۳۱) و کربن آلی آن‌ها با روش اکسایش تر والکی و بلک (36-۳۶) اندازه‌گیری شد. تنفس پایه نیز با روش آیزرمایر (۳۲) اندازه‌گیری شد.

کدو تخمه کاغذی از جمله گیاهان دارویی می‌باشد که در مناطق مختلف کشور برای مصارف خوراکی و بخصوص دارویی کشت می‌شود. در استان همدان نیز به خاطر شرایط اقلیمی (خشک و نیمه خشک) و کم نیاز بودن خانواده کدوییان به منابع آبی، کاشت گیاهان این خانواده همانند کدو تخمه کاغذی رایج می‌باشد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه کدو تخمه کاغذی، نمونه‌برداری از کرت‌ها با پلات یک متر مربعی و با رعایت اثر حاشیه‌ای انجام شد.

درنهایت برای آزمون میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد بهره‌گیری شد.

نتایج و بحث

کربن آلی

مواد آلی خاک یک ترکیب پیچیده ناهمگون از مواد، شامل مانده‌های گیاهی تازه، مانده‌های میکروبی و ترکیبات هومیکی با زمان بازچرخش هزارساله است که مقدار آن تحت تاثیر مدیریت‌های

1- Mean Weight-Diameter

مختلف در زمان تغییر می‌کند (۴). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص کربن آلی خاک به طور معنی‌داری تحت تاثیر گیاه پوششی ($P <$ ۰/۰۱) و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی ($P <$ ۰/۰۵) قرار گرفت اما با اثر ساده خاک‌ورزی معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین مقدار کربن آلی خاک (۰/۷۸ درصد) در تیمار بی‌خاک‌ورزی با گیاه پوششی خلر به‌دست آمد، با این حال این تیمار با تیمارهای دیگر خاک‌ورزی که گیاه پوششی دریافت کرده بودند (MT-C1 و CT-C1) در یک گروه آماری قرار گرفتند. همچنین کمترین مقدار این شاخص (۰/۳۹ درصد) در تیمار خاک‌ورزی کمینه بدون گیاه پوششی (MT-C0) مشاهده شد که البته با دیگر تیمارهای خاک‌ورزی بدون گیاه پوششی (NT-C0 و CT-C0) تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱). همان گونه که در این شکل قابل مشاهده است، اثر گیاه پوششی بر این ویژگی در تمام تیمارهای خاک‌ورزی قابل توجه بوده ولی تنها در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی معنی‌دار شده است. در کل می‌توان گفت بعد از چهار سال اعمال مدیریت‌های مختلف، مقدار کربن آلی خاک از حدود ۰/۴ درصد در شیوه مدیریتی مرسوم منطقه (خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی) به ۰/۷۴ درصد در خاک‌ورزی‌های حفاظتی (بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کمینه) با گیاه پوششی خلر (NT-C1 و MT-C1) رسیده است (شکل ۱).

افزایش کربن آلی در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی همراه با گیاه پوششی را می‌توان به برگرداندن گیاه پوششی و مانده‌های محصول به سطح خاک و همچنین خاک‌ورزی حفاظتی که باعث تداوم حضور مواد آلی و در دسترس قرار نگرفتن سریع آن‌ها برای تجزیه‌کننده‌ها می‌شود، نسبت داد. پایین بودن کربن آلی در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم را نیز می‌توان به در دسترس قرارگرفتن مواد آلی تازه برای جانداران تجزیه کننده به واسطه برگرداندن و آمیختگی کامل مانده‌های گیاهی با خاک، خرد شدن خاکدانه‌ها در اثر شخم و درنتیجه تهویه بیشتر و تسریع اکسیداسیون مواد آلی نیز نسبت داد (31–۳۱). بوری و همکاران (7–۷) نشان دادند که نظام‌های مختلف شخم و مدیریت مانده‌های گیاهی گندم تفاوت معنی‌داری در میزان کربن آلی کل خاک اولتی سول دارد. به‌طوری که بیشترین اندازهٔ کربن در نظام بدون شخم و پس از آن در نظام خاک‌ورزی کمینه اندازه‌گیری شد، درحالی‌که خاک‌ورزی مرسوم کمترین مقدار کربن را دارا بود. همچنین پلازا بونیلا (25–۲۵) در مطالعه‌ی مدیریت تناوب بر پایه کشت حبوبات و تحت شخم مرسوم گزارش کردند که برای کاهش تلفات مواد آلی خاک در این نوع مدیریت‌ها استفاده از گیاهان پوششی ضروری است. آن‌ها گزارش کردند که بیشترین کربن آلی در تیمارهای دارای گیاه پوششی به دست آمد زیرا در این تیمارها تلفات کربن آلی و نیتروژن آلی کاهش می‌یابد؛ در این مطالعه، کمترین مقدار کربن آلی و نیتروژن آلی در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی مشاهده شد (۲۵). همچنین میشل و همکاران (19–۱۹) نیز گزارش کردند پس از ۱۴ سال اعمال خاک‌ورزی‌های مختلف و گیاه پوششی، در تمام تیمارهایی که گیاه پوششی دریافت کرده بودند مقدار کربن خاک نسبت به شرایط اولیه، در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری، افزایش پیدا کرده است.

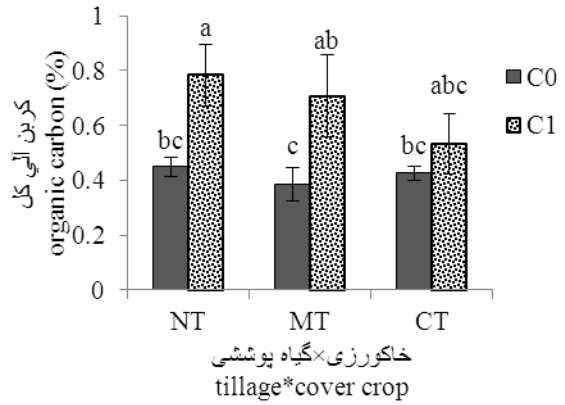
جدول ۲- تجزیه واریانس برخی شاخص‌های کیفیت خاک

Table 2- Analysis of variance of some of soil quality indicators

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS								
		کربن آلی organic carbon	کربن فعال active carbon	کربن خاکدانه‌های بزرگ macro aggregate carbon	کربن خاکدانه‌های کوچک micro aggregate carbon	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD	تنفس پایه basal respiration	تخلخل porosity	جرم مخصوص ظاهری bulk density	عملکرد دانه کدو pepo grain yield
تکرار Replication	2	0.047 ns	34510*	0.005**	0.004 ns	0.16 ns	0.002 ns	4.3*	0.003*	182.4**
خاک‌ورزی Tillage	2	0.27 ns	22996 ns	0.009**	0.002 ns	0.96**	0.000 ns	18.9**	0.011**	188.2**
گیاه پوششی Cover crop	1	0.289**	157341**	0.011**	0.014**	2.33**	0.019**	475.3**	0.274**	709.4**
T×C	5	0.078*	43521*	0.006*	0.004 ns	0.91**	0.004 ns	103.9**	0.060**	241.3**
خطای آزمایشی Error	12	0.022	6507	0.001	0.001	0.11	0.002	0.78	0.000	28.0
٪CV	–	27.12	6.43	12.02	8.50	25.92	28.82	1.67	1.67	5.2

*،** و ns به ترتیب معنی دار در سطح پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار

*، ** and ns, Significant at 1% and 5% levels of probability and no Significant, respectively



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوشش بر کربن آلی خاک. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 1- Effects of different tillage and cover crop treatments on soil organic carbon. Means followed by similar letter are not significantly different at P < 0.05

کربن فعال

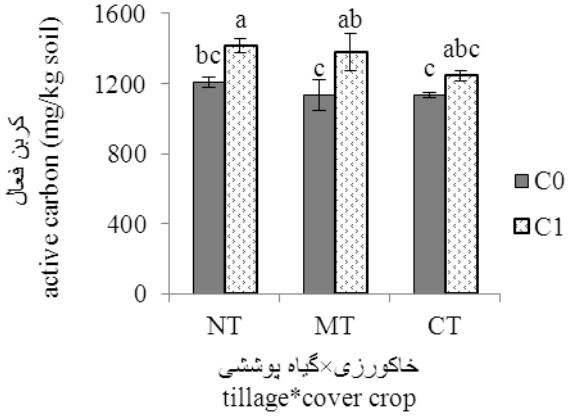
بخش پویای مواد آلی در برابر تغییرات شرایط محیطی حساسیت بیشتری نسبت به کربن آلی کل دارد. بخش پویا شامل کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی، مواد آلی دانه‌ای، کربن محلول در آب، بخش به‌آسانی قابل عصاره‌گیری و با تندی بالا معدنی شونده است (31–). این شاخص از نظر آماری به صورت معنی‌داری تحت تاثیر گیاه پوششی (P <۰/۰۱) و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی (P <۰/۰۵) قرار گرفت (جدول ۲). همانند کربن آلی خاک، بیشترین مقدار کربن فعال خاک (۱۴۱۷ mg/kg soil) در تیمار بی‌خاک‌ورزی با گیاه پوششی خلر مشاهده شد و با تیمارهای MT-C1 و CT-C1 در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین مقدار این شاخص (mg/kg soil ۱۱۳۴) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی به‌دست آمد که تفاوت آماری معنی‌داری با تیمارهای MT-C0، NT-C0 و CT-C1 نداشت (شکل ۲). به نظر می‌رسد گیاه پوششی خلر نسبت به نوع خاک‌ورزی تاثیر بیشتری بر این ویژگی گذاشته است. با این حال، اثر گیاه پوششی بر این شاخص تنها در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی معنی‌دار بوده است. به عبارت دیگر پس از چهار سال، کربن فعال خاک از mg/kg soil ۱۱۳۴ در شیوه مدیریتی مرسوم منطقه (خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار، بدون کاشت گیاه پوششی) به حدود mg/kg soil ۱۴۰۰ (برابر با ۲۳/۴۶ درصد افزایش) در شیوه مدیریتی خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی خلر رسیده است (شکل ۲).

افزایش کربن فعال در تیمارهای یادشده می‌تواند به علت وجود مانده‌های گیاه پوششی خلر و گیاه اصلی و همچنین تجزیه کمتر آن‌ها در اثر آمیخته نشدن مانده‌ها در غیاب خاک‌ورزی (33–۳۳) و انتشار CO_2 کمتر به اتمسفر باشد (1–۱). کربن اکسیدشده با پرمنگنات پتاسیم ۰/۰۲ مولار نزدیک ۳۰–۵ درصد (اغلب ۲۰–۱۵ درصد) کربن آلی کل را شامل می‌شود (1–۱) و از آنجایی که تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی خلر، کربن آلی بیشتری نسبت به سایر تیمارها دارا بودند بنابراین افزایش کربن فعال در این تیمارها می‌تواند به دلیل بالا بودن کربن آلی آن‌ها نیز باشد. همچنین بسیاری از آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داده که عملیات مدیریتی مقدار مواد آلی را تغییر می‌دهد که این تغییر در بخش ناپایدار با تندی بیشتری نسبت به کربن و نیتروژن کل رخ می‌دهد (13–۱۳). عزیز و همکاران (2–۲) در بررسی اثر بلندمدت خاک‌ورزی بر کیفیت خاک گزارش کردند که کربن آلی کل و کربن فعال بین دو نظام کشت بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم متفاوت بود؛ به طوری که در طول مدت ۶ سال در سیستم بدون خاک‌ورزی افزایش پیدا کردند. همچنین لوپز–گاریدو و همکاران (17–۱۷) در مطالعه اثر شخم روی ویژگی‌های بیوفیزیکی خاک در اقلیم پرباران مدیترانه‌ای در جنوب اسپانیا گزارش کردند که کربن فعال خاک در مدیریت خاک‌ورزی حفاظتی به طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم است.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWD)

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب تحت تاثیر خاک‌ورزی، گیاه پوششی و اثر دوگانه آن‌ها قرار گرفت و این تاثیر بسیار معنی‌دار (P <۰/۰۱) بود (جدول ۲). بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (۲/۱۴ میلی‌متر) در تیمار بی خاک‌ورزی با گیاه پوششی خلر مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با MT-C1 نداشت و کمترین مقدار این شاخص (۰/۴۸ میلی‌متر) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی به دست آمد. در کل در همه‌ی خاک‌ورزی‌ها، تیمارهای دارای گیاه پوششی خلر از تیمارهای بدون گیاه پوششی، MWD بیشتری را نشان دادند (شکل ۳). به طور کلی بعد از چهار سال کاربرد مدیریت‌های گوناگون بر روی این زمین، قطر

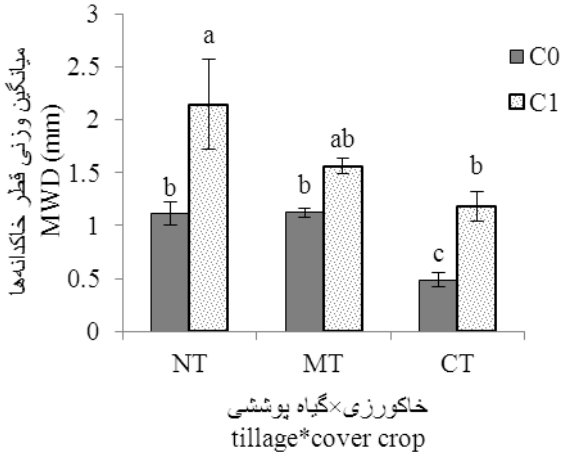
خاکدانه‌ها از ۰/۵ میلی متر در شیوه مدیریتی مرسوم منطقه به ۲/۲ میلی متر در شیوه‌ی مدیریت خاک‌ورزی‌های حفاظتی با گیاه پوششی خلر افزایش یافته است.



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر کربن فعال خاک. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 2- Effects of different tillage and cover crop treatments on soil active carbon. Means followed by similar letter are not significantly different at P < 0.05

علت بالا بودن MWD در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و گیاه پوششی را باید در مانده‌های گیاهی بیشتری که به این تیمارها، در مقایسه با دیگر تیمارها وارد می‌شود جستجو کرد، از سوی دیگر با افزایش پوشش گیاهی، فعالیت میکروبی زیاد و نشر مواد ریشه‌ای و میکروبی افزایش یافته که این مواد سبب افزایش خاکدانه‌سازی می‌شوند (31-۳۱). همچنین خاک‌ورزی حفاظتی مانع از متراکم و خورد شدن خاکدانه‌ها شده است. به‌علاوه، سیستم ریشه‌ای گیاه پوششی به دلیل تراکم کشت بالا و پوشش دادن بیشتر سطح، در افزایش خاکدانه‌سازی و نیز متصل کردن خاکدانه‌های ریز به همدیگر نقش مهمی داشته و MWD را افزایش داده است. داکس و هانگیت (9-۹) در بررسی تجزیه لاشبرگ‌ها در علفزارهای یک ساله کالیفرنیا گزارش کردند که تغییرات در گونه گیاهی، روی توزیع جامعه میکروبی و تولیدات میکروبی مؤثر در بهبود ساختمان خاک تأثیر می‌گذارد. در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی، عملیات گوناگون خاک ورزی، خاکدانه‌های بزرگ را به خاکدانه‌های کوچک‌تر شکسته و از سوی دیگر به علت ماده آلی کم، ایجاد خاکدانه‌های بزرگ نسبت به دیگر تیمارها کمتر شده است.



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 3- Effects of different tillage and cover crop treatments on mean weight diameter. Means followed by similar letter are not significantly different at P < 0.05

نیکپور و همکاران (22–۲۲) در بررسی اثر ویژگی‌های ذاتی خاک بر پایداری ساختمان برخی از خاک‌های استان همدان بیان داشتند که ماده آلی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر پایداری خاکدانه‌ها وMWD خاک‌های مورد بررسی بود.

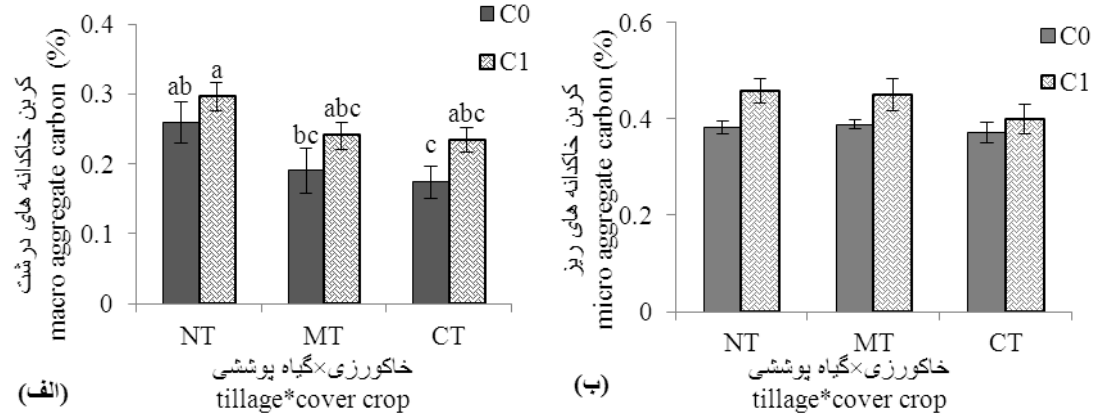
کربن درون خاکدانه‌ها (کربن خاکدانه‌ای)

کربن خاکدانه‌های درشت به صورت معنی‌داری تحت تاثیر خاک‌ورزی ($P <$ ۰/۰۱)، گیاه پوششی ($P <$ ۰/۰۱) و اثر دوگانه آن‌ها ($P <$ ۰/۰۵) قرار گرفت، اما تنها گیاه پوششی ($P <$ ۰/۰۱) بر کربن خاکدانه‌های ریز اثر معنی‌داری داشت و این ویژگی تحت تاثیر خاک‌ورزی و اثر دو گانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی قرار نگرفت (جدول ۲). مقدار کربن خاکدانه‌های درشت (خاکدانه‌های در اندازه ۴ – ۰/۲۵ میلی‌متر) بین ۰/۱۷ – ۰/۲۷ درصد به دست آمد که تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی خلر با داشتن بیشترین مقدار خاکدانه‌های بزرگ و کربن آلی کل، مقدار کربن خاکدانه‌ای بیشتری (۰/۲۷ درصد) را نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی (۰/۱۷ درصد)، با کربن آلی کل کمتر و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های کمتر، نشان دادند (شکل ۴- الف). مقدار کربن خاکدانه‌های ریز (خاکدانه‌های در اندازه ۰/۲۵ – ۰/۰۵۳ میلی‌متر) بین ۰/۳۸–۰/۴۴ درصد به دست آمد که بیشترین مقدار آن (۰/۴۴ درصد) در تیمارهای دارای گیاه پوششی خلر با خاک‌ورزی‌های حفاظتی و کمترین مقدار (۰/۳۸ درصد) آن در تیمارهای بدون گیاه پوششی با خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شد. علاوه براین، این مقادیر در تمامی تیمارهای آزمایشی از مقدار کربن خاکدانه‌های درشت بیشتر می‌باشد.

لازم به ذکر است مقدار کربن خاکدانه‌ها بر پایه وزن خاکدانه‌ها به دست آمده و نسبت به وزن کل خاک، مقدار کربن خاکدانه‌های بزرگ درصد بیشتری را نسبت به کربن خاکدانه‌های ریز شامل می‌شود (داده‌ها منتشر نشده است). بیشتر بودن مقدار کربن خاکدانه‌های درشت در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی نسبت به دیگر تیمارها، و کربن خاکدانه‌های ریز در تیمار دارای گیاه پوششی خلر نسبت به بدون گیاه پوششی، احتمالاً به دلیل افزایش ماده آلی ناشی از گیاه پوششی و فعالیت ریزجانداران و ترشحات ریشه‌ای و همچنین بهم نخوردن خاک و نشکستن خاکدانه‌ها است که باعث افزایش کربن آلی کل و همچنین MWD در این تیمارها شده است، و این شاخص‌ها بر مقدار کربن خاکدانه‌ای تأثیر گذاشته‌اند؛ اما بیشتر بودن مقدارکربن خاکدانه‌ای در خاکدانه‌های ریز، احتمالاً به علت سطح ویژه بیشتر آن‌ها نسبت به خاکدانه‌های بزرگ است که در یک وزن یکسان خاکدانه‌ها، مقدار بیشتری از کربن را در خود نگه‌داری کرده‌اند؛ همچنین می‌تواند به این علت نیز باشد که در خاکدانه‌های بزرگ مقدار شن بیشتر از خاکدانه‌های ریز بوده است. صفری سنجانی (31–۳۱) گزارش کرد خاکدانه‌های بزرگ و مواد آلی درون آن از بخش‌های پاسخ دهنده مواد آلی خاک است که برای ارزیابی پیامد دگرگونی کاربری زمین و شیوه بهره‌برداری از آن بسیار کاربرد دارد.

تنفس پایه

این شاخص تنها تحت تاثیر گیاه پوششی ($P <$ ۰/۰۱) قرار گرفت و از نظر آماری، خاک‌ورزی و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی تاثیر معنی‌داری بر این ویژگی نداشتند (جدول ۲). این تاثیر این‌گونه

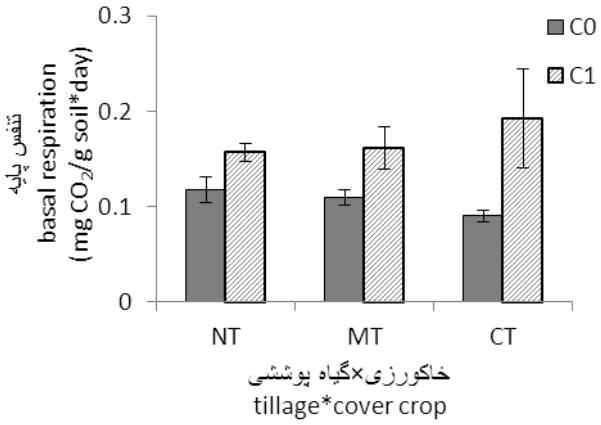


شکل ٤- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر کربن درشت خاکدانه‌ها (الف) و کربن ریز خاکدانه‌ها (ب). میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 4- Effects of different tillage and cover crop treatments on macro aggregate carbon (A) and micro aggregate carbon (B). Means followed by similar letter are not significantly different at P < 0.05

بود که پس از چهار سال اعمال مدیریت‌های مختلف، تیمارهایی که گیاه پوششی خلر دریافت کرده بودند مقدار تنفس پایه خاک را در مقایسه با تیمارهای بدون گیاه پوششی از ۰/۱۱ به ۰/۱۷ (mg CO_2/g soil*day) افزایش دادند. هرچند اثر دو گانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی معنی‌دار نبود، با این حال بیشترین مقدار تنفس (mg CO_2/g soil*day ۱۹) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی مشاهده شد. افزایش تنفس در تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی احتمالاً به این دلیل بود که در روش خاک‌ورزی مرسوم، به هم خوردن خاک باعث می‌شود مواد آلی تازه در اختیار جمعیت میکروبی قرار گرفته، در نتیجه باعث تجزیه بیشتر و سریع‌تر مانده‌های گیاهی شده و کربن و ازت مواد آلی زودتر معدنی می‌شود که متعاقباً مواد آلی سریع‌تر از دست می‌رود. بنابراین بعد از مدتی که این بستره‌ی به آسانی قابل دسترس کاهش پیدا کند این روند نیز متوقف خواهد شد. صرف نظر از این تیمار، بیشترین مقدار تنفس پایه با میانگین ۰/۱۶ mg CO_2/g soil*day در خاک‌ورزی‌های حفاظتی با گیاه پوششی خلر مشاهده شد. در مقابل، کمترین مقدار تنفس پایه در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی با mg CO_2/g soil*day ۰/۰۹ به دست آمد (شکل ۵).

افزایش تنفس پایه در تیمارهای ذکر شده احتمالاً به این علت باشد که تیمارهای دارای گیاه پوششی خلر فعالیت و جمعیت ریزجانداران خاک را از طریق افزایش مواد آلی خاک و همچنین ترشحات ریشه‌ای این گیاهان افزایش می‌دهد؛ تنفس خاک به‌وسیله کربن آلی خاک، به عنوان منبع غذا و انرژی، کنترل می‌شود. مواد آلی می‌توانند همانند منبع کربن و انرژی احتمالا باعث افزایش جمعیت میکروب‌های هتروتروف خاک شده و در نتیجه تنفس میکروبی خاک که شاخص فعالیت میکروبی است را افزایش دهند؛ لازم به یادآوری است که بیشترین درصد کربن آلی کل و کربن فعال در این تیمارها مشاهده شد. همچنین مانده‌های گیاه پوششی باعث حفظ رطوبت و کاهش تبخیر می‌شوند که نسبت به تیمارهای بدون گیاه پوششی باعث افزایش فعالیت میکروبی شده است. غفاری و همکاران (12-۱۲) اظهار داشتند محیط خاک مهم‌ترین عامل محدودکننده فعالیت میکروبی و قابلیت دسترسی به بستره کربن‌دار قابل استفاده است و با ورود سوبسترای کربن‌دار مانند مانده‌های گیاهی به خاک، جمعیت میکروبی به‌خصوص در پیرامون بستره افزایش می‌یابد. رئیسی (28-۲۸) در بررسی معدنی شدن کربن و نیتروژن تحت تاثیر خاک‌ورزی و بقایای محصول در اراضی تالابیِ آهکی ایران گزارش کرد که کمّیت و کیفیت مواد آلی به‌عنوان منبع غذا و انرژی برای ریزجانداران، عامل مهمی در تشدید فعالیت‌های زیستی خاک به‌شمار می‌رود.



شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر تنفس پایه خاک

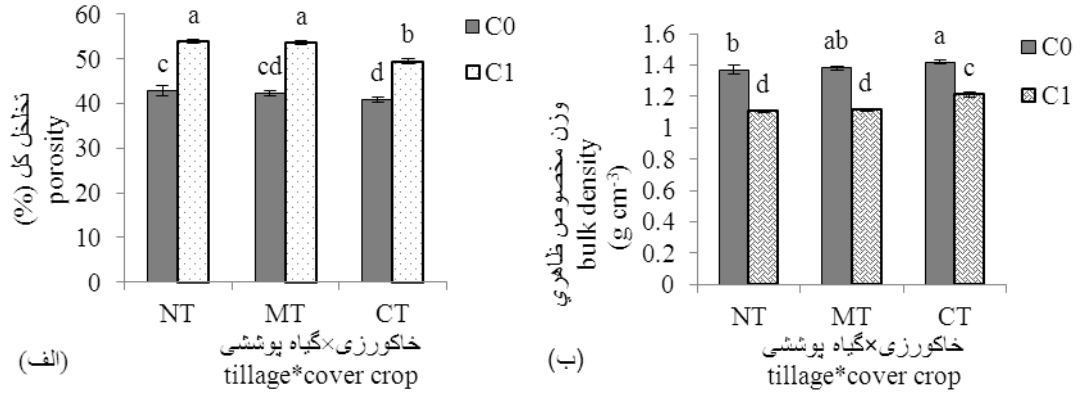
Figure 5- Effects of tillage and cover crop treatments on soil basal respiration

جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک

جرم مخصوص ظاهری و تخلخل از شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک هستند که به شیوه‌های مختلف مدیریتی پاسخ می‌دهند. با توجه به جدول تجزیه واریانس هر دو شاخص تحت تاثیر تیمارها قرار گرفته و این تاثیر از نظر آماری معنی‌داری بود (جدول ۲). اعمال چهار ساله مدیریت‌های گوناگون نشان داد تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی (بی خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کمینه) با گیاه پوششی خلر کمترین جرم مخصوص ظاهری (با میانگین ۱/۱ g/cm^3) و بیشترین مقدار تخلخل (۵۳/۷ درصد) را نسبت به تیمارهای دیگر داشت. در مقابل، CT-C0 بیشترین جرم خصوص ظاهری (۱/۴۲ g/cm^3) و کمترین مقدار

تخلخل (۴۰/۸ درصد) را نشان داد که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار MT-C0 نداشت. بین تیمارهای NT-C0 و MT-C0 نیز تفاوت معنی‌داری برای این دو شاخص مشاهده نشد (شکل ۶). در کل، نه تنها خاک‌ورزی‌های حفاظتی تاثیر قابل توجهی بر بهبود این دو شاخص داشته است، حضور گیاه پوششی نیز باعث بهبود معنی‌دار این ویژگی‌ها در تمام تیمارهای خاک‌ورزی شده است.

تخلخل و جرم مخصوص ظاهری رابطه عکس با همدیگر دارند. افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش تخلخل احتمالاً به دلیل متراکم شدن و تجزیه سریع‌تر مواد آلی خاک، وابسته به عملیات کشت و کار نظیر خاک‌ورزی و عدم ورود مانده‌ها آلی به خاک می‌باشد. احتمالاً بیشترین تأثیر بر این شاخص را افزایش مواد آلی وابسته به مانده‌های گیاه پوششی خلر و کشت اصلی داشته است زیرا در تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی، جرم مخصوص ظاهری به گونه معنی‌داری از خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی کمتر شده است؛ همچنین در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، کرت‌هایی که فاقد گیاه پوششی بوده‌اند متراکم‌تر شده و جرم مخصوص ظاهری خاک در آن‌ها نسبت به کرت‌هایی که گیاه پوششی داشته‌اند افزایش پیدا کرده است و همین روند به گونه عکس برای تخلخل در این تیمارها دیده شد (شکل ۶). برگرداندن مانده‌های گیاهی به خاک به مرور زمان باعث افزایش مواد آلی خاک و بهبود اندازه خاکدانه‌ها شده و به تبع آن سبب افزایش تخلخل و خلل و فرج خاک می‌شود که این موضوع منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد. خاک ورزی‌های حفاظتی نیز از راه تأثیر بر نگهداشت مواد آلی در خاک و همچنین جلوگیری از خرد شدن خاکدانه‌های بزرگ بر کاهش جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک تأثیر بسزایی داشته‌اند. نتایج این پژوهش در خصوص تأثیر مواد آلی بر جرم مخصوص ظاهری و تخلخل با گزارش‌های الس گارد و همکاران (10–۱۰) همسو است اما با گزارش‌های برزگر و همکاران (۵) در بررسی تاثیر تیمارهای خاک‌ورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک که گزارش کردند خاک‌ورزی باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌شود، مخالف است که البته نتایج پژوهش حاضر حاصل مدیریت تلفیقی انواع خاک‌ورزی با گیاه پوششی است که توانسته وضعیت ساختمان خاک را بهبود ببخشد اما این محققان اثر خاک‌ورزی به تنهایی را بر این شانسه‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند.



شکل ٦- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر تخلخل (الف) و جرم مخصوص ظاهری خاک (ب). میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

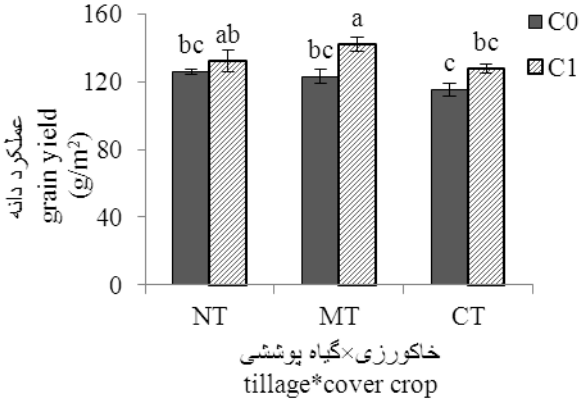
Figure 6- Effects of different tillage and cover crop treatments on porosity (A) and bulk density (B). Means followed by similar letter are not significantly different at P < 0.05

عملکرد دانه کدو تخمه کاغذی

عملکرد دانه کدو تخمه‌کاغذی تحت تأثیر خاک‌ورزی (P<۰/۰۱)، گیاه پوششی (P <۰/۰۱) و برهمکنش خاک‌ورزی در گیاه پوششی (P <۰/۰۱) قرار گرفت که این تاثیرها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه کدو تخمه کاغذی (۱۴۲/۰ g/m^2) در تیمار خاک‌ورزی کمینه با گیاه پوششی خلر به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار NT-C1 نداشت و کمترین عملکرد دانه کدو (۱۱۵/۳ g/m^2) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی مشاهده شد، اما با تیمارهای NT-C0، MT-C0 و CT-C1 در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۷). با توجه به اینکه مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی‌های حفاظتی با گیاه پوششی پس از چهار سال، ویژگی‌های خاکی همانند مقدار کربن آلی خاک، فعالیت میکروبی، آنزیمی، پایداری خاکدانه‌ها، و به تبع وضعیت عناصر غذایی قابل دسترس (۱۱) را نسبت به مدیریت‌های دیگر بهبود بخشیده است، بنابراین بالا بودن عملکرد دانه کدو تخمه‌کاغذی در این ترکیب تیماری دور از انتظار نیست. بالا بودن عملکرد در تیمار MT-C1 نسبت به تیمار NT-C1 هر چند از نظر آماری معنی‌دار نبود، احتمالاً

به دلیل نفوذ و جاگیری بهتر ریشه‌ها در اثر شیارهای ایجاد شده در این خاک‌ورزی می‌باشد. اما از دیگر عواملی که در مزرعه‌ی مورد آزمایش دیده شد، می‌توان به اثر آبیاری بارانی اشاره کرد. در کرت های دارای گیاه پوششی قطرات آب مستقیم به سطح خاک برخورد نمی‌کرد و گیاهچه‌ها به‌راحتی از خاک خارج می‌شدند ولی در کرت‌های بدون گیاه پوششی، مخصوصاً در خاک‌ورزی مرسوم، با برخورد قطرات به سطح خاک، ذرات خاک و آب روی گیاهچه‌ها می‌پاشید و این امر باعث سوختگی گیاهچه‌ها شده که می‌تواند فتوسنتز را نیز کاهش دهد. همچنین در این تیمارها، سطح خاک بعد از خشک شدن سله می‌بست و ایجاد مقاوت در برابر رشد گیاه می‌کرد که به نظر می‌رسد همین عوامل بر عملکرد گیاهی تأثیر بسزایی داشته و باعث شده تیمارهای بدون گیاه پوششی با تأخیر در روند رشد، گیاهانی ضعیف‌تر و درنتیجه عملکرد کمتری نسبت به تیمارهای دارای گیاه پوششی داشته باشند.

ردیکتی و همکاران (27–۲۷) در بررسی اثر مدیریت خاک‌ورزی-های گوناگون و گیاهان پوششی مختلف زمستانه در یک محیط مدیترانه‌ای بر عملکرد بادمجان به این نتیجه رسیدند که خاک‌ورزی کمینه با گیاهان پوششی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم با همان گیاهان پوششی عملکرد بیشتری داشتند؛ همچنین وزن کاه و کلش بیشتری را نیز در تیمار خاک‌ورزی کمینه با گیاه پوششی دیدند. آنها گزارش کردند تیمارهایی که گیاهان پوششی دریافت می‌کنند نسبت به تیمارهای بدون گیاه پوششی عملکرد بیشتری داشتند. رمرودی و همکاران (۲۹) در بررسی اثرات گیاهان پوششی، سیستم‌های خاک-ورزی و کود نیتروژن بر برخی خصوصیات خاک و عملکرد سورگوم علوفه‌ای، علت افزایش عملکرد علوفه سورگوم در تیمارهای گیاهان پوششی را به تجزیه و آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی به ویژه نیتروژن، و کاهش آبشویی این عنصر نسبت دادند.



شکل ۷- اثر تیمارهای مختلف خاک ورزی و گیاه پوششی بر عملکرد دانه کدو تخمه کاغذی. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 7- Effects of different tillage and cover crop treatments on grain yield in *Cucurbita pepo*. Means followed by similar letter are not significantly different at P < 0.05

نتیجه‌گیری

پس از چهار سال اعمال تیمارهای خاک‌ورزی و گیاه پوششی، مدیریت تلفیقی گیاه پوششی خلر با خاک‌ورزی‌های حفاظتی به عنوان بهترین مدیریت شناسایی شد چرا که از جهات مختلفی توانست کیفیت خاک و عملکرد گیاهی را افزایش دهد. این مدیریت تلفیقی با افزایش میزان مواد آلی و ترسیب آن در خاک، موجب بهبود فعالیت میکروبی و آنزیمی خاک و فراهم نمودن بهتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شده و تلفات عناصر را از خاک کاهش می‌دهد و ضمن دستیابی به عملکرد مطلوب، تداوم آن را در طی زمان حفظ می‌کند. به هم نخوردن ساختمان خاک در روش بی‌خاک‌ورزی و افزایش مواد آلی در اثر بهره‌گیری از گیاه پوششی خلر، باعث حفظ و ارتقاء بیشتر ویژگی‌های مهم خاک ازجمله پایداری خاکدانه‌ها و پیدایش خاکدانه‌های درشت خاک می‌شود که نهایتاً باعث حفاظت خاک می‌گردد.

شکستن خاکدانه‌ها به‌وسیله خاک‌ورزی مرسوم نیز دلیلی برای هدرروی مواد آلی خاک می‌باشد. خاکدانه‌های درشت نسبت به خاکدانه‌های کوچک در برابر تنش‌های مکانیکی حاصل از شخم مرسوم مقاومت کمی نشان می‌دهند و این امر سبب می‌شود مواد آلی منافذ درونی در برابر هوا قرار گیرند و بیشتر اکسید شوند.

منابع

1- A´lvaro-Fuentes J., Lo´pez M.V., Arru´e J.L., and Cantero-Martı´nez C. 2008. Management effects on soil carbon dioxide fluxes under semiarid Mediterranean conditions. Soil Science Society of America Journal | Digital Library. 72(1): 194–200.
2- Aziz I., Mahmood T., and Islam K.R. 2013. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. Soil and Tillage Research, 131: 28–35.
3- Bahrani M.J., Raufat M.H., and Ghadiri H. 2007. Influence of wheat residue management on irrigated corn grain production in a reduced tillage system. Soil and Tillage Research, 94: 305-309.
4- Baldock J.A., and Nelson P.N. 2000. Soil organic matter. p. 25-84. In: SUMNER, M.E., ed. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC Press.
5- Barzegar A.R., Asoodar M.A., Khadish A., and Hashemi A.M. 2003. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. Soil and Tillage Research, 71: 49-57.
6- Bhattacharyya P., Chakrabarti K., and Chakraborty A. 2005. Microbial biomass and enzyme activities in submerged rice soil amended with municipal solid waste compost and decomposed cow manure. Chemosphere, 60: 310-318.
7- Borie F., Rubio R., Rouanet J.L., Morales A., Borie G., and Rojas C. 2006. Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. Soil and Tillage Research, 88: 253-261.
8- Dhainaut Medina D.S. 2015. Long-term reduced tillage and cover cropping change soil chemical properties under irrigated Mediterranean conditions. MS Thesis. University of California Davis, (66 p).
9- Dukes J.S., and Hungate B.A. 2002. Elevated carbon dioxide and litter decomposition in California annual grasslands: which mechanisms matter? Ecosystem, 5: 171– 183.
10- Elsgaard L., Petersen S.O., and Debosz K. 2001. Effect and risk assessment of linear alkylbenzenesulfonate (LAS) in agricultural soil. 2. Effects on soil microbiology as influenced by sewage sludge and incubation time. Environmental Toxicology and Chemistry, 20: 1664–1672.
11- Esfandiary Ekhlas ES. 2016. Effect of different tillage systems, cover crop and intercropping on some of soil quality indicators in Dastjerd region, Hamadan. MS Thesis. Bu-Ali Sina University, Hamedan (In Persian with English abstract).
12- Ghaffari M., Ahmadvand G., Ardakani M.R., Mosaddeghi M.R., Yeganehehpoor F., Gaffari M., and Mirakhori M. 2012. Effect of Cover Crop Residues on Some Physicochemical Properties of Soil and Emergence Rate of Potato. Journal of Crop Ecophysiology, 6(1): 79-90. (In Persian with English abstract).
13- Graham M.H., Haynes R.J., and Meyer J.H. 2002. Soil organic matter content and quality: EVects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. Soil Biology and Biochemistry, 34: 93–102.
14- Iran Weather. 2014. Retrieved august 20, 2016. From http://www.accuweather.com/en/ir/iran-weather.
15- Liu E., Teclemariam S.G., Yan C., Yu J., Gu R., Liu S., He W., and Liu Q. 2014. Long-term effects of no-tillage management practice on soil organic carbon and its fractions in the northern China. Geoderma, 213: 379–384.
16- Loos J., Abson D.J., Chappell M.J., Hanspach J., Mikulcak F., Tichit M., and Fischer J. 2014. Putting meaning back in to "sustainable intensification". Frontiers in ecology and the environment, 12:356–361.
17- Lopez-Garrido R., Deurer M., Madejo´n E., Murillo J.M., and Moreno F. 2012. Tillage influence on biophysical soil properties: The example of a long-term tillage experiment under Mediterranean rainfed conditions in South Spain. Soil and Tillage Research, 118: 52–60.
18- Messiga A.J., Sharifi M., Hammermeister A., Gallant K., Fuller K., and Tango M. 2015. Soil quality response to cover crops and amendments in a vineyard inNova Scotia, Canada. Scientia Horticulturae, 188: 6–14.
19- Mitchell J.P., Shrestha A., Horwath W.R., Southard R.J., Madden N.M., Veenstra J., and Munk, D.S. 2015. Tillage and cover cropping affect crop yields and soil carbon in the San Joaquin Valley. Calif. Agronomy Journal, 107, 588–596.
20- Mitchell J.P., Shrestha A., Mathesius K., Scow K.M., Southard R.J., Haney R.L., Schmidt R., Munk D.S., and Horwath W.R. 2017. Cover cropping and no-tillage improve soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley, USA. Soil and Tillage Research, 165: 325–335.
21- Muscas E., Cocco A., Mercenaro L., Cabras M., Lentini A., Porqueddu C., and Nieddu G. 2017. Effects of vineyard floor cover crops on grapevine vigor, yield, and fruit quality, and the development of the vine mealybug under a Mediterranean climate. Agriculture, Ecosystems and Environment, 237: 203–212.
22- Nikpoor M., Mahboubi A.A., Mosadeghi M.R., and Safadoust A. 2010. Investigating the Effect of Soil innate Properties on structure Sustainability in Some Soils of Hamadan. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, 15(58): 85-96. (In Persian).
23- Novara A., Gristina L., La Mantia T., Rühl J. 2013. Carbon dynamics of soil organic matter in bulk soil and

aggregate fraction during secondary succession in a Mediterranean environment. Geoderma, 193–194: 213–221.
24- Palm C.A., Gachengo C.N., Delve R.J., Cadisch G., and Giller K.E. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. Agriculture Ecosystems and Environment, 83:27-42.
25- Plaza-Bonilla D., Nolot J.M., Passot S., Raffaillac D., and Justes E. 2016. Grain legume-based rotations managed under conventional tillage need cover crops to mitigate soil organic matter losses. Soil and Tillage Research, 156: 33–43.
26- Poeplau C., and Don A. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—a meta-analysis. Agriculture ecosystems and environment, 200: 33–41.
27- Radicetti E., Mancinelli R., Moscetti R., and Campiglia E. 2016. Management of winter cover crop residues under different tillage conditions affects nitrogen utilization efficiency and yield of eggplant (*Solanum melanogena* L.) in Mediterranean environment. Soil and Tillage Research, 155: 329–338.
28- Raiesi F. 2006. Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment, 112: 3-20.
29- Ramroudi M., Majnoun Hosseini N., Hosseinzadeh A.H., Mazaheri D., and Hosseini M.B. 2011. Evaluating the effects cover crops, tillage systems and nitrogen rates on soil properties and sorghum forage yields. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 92: 18-23. (in Persian with English abstract).
30- Raoufat M.H., and Mahmodieh R.A. 2005. Stand establishment responses of maize to seedbed residue, seed drill coulters and primary tillage systems. Bio systems Engineering, 90 (3): 261-269.
31- Safari Sinegani A.A. 2015. Soil organic matter. Bu-Ali Sina University Publication. p.364. (in Persian).
32- Safari Sinegani A.A., Sharifi Z., and Safari Sinegani M. 2010. Laboratory Methods in Biology. Bu-Ali Sina University Publication, (in Persian).
33- Salinas-Garcıa J.R., Velazquez-Garcıa J.D.J., Gallardo-Valdez M., Dıaz-Mederos P., Caballero-Hernandez F., Tapia-Vargas L.M., and Rosales-Robles E. 2002. Tillage effects on microbial biomass and nutrient distribution in soils under rain-fed corn production in central-Western Mexico. Soil and Tillage Research, 66 (2): 143–152.
34- Soil Science Society of America (SSSA). 2015. https://www.soils.org/IYS.
35- Velten S., Leventon J., Jager N., and Newig J. 2015. What is sustainable agriculture? A systematic review. Sustainability, 7: 7833–7865.
36- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. Experimental soil science, 79: 459-465.
37- Weil R.R., Islam K.R., Stine M.A., Gruver J.B., and Samson-Liebig S.E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. American Journal of Alternative Agriculture, 18: 3–17.
38- Youker R.E., and McGuiness J.L. 1957. A short method of obtaining mean weight diameter values of aggregate analysis of soils. Soil Science Society of America, 83: 291-294.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 1, Mar.-Apr. 2018, p. 113-126

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۷، ص. ۱۲۶-۱۱۳

The Response of Selected Soil Quality Indices and Crop Yield to Integrated Management of Tillage and Cover Cropping in *Cucurbita pepo*Cultivation

E. Esfandiary ekhlas[1]- M. Nael[2*]- M. Sheklabadi[3]- J. Hamzei[4]- A.A. Safari sinegani[5]

Received: 13-08-2017
Accepted: 15-01-2018

Introduction: Soil is a finite natural resource and non-renewable under agricultural production without implementation of sustainable management practices. Ecological sustainability of agroecosystems can be comparatively assessed by soil quality evaluation, which in turn is assessed by soil quality indices. Soil quality is the general term used to refer to "the continued capacity of soil to function as a vital living system, within ecosystem and land-use boundaries, to sustain biological productivity, maintain the quality of air and water environments, and promote plant, animal, and human health". Conservation tillage and use of cover crops are some of the sustainable agriculture practices that can improve the soil quality by adding organic matter and nutrients, and by acting as scavengers to trap leftover nutrients that otherwise might leach out. Cover crops are used as ground cover, mulches, green manure, nurse crops, smother crops, and forage and food for animals or humans. Given the significant role of tillage practices and crop residue management in soil quality improvement and crop production, a four-year field experiment was conducted to determine selected soil quality indices and Cucurbitapepo yield under different tillage and legume cover crop managements in Hamadan.

Materials and Methods: A four-year field experiment (2011-2014) was carried out at Bu-Ali Sina University experimental field in Dastjerd, Hamadan, as a factorial experiment in randomized complete block design with three replications. The area is located at 37 km of Hamadan, on 35◦ 01' N latitude and 48◦ 31' E langitude with 330 mm annual rainfall and 1690 m altitude. The treatments consisted of three levels of tillage practices (NT: no-till (direct seeding), MT: minimum tillage (chisel plowing + disk) and CT: conventional tillage (moldboard plowing + disk)) and two levels of cover cropping (C1: with legume cover crop (lathyrus sativus) and C0: without cover crop). These treatments were applied for four consecutive years in a way that lathyrus sativus as cover crop were planted in late winter for each year and returned to the soil surface with a trowel when 30% of the field was flowered. One week later, and prior to the cultivation of main crop, the mentioned tillage treatments were implemented. In the fourth year of the project,Cucurbita pepo was planted as the main crop. Soil and plant (Cucurbita pepo) were sampled early autumn (2014) and were analyzed for soil organic carbon, soil active carbon, macro and micro-aggregate carbon, mean weighted diameter of water stable aggregates, soil bulk density, basal microbial respiration and grain yield. Obtained data were analyzed using statistical software SAS 9.4 and the means were compared using LSD multiple range test at 5 percent level.

Results and Discussion: The results revealed that total organic carbon, active carbon, aggregate carbon, mean weighted diameter of water stable aggregates, bulk density, porosity and basal respiration were significantly affected by cover crop and tillage system so that the highest amount of these indicators were obtained in no-tillage system with cover crop treatment (NT-C1) and the lowest amounts were observed in the conventional tillage without cover crop (CT-C0). For instance, mean soil organic carbon increased from 0.4 percent in CT-C0 to about 0.7 percent in NT-C1. For majority of soil quality indices, no significant difference was observed between minimum and no-till; moreover, the application of cover crop in conventional tillage improved some aspects of soil quality. For instance, MWD was the highest (2.14 mm) in NT-C1, and was not significantly different with that of MT-C1 treatment. On the contrary, this index was significantly the lowest (0.48 mm) in CT-C0. The C. pepo grain yield was also significantly affected by tillage system, cover crop and their interactions. The highest grain yield (142.1 g.m¬-2) was obtained in MT-C1 treatment, which did not show significant difference with NT-C1 treatment. The lowest C. pepo grain yield (115.3 g.m¬-2) was observed in conventional tillage without cover crop (CT-C0) treatment, but it was in a same statistical group with NT-C0, MT-C0 and CT-C1 treatments. Cover crop increased organic carbon, active carbon, porosity, bulk density, microbial biomass activity and MWD by enhancing soil organic matter, probably; conservation tillage on its part further improved these effects by preventing the rapid decomposition of organic matter by reduced soil

1, 2, 3 and 5- PhD student, Assistant Professors and Professor of Soil Science, Soil Science Department, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Respectively
(*-Corresponding Author Email: moh_nael@yahoo.com)
4- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

destruction, which eventually increased soil organic carbon, active carbon and production of stable aggregates .

Conclusions: Generally, after four years of applying different tillage practices and cover cropping, it was demonstrated that the integrated management of the conservation tillage (either no-tillage or minimum tillage) with legume cover cropping was the most appropriate management in the semi-arid region of Hamadan in view of selected soil quality indices and crop yield improvements.

Keywords: Conservation tillage, Hamadan, Organic carbon fractions, Sustainable agriculture