Archive of SID

تأثیرکوتاه مدت خاک‌ورزی حفاظتی و گیاه پوششی کلزا بر برخی شاخص‌های زیستی کیفیت خاک و عملکرد آفتابگردان در منطقه دستجرد (همدان)

شیلان فعله گری[۱]، محسن نائل[۲]*، جواد حمزه ئی[۳]، علی اکبر صفری سنجانی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱)

چکیده

مطالعه شاخص‌های زیستی کیفیت خاک اهمیت و کاربرد زیادی در ارزیابی پایداری اکولوژیک بوم نظام‌های زراعی دارند. این آزمایش، با هدف بررسی تأثیر چهار ساله‌ی روش‌های مختلف خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی مرسوم) در شرایط حضور و عدم حضور گیاه پوششی کلزا بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد آفتابگردان در منطقه دستجرد همدان اجرا شد؛ آزمایش با آرایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تمامی ویژگی‌های مورد بررسی شامل کربن آلی، فراهمی فسفر، تنفس میکروبی، فعالیت آنزیم فسفاتاز، فعالیت آنزیم پروتئاز و عملکرد دانه آفتابگردان به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی و گیاه پوششی قرار گرفتند، برهمکنش خاک‌ورزی و گیاه پوششی برای کربن آلی و آنزیم فسفاتاز در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد، اما برای دیگر شاخص-های مورد مطالعه معنی‌دار نبود. در تیمار خاک‌ورزی حداقل+گیاه پوششی میزان کربن آلی ۲/۵ و تنفس میکروبی ۱/۵ برابر نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم+بدون گیاه پوششی (شاهد) افزایش داشت؛ این افزایش برای سایر شاخص‌ها نیز مشاهده شد (فسفر فراهم ۸۰ درصد، فعالیت آنزیم فسفاتاز ۵۹ درصد، آنزیم پروتئاز ۸۴ درصد و عملکرد دانه آفتابگردان ۳۴ درصد). بعد از تیمار خاک‌ورزی حداقل+گیاه پوششی، در تیمار بدون خاک‌ورزی+گیاه پوششی بیش‌ترین مقدار شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. اعمال تیمارهای خاک‌ورزی حداقل و کشت گیاه پوششی کلزا موجب افزایش ذخایر مواد آلی، فعالیت زیستی خاک و عملکرد دانه آفتابگردان گردید.

واژه‌های کلیدی: کیفیت خاک، خاک‌ورزی، گیاه پوششی، فعالیت آنزیمی، تنفس میکروبی

فعله گری ش.، نائل م.، حمزه‌ئی ج.، صفری سنجانی ع.ا. ۱۳۹۸. تأثیرکوتاه مدت خاک‌ورزی حفاظتی و گیاه پوششی کلزا بر برخی شاخص‌های زیستی کیفیت خاک و عملکرد آفتابگردان در منطقه دستجرد (همدان). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷ شماره ۱. ص: ۱-۱۵.

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان
۲-استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان(مکاتبه کننده)
۳-دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان
٤ – ا ستـا د گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان
*پست الکترونیک: m.nael@basu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

عکس العمل کربن خاک، زیست توده و ساختار جامعه میکروبی به شیوه‌های مدیریت خاک یکی از مهم‌ترین جنبه‌های کیفیت خاک را شامل می‌شود (Guo *et al*., 2015). شاخص‌های کیفیت خاک بر اساس اینکه چه کمکی به عملکرد محصول، چرخه عناصر غذایی و کیفیت محیط زیست می‌کنند، انتخاب خواهند شد (Arshad & Martin, 2002). نوع سیستم خاک‌ورزی نه تنها میزان کیفیت خاک و درجه تخریب در اکوسیستم‌های کشاورزی را تعیین می‌کند، بلکه بر نرخ ترسیب کربن در خاک و تولید گازهای گلخانه‌ای هم‌چون CO2 تأثیر می‌گذارد (Willekens *et al*., 2014).

در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در دنیا بسیار مورد توجه قرار گرفته و استفاده از روش خاک‌ورزی مرسوم در برخی از نقاط دنیا منسوخ شده است. خاک‌ورزی حفاظتی یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای نیل به کشاورزی پایدار است که در آن حداقل ۳۰ درصد زمین در زمان کاشت گیاه، پوشیده از بقایای گیاهی می‌باشد (Imaz *et al*., 2010). سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی معمولا در مناطق خشک و نیمه خشک اجرا می‌شود. در مناطق نیمه خشک کلید افزایش تولید گیاهان زراعی به حداکثر رساندن نفوذ آب‌های سطحی است. به‌علاوه، تکنیک‌هایی که منجر به کاهش تبخیر از خاک در هنگام خشکی و افزایش مقدار آب در دسترس گیاهان می‌شود، بسیار حائز اهمیت می‌باشند (Castellini & Ventrlla, 2012).

عملیات شخم فشرده در یک مقیاس بزرگ می‌تواند منجر به کاهش ماده آلی خاک، باروری و در نهایت کیفیت خاک در اکوسیستم مناطق خشک و نیمه خشک شود (Abdullah, 2014). در مقابل، سیستم خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل افزایش ماده آلی خاک و برهم زدن کم‌تر خاک می‌تواند میزان فعالیت‌های زیستی و جمعیت‌های ریزجانداران خاک را افزایش دهد؛ هرچند پاسخ خاک به سیستم خاک‌ورزی حفاظتی منوط به سپری شدن یک دوران گذراست (Simmons & Colman, 2008).آنزیم‌های خاک به دلیل ارتباط نزدیک با ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک، سهولت در اندازه‌گیری و پاسخ‌دهی سریع به تغییرات مدیریت خاک به عنوان شاخص‌های مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک معرفی شده اند؛ از این رو، قادرند تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی را بر محیط خاک نشان دهند (Alvaro-Fuents, 2013). آنزیم‌ها به طور طبیعی دارای قابلیت تحرک بسیار پایینی در خاک هستند، بنابراین، برای اینکه آنزیم بیش‌ترین تأثیر را داشته باشد لازم است بستره نزدیک به نقطه منشأ آنزیم باشد. در این میان ماده آلی خاک یک حامل آلی برای آنزیم‌های خاک به شمار می‌رود (Wang *et al*., 2012). زیست توده جمعیت میکروبی و فعالیت آنزیمی خاک حساسیت بیش‌تری نسبت به کربن آلی کل در برابر اختلال خاک ناشی از عملیات شخم فشرده دارند (Laudicina *et al*., 2011). به علاوه، تنفس میکروبی خاک یک شاخص مهم برای برآورد کمّی زیست توده میکروبی خاک، فعالیت ریزجاندارن، و بخش بسیار فعال و ناپایدار کربن خاک است (Jun, 1996).

هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی[1]، خاک‌ورزی حداقل[2] و خاک‌ورزی مرسوم[3]) و حضور و عدم حضور گیاه پوششی کلزا بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک و ویژگی‌های زراعی شامل: فعالیت آنزیم فسفاتاز، فعالیت آنزیم پروتئاز، تنفس میکروبی خاک، کربن آلی، فسفر فراهم و عملکرد دانه آفتابگردان در منطقه دستجرد همدان و در نهایت معرفی پایدارترین مدیریت از بین مدیریت‌های مورد مطالعه در این منطقه می‌باشد. فرضیات مورد آزمون در این تحقیق عبارتند از: ۱- مدیریت تلفیقی کشت گیاه پوششی و خاک‌ورزی حفاظتی (بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل) در مقایسه با مدیریت مرسوم (خاک‌ورزی مرسوم، بدون گیاه پوششی) در یک دوره چهار ساله، از طریق بهبود کیفیت خاک بر عملکرد آفتابگردان تأثیر مثبت دارد؛ ۲- با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مطالعاتی و سرعت نسبتاً پایین تجزیه بقایای گیاهی، تأثیرات مثبت خاک‌ورزی حداقل بر کیفیت خاک و عملکرد گیاه، نسبت به بدون خاک‌ورزی بیش‌تر است.

1- No tillage
2- Minimum tillage
3 -Conventional tillage

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا با ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی واقع در ۵ کیلومتری غرب روستای دستجرد انجام شد. ارتفاع از سطح دریا در محل اجرای طرح ۱۶۹۰ متر برآورد شده است. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای طرح در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- برخی از ویژگی های خاک مزرعه مطالعاتی قبل از اجرای پژوهش (سال ۱۳۹۰)

Table1. Selected soil properties of the experimental field prior to the beginning of the study (in 2011)

N (%)	K (ppm)	P (ppm)	Soil Texture	OC (%)	pH	EC ($ds\ m^{-1}$)	CEC ($Cmol^{+}\ kg^{-1}$)
0.13	220	8.2	Clay Loam	0.72	7.46	0.41	14

CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی؛ Ece: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

CEC: Cation Exchangeable Capacity; Ec_e: Electrical Conductivity of soil saturation extract

تیمارها شامل نظام‌های خاک‌ورزی متفاوت (بدون خاک-ورزی (NT)، خاک‌ورزی حداقل (MT) و خاک‌ورزی مرسوم (CT)) و کشت (C1) و عدم کشت (C0) گیاه پوششی، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل و در سه تکرار اجرا شد. سیستم‌های خاک‌ورزی و کشت و عدم کشت گیاه پوششی به صورت سه سال متوالی (از سال ۹۰ تا سال ۹۲) بر روی زمین مورد نظر اعمال شده و مطالعه حاضر که در سال ۹۳ انجام گرفت، چهارمین سال اجرای این طرح می‌باشد.

در سال چهارم اجرای طرح، کلزا (*Brassica napus L.*) به عنوان گیاه پوششی و آفتابگردان (*Helianthus annus*) به عنوان گیاه اصلی کشت شد (لازم به ذکر است در سه سال نخست این طرح، ماشک به عنوان گیاه پوششی و ذرت به عنوان گیاه اصلی کشت شده بود). در قسمتی از هر کرت اصلی (متعلق به یک تیمار خاک‌ورزی خاص) گیاه پوششی کلزا رقم هایولا ۴۰۱ کشت و قسمت باقی‌مانده به‌صورت آیش (بدون گیاه پوششی) در نظر گرفته شد. عملیات کاشت گیاه پوششی کلزا به صورت خشکه‌کاری و دستی به میزان ۶ کیلوگرم در هکتار در اسفند ۹۲ انجام گردید. در اردیبهشت ۹۳، زمانی که حدودا ۳۰ تا ۴۰ درصد کلزا به گُل رفته بود، گیاه پوششی کف برشده و با یک دیسک سطحی در سطح زمین رها شد، و در کرت‌هایی که بدون گیاه پوششی بودند نیز علف‌های هرزی که رشد کرده بودند از سطح خاک جمع‌آوری و بیرون برده شدند. بعد از گذشت یک هفته از زمان قطع گیاه پوششی کلزا، زمین با ادوات مخصوص برای هر نوع از نظام‌های خاک‌ورزی به شرح زیر تیمار شد. برای اجرای خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان‌دار + دیسک بهره‌گیری شد. عمق شخم گاو آهن برگردان دار ۱۵ سانتی متر بود و حدود ۵ درصد از بقایای کلزا در سطح خاک باقی ماند. برای انجام خاک-ورزی حداقل از گاوآهن چیزل که شمع کوب نیز به آن وصل بود، بهره‌گیری شد. عمق برش خاک در این نوع خاک‌ورزی ۱۰ سانتی‌متر بود.

در کرت‌های بدون خاک‌ورزی هیچ‌گونه عملیاتی انجام نشد و کلیه بقایای کلزا در سطح خاک به‌صورت پوشش باقی ماند. درنهایت در اواسط خرداد و دو هفته بعد از قطع کردن کلزا و اعمال تیمارهای مختلف خاک‌ورزی، آفتابگردان آجیلی (گیاه اصلی) رقم کانفتا کشت گردید. کاشت آفتابگردان در سال چهارم زراعی با تراکم هشت بوته در مترمربع با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۷۵ سانتی‌متر انجام و در هر کرت شش ردیف کشت شد. پس از کاشت آفتابگردان، بلافاصله آبیاری به-صورت بارانی از منبع چاه و به فاصله زمانی هر ۶ روز یک-بار انجام شد.

بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار در سه مرحله (۵۰ درصد در زمان کاشت، ۲۵ درصد در زمان ظهور طبق‌ها و ۲۵ درصد در زمان گل دهی) به خاک اضافه گردید. همچنین، تیمارهایی که در آن‌ها باید کنترل علف‌های هرز صورت می‌گرفت به‌طور مرتب و به محض رؤیت علف‌هرز وجین به‌صورت دستی انجام گردید. نمونه‌برداری از گیاه آفتابگردان پس از رسیدگی محصول و یک هفته بعد از آخرین آبیاری انجام گردید به‌این صورت که دو ردیف کناری به‌عنوان حاشیه منظور شد و از چهار ردیف باقی مانده (سطحی معادل دو

www.SID.ir

Archive of SID

مترمربع) از هرکرت برداشت و براساس آن عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری از خاک در شهریور ماه ۹۳ (نشان‌دهنده تغییرات ناشی از چهار سال اعمال مدیریت‌ها) پس از گذشت یک هفته از برداشت محصول انجام گردید. از هر کرت آزمایشی سه نمونه خاک ترکیبی (هر نمونه، ترکیب دو زیرنمونه) از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک تهیه گردید. بخشی از هر نمونه، برای انجام آزمایش های فیزیکی و شیمیایی هوا خشک و از الک عبور داده شد، و بخش دیگر برای اندازه‌گیری شاخص‌های زیستی (فعالیت آنزیم فسفاتاز، آنزیم پروتئاز و تنفس پایه) در یخچال و در دمای ۴ °C نگهداری شد.برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک از روش والکی بلک (Walkley & Black, 1934) استفاده شد. آنزیم فسفاتاز به روش طباطبائی و برمنر (Tabatabai & Bermner, 1969)، آنزیم پروتئاز به روش لد و بالتر (Ladd & Bulter, 1982) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری تنفس پایه، نمونه خاک نگهداری شده در یخچال در داخل ظروف شیشه‌ای مخصوص (جار) یک لیتری ریخته شد و در کنار محلول هیدروکسید سدیم به مدت ۷ روز در دمای ۲۵°c انکوباسیون گردید. پس از انکوباسیون ظروف با 0.1 HCl مولار تیتر شد و مقدار تنفس پایه بر حسب $mgCO_2\ dwt^{-1}.week^{-1}$ برآورد شد (Isermeyer, 1952). عملکرد دانه آفتابگردان پس از خشک شدن ساقه گیاه آفتابگردان اندازه‌گیری شد. به این ترتیب که بعد از جدا کردن دانه‌های آفتابگردان از طبق و خشک شدن آنها، دانه‌ها وزن شد و میانگین وزنی دانه‌های آفتابگردان به‌عنوان عملکرد دانه برای هر کرت در نظر گرفته شد. تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح آماری ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

باتوجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول۲)، تأثیر تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر تمامی شاخص‌های مورد مطالعه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. اما برهمکنش دو تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی تنها برای شاخص‌های کربن آلی و آنزیم فسفاتاز در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد.

کربن آلی

میانگین کربن آلی در تیمار MT-C1 با مقدار ٪۱/۰۴ به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بیش‌تر بود. بعد از تیمار MT-C1 بیش‌ترین مقدار کربن آلی را تیمار NT-C1 با مقدار ۰/۸۴ درصد به خود اختصاص داد؛ و کم‌ترین میزان کربن آلی در تیمار CT-C0 با مقدار ٪۰/۴۵ اندازه‌گیری شد. تیمارهای CT-C1 و NT-C0 تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۳).

کربن آلی پیش از اجرای طرح در سال ۹۰ برابر ۰/۷۲ درصد اندازه‌گیری شد (جدول ۱)، اما در پایان اجرای چهارساله مدیریت‌های خاک‌ورزی و گیاه پوششی، در تیمار خاک‌ورزی حداقل همراه با کشت گیاه پوششی به مقدار ۴۴/۵درصد افزایش داشت. لازم به ذکر است در این مطالعه مقدار اولیه بقایای گیاه پوششی اضافه شده به تیمارهای خاک‌ورزی مختلف مشابه بود، بنابراین تفاوت مشاهده شده در کربن آلی بین سیستم‌های خاک‌ورزی مختلف نتیجه‌ی سطوح مختلف اختلاط خاک و مخلوط شدن بقایای گیاه پوششی با خاک است. دو تیمار CT-C1 و NT-C0 از نظر میزان کربن آلی در یک گروه آماری قرار گرفتند، با این وجود کربن آلی در NT-C0 کمی بیش‌تر از تیمار CT-C1 اندازه گیری شد (۵٪). به نظر می رسد از یک طرف، در تیمار NT-C0 عدم حضور گیاه پوششی، توسط بقایای گیاه اصلی که هر ساله در سطح خاک، و بدون اختلاط با آن، باقی گذاشته می‌شود جبران شده باشد؛ بقایای ریشه گیاه اصلی نیز در ورود کربن آلی به خاک این تیمار نقش بسزایی دارد. از طرف دیگر، هرچند تیمار CT-C1 هر ساله گیاه پوششی دریافت کرده است، ولی به دلیل اعمال شخم برگردان و اختلاط کامل آنها با خاک تجمع کربن آلی در خاک محدود بوده است، به طوری که مقدار کربن آلی در این تیمار به لحاظ آماری تفاوتی با کشت مرسوم منطقه (CT-C0) ندارد.

کبیری و همکاران (Kabiri *et al*., 2016) در بررسی سیستم‌های خاک‌ورزی متفاوت بر ویژگی‌های زیستی خاک گزارش کردند میزان کربن بالا در زیست توده میکروبی خاک تحت تأثیر اعمال سیستم خاک‌ورزی MT نسبت به NT نشان دهنده این است که کربن آلی بیش‌تری در تیمار MT نسبت به تیمار NT وجود دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس اثر نظام خاک¬ورزی و گیاه پوششی بر شاخص های کیفیت خاک و عملکرد دانه

Table 2. Analysis of variance reflecting the effects of tillage system and cover crop on soil quality indicators and grain yield

Sources of variation	Degrees of freedom	Mean squares						
		Organic carbon	Basal respiration	Released carbon to total carbon	Phosphorus	Phosphatase	Proteases	Grain yield
Block	2	0.031**	0.001 ^{ns}	0.003 ^{ns}	8.38**	235 ^{ns}	0.0016**	1241 ^{ns}
Tillage	2	0.176**	0.056**	0.156**	55.38**	5843**	0.058**	20031**
Cover crop	1	0.073**	0.066**	0.22**	156**	1713.27*	0.0053**	31250**
Tillage × Cover crop	2	0.02**	0.00082 ^{ns}	0.051**	0.055 ^{ns}	588**	0.0000055 ^{ns}	1809 ^{ns}
Error	10	0.002	0.0013	0.007	0.388	42.5	0.00025	821

(ns: Not significant, * Significant at P < 0.05, ** Significant at P < 0.01) ns عدم معنی‌داری، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

جدول۳- آزمون میانگین کربن آلی، آنزیم فسفاتاز و نسبت کربن رها شده در تنفس به کربن کل تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی (تعداد نمونه=۱۸)

Table 3. Mean test on organic carbon, Phosphatase activity and Released carbon to total carbon in effect of tillage systems and cover crop (n=18)

Tillage and Cover Crop	Maen		
	Organic carbon	Phosphatase activity	Released carbon in respiration to total carbon
No-Tillage with Cover crop (NT-C1)	0.84^{b}	173.27^{c}	0.5^{a}
Minimum Tillage with Cover crop (MT-C1)	1.04^{a}	232.7^{a}	0.55^{a}
Conventional Tillage with Cover crop (CT-C1)	0.59^{c}	156.9^{de}	0.4^{bc}
No-Tillage without Cover crop (NT-C0)	0.62^{c}	167.1^{cd}	0.4^{bc}
Minimum Tillage without Cover crop (MT-C0)	0.7^{ab}	191.07^{b}	0.44^{b}
Conventional Tillage without Cover crop (CT-C0)	0.46^{d}	145.45^{e}	0.34^{c}

www.SID.ir

Archive of SID

در تیمار NT هیچ عملیات خاک‌ورزی بر روی خاک انجام نمی‌شود و شرایط برای تغییر ماهیت کربن به فرم فعال و مؤثر در واکنش‌های خاک مهیا نمی‌شود. خاک‌ورزی حداقل میزان خاکدانه‌های پایدار در خاک را افزایش داده و نتیجه آن افزایش کربن آلی نسبت به بدون خاک‌ورزی است (Hamzei & Borbor, 2014). در تیمار CT برگرداندن خاک و شکسته شدن پیوند بین خاکدانه‌ها منجر به تجزیه مواد آلی و کاهش منابع کربن آلی خاک می‌شود (Ding *et al*., 2002). رایت و همکاران (Wright *et al*., 2005) در کشت ۲۰ ساله گندم تحت تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی مختلف در تگزاس گزارش کردند که مقدار ماده آلی خاک شدیداً تحت تأثیر روش خاک-ورزی قرار می‌گیرد و روش‌های بدون خاک‌ورزی و خاک-ورزی حداقل باعث افزایش ماده آلی خاک می‌شود. پوشش گیاهی زنده یا مرده و نیز پسماندهای حاصل از مالچ یا کود سبز درسطح خاک باعث ایجاد نوعی حفاظت فیزیکی در مقابل عمل خورشید، باران، باد و نیز تغذیه بهتر موجودات زنده خاکی می‌شود که نتیجه همه این عوامل، حفظ و بهبود محتوای کربن و مواد آلی خاک می‌باشد (Yarahmadi *et al*., 2012). در مطالعه حمزه‌ئی و بوربور (Hamzei & Borbor, 2014) در زراعت ذرت و کشت گیاه پوششی ماشک و خلر، بیش‌ترین درصد ماده آلی از آنِ تیمار خاک‌ورزی حداقل (۱/۴۸ درصد) بود. هم‌چنین آن‌ها گزارش کردند که درصد ماده آلی خاک در شرایط وجود و عدم وجود گیاهان پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد، به‌طوری که بیش‌ترین درصد ماده آلی خاک در شرایط کشت گیاهان پوششی ماشک و خلر (به ترتیب با ۱/۵ و ۱/۳ درصد) و کم‌ترین درصد ماده آلی خاک (۰/۹۱ درصد) در شرایط عدم کشت گیاه پوششی به‌دست آمد.

آنزیم فسفاتاز

میزان آنزیم فسفاتاز در تیمار MT-C1 به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم و عدم کشت گیاه پوششی بیش‌تر است، به طوری‌که بیش-ترین مقدار آنزیم فسفاتاز در تیمار MT-C1 با مقدار ۲۳۲/۷ ($\mu gPNP\ gsoil^{-1}.h^{-1}$) و کم‌ترین مقدار آنزیم فسفاتاز در تیمار CT-C0 با مقدار ۱۴۶ ($\mu gPNP\ gsoil^{-1}.h^{-1}$) مشاهده شد. بعد از تیمار MT-C1، تیمار MT-C0 با مقدار ۱۹۱ ($\mu gPNP\ gsoil^{-1}.h^{-1}$) بیش‌ترین مقدار آنزیم فسفاتاز را داشت (جدول ۳). میانگین کربن آلی در تیمار MT ۲۴٪ نسبت به تیمار NT بیش‌تر است (جدول ۳). بیش‌تر بودن کربن آلی در تیمار MT شرایط را برای افزایش جمعیت میکروبی در این تیمار فراهم نموده و منجر به تولید سطوح بالاتری از فعالیت آنزیم فسفاتاز در تیمار MT نسبت به تیمار NT شده است، به‌طوری که مقدار آنزیم فسفاتاز در تیمارهای MT ۳۴٪ بیش‌تر از تیمارهای NT اندازه‌گیری شد. حضور کربن آلی بیش‌تر در تیمار MT نسبت به NT علاوه بر آن که امکان فعالیت ریزجانداران را در خاک فراهم می‌کند، بلکه سبب جذب مولکول‌های آنزیم برروی سطح کلوئیدهای آلی شده و همین عامل منجر می‌شود که مولکول‌های آنزیم به‌صورت برون سلولی به فعالیت خود ادامه دهند. حضور مولکول-های آنزیم بر روی سطح کلوئیدهای آلی باعث تداوم تأثیر و حفاظت آن‌ها در مقابل صدمات ناشی از فعالیت تجزیه‌ای خاک می‌شود (Ahmadpor *et al*., 2011).

سامانی کبیری (Samani kabiri, 2014) در بررسی تأثیر سه ساله دو سیستم خاک‌ورزی مرسوم و خاک‌ورزی حداقل بر ویژگی‌های شیمیایی و میکروزیستی خاک گزارش کرد که ماده آلی خاک در سال آخر اجرای طرح در تیمار خاک‌ورزی حداقل نسبت به سال اول رشد ۳/۵ درصدی داشت در حالی‌که در طول مدت اجرای طرح رشد ۳۶ درصدی آنزیم فسفاتاز در تیمار خاک‌ورزی حداقل نسبت به خاک‌ورزی مرسوم دیده شد، و نتیجه گرفتند که پاسخ آنزیم‌های خاکی به نوع خاک‌ورزی کوتاه مدت سریع‌تر و کاهش شدت عمق خاک‌ورزی به بهبود و ارتقا کیفیت زیستی خاک کمک می‌کند. رشیدی و همکاران (Rashidi *et al*., 2011) در بررسی تأثیر خاک‌ورزی بر عملکرد کمّی و کیفی گندم دیم گزارش کردند با اعمال سیستم خاک‌ورزی حفاظتی، میزان آنزیم فسفاتاز در عمق ۵ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک در سیستم خاک‌ورزی حداقل نسبت به خاک‌ورزی مرسوم ۱۵٪ افزایش یافت. حسین و همکاران (Hossain *et al*., 2004) با بررسی تأثیر دو تیمار افزودن پسماند کاه و کلش جو در دو سطح ۳ و ۶ تن در هکتار و اجرای دو سیستم خاک‌ورزی مرسوم و خاک‌ورزی حداقل بر میزان آنزیم فسفاتاز گزارش کردند افزودن پسماند جو به مقدار ۶ تن در هکتار موجب افزایش ۲۱٪ در فعالیت این آنزیم نسبت به تیمار ۳ تن در هکتار کاه و کلش شد، هم‌چنین انجام خاک‌ورزی مرسوم باعث کاهش

www.SID.ir

Archive of SID

فعالیت آنزیم فسفاتاز به میزان ۱۸٪، در مقایسه با تیمار خاک‌ورزی حداقل شد. فعالیت‌های آنزیمی خاک رابطه مثبتی با زیست توده میکروبی دارند، اما همبستگی منفی با ماندگاری میکروبی[1] دارند. بنابراین افزایش در محتوای زیست توده میکروبی یا کاهش ماندگاری میکروبی باعث افزایش فعالیت آنزیمی تحت تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی است (Kabiri *et al*., 2016).

دنگ و طباطبایی (Deng & Tabatabai, 1997) نیز در مطالعات خود فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را با حفظ ماده آلی خاک بررسی کردند و نتایج مشابهی در مورد فعالیت این آنزیم گزارش کردند. با توجه به جدول (۵)، همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۹۸) در سطح ۱ درصد بین کربن آلی و فعالیت آنزیم فسفاتاز گزارش شد.

فسفر فراهم

تأثیر اعمال دو تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقدار فسفر فراهم در سطح ۱ درصد معنی‌دار است اما برهم‌کنش این دو تیمار برای فسفر فراهم معنی‌دار نشد (جدول ۲). فسفر فراهم در تیمار MT به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای NT و CT بیش‌تر است، به طوری که بیش‌ترین مقدار فسفر فراهم در تیمار MT ($mg\ kg^{-1}$ ۲۴) و تیمار NT (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد؛ کم‌ترین مقدار فسفر فراهم معادل $mg\ kg^{-1}$ ۱۸ در تیمار CT مشاهده شد. میزان فسفر فراهم در تیمار گیاه پوششی در مقایسه با تیمار بدون گیاه پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد، در تیمار C0 مقدار فسفر اندازه‌گیری شده برابر با $mg\ kg^{-1}$ ۱۷/۷ بود در حالی که در تیمار C1 میزان فسفر اندازه‌گیری شده (با مقدار $mg\ kg^{-1}$ ۲۳/۶) ۳۳٪ بیش‌تر نسبت به تیمار عدم حضور گیاه پوششی اندازه-گیری شد (جدول ۴).

میزان فسفر فراهم در پایان سال چهارم پژوهش، در تیمار MT-C1 نسبت به ابتدای اجرای پژوهش در سال ۹۰ که میزان فسفر فراهم $mg\ kg^{-1}$ ۸/۲ اندازه‌گیری شد، ۳ برابر بیش‌تر (جدول ۱)، گزارش شد. افزایش مواد آلی در تیمارهای تلفیقی خاک‌ورزی حفاظتی و گیاه پوششی به دو طریق باعث افزایش فسفر فراهم می گردد. از طرفی همان طور که در بالا نشان داده شد، بالاتر بودن فعالیت آنزیم فسفاتاز در تیمارهای مذکور معدنی شدن فسفر آلی را تشدید می‌کند. از طرف دیگر، جذب و غیرمتحرک شدن فسفر معدنی در حضور ذرات کلوئیدی آلی بر فراهمی این عنصر تأثیر مثبت دارد (Molindo, Govers *et al*., 2006; 2009). در بین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، تیمار MT به طور مؤثرتری به افزایش فسفر فراهم کمک کرده است، به طوری که میزان فسفر در تیمار MT ٪۳۳/۳ بیش‌تر نسبت به تیمار NT اندازه‌گیری شد. فانیک و همکاران (Fink *et al*., 2016) در بررسی اثر سه ساله خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بر جذب و رهاسازی فسفر در خاک‌های زراعی برزیل گزارش کردند که میزان رهاسازی فسفر در خاک‌ورزی مرسوم نسبت به خاک‌ورزی حفاظتی در پایان سال سوم ٪۶ افزایش یافت. آن‌ها معتقدند اعمال خاک-ورزی حفاظتی به غنی شدن مواد آلی خاک کمک می‌کند و ماده آلی با فسفر پیوند برقرار کرده و فراهمی زیستی فسفر در خاک را افزایش داده و از هدرروی فسفر جلوگیری می‌کند. در این پژوهش نیز بین کربن آلی و فسفر همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۹۳) در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۵).

بررسی‌های کوپرلند و کورکستون (Copeland & Crookston, 1992) بر روی تناوب زراعی دو محصول ذرت و سویا در ایالت مینسوتای آمریکا نشان دادند که به-کارگیری خاک‌ورزی رایج و افزایش فشردگی عملیات خاک‌ورزی با برهم زدن خاک و تجزیه ماده آلی و بقایای گیاهی موجب افزایش موقتی محتوای فسفر قابل دسترس خاک می‌گردد و هدروی این عنصر به دلیل قابل دسترس بودن افزایش می‌یابد و در طولانی مدت سبب کاهش محتوای فسفر مورد نیاز گیاه می‌گردد.در بررسی‌های جهان و همکاران (Jahan *et al*., 2010) افزایش گیاه پوششی شبدر به خاک موجب بالا رفتن درصد مواد آلی خاک، حفاظت و باز چرخش عناصر غذایی و نیز اصلاح باروری خاک شد. آن‌ها هم‌چنین اظهار کردند که استفاده هم‌زمان از گیاهان پوششی شبدر و نخود سبز به علت دارا بودن قدرت رویشی بالا و ریشه‌های قوی، می‌تواند جذب مقدار زیادی از عناصر غذایی محلولی را که در شرایط عادی بر اثر شستشو به اعماق خاک نفوذ می‌کند، افزایش دهد.

کربن رها شده در تنفس به کربن کل

1- Microbial turnover

www.SID.ir

Archive of SID

درصد کربن رها شده در طی تنفس به کربن کل خاک ($C_{released}/TC$) در دو تیمار MT-C1 و NT-C1 به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارها است؛ این دو تیمار در یک گروه آماری قرار دارند (جدول ۳). پس از دو تیمار مذکور، تیمار MT-C0 با ۲۵٪ کاهش، بیش‌ترین مقدار $C_{released}/TC$ را دارد. کم‌ترین مقدار این شاخص، با مقدار ۰/۳۴ درصد، در تیمار CT-C0 اندازه‌گیری شد؛ دو تیمار CT-C1 و NT-C0 با مقدار ۰/۴۴ درصد در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). الدر و همکاران (Elder *et al*., 2008) نیز گزارش کردند مقدار CO_2 خارج شده از خاک تحت تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بیش‌تر از خاک‌ورزی مرسوم است. به طور کلی مقادیر بالاتر شاخص $C_{released}/TC$ بیانگر بیش‌تر بودن سهم کربن آلی فعال (پویا) نسبت به کربن آلی کل است.

از این رو، در دو تیمار MT-C1 و NT-C1 به علت ورود کود سبز به خاک و کاهش روند تجزیه زیستی مواد آلی که خود نتیجه خاک‌ورزی حفاظتی است، سهم مواد آلی سهل التجزیه به نسبت بیشتر از سایر تیمارها می‌باشد.لازم به ذکر است از شاخص $C_{released}/TC$ صرفاً می توان در مقایسه تیمارهای مختلف استفاده نمود. این بدان معنی است که مقدار این شاخص گویای درصد کربن رها شده در شرایط مزرعه نمی‌باشد، چرا که این شاخص در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی تعیین می شود و تفسیر کردن آن برای شرایط مزرعه‌ای بی‌معناست.

تنفس پایه

تنفس پایه در تیمار MT به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای NT و CT بیش‌تر است، بیش‌ترین مقدار تنفس پایه در تیمار MT و NT با مقادیر ۰/۲ و ۰/۱۳ ($mgCO_2$ $dw^{-1}.week^{-1}$) و کم‌ترین مقدار تنفس پایه با مقدار ۰/۰۷ ($mgCO_2/week.dw$) در تیمار CT اندازه‌گیری شد (جدول ۴). تنفس پایه در تیمار گیاه پوششی (C1) با مقدار ۰/۱۹ ($mgCO_2$ $week^{-1}.dw^{-1}$) نسبت به تیمار بدون گیاه پوششی (C0) با مقدار ۰/۱ ($mgCO_2$ $dw^{-1}.week^{-1}$) ۲ برابر بیش‌تر گزارش شد. علاوه‌بر این، میزان تنفس پایه در حضور گیاه پوششی در مقایسه با عدم حضور گیاه پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). مارتین لامردینگ و همکاران (Martín-Lammerding *et al*., 2015) در بررسی تأثیر سه سیستم متفاوت خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی مرسوم) بر میزان تنفس خاک در کشت چهارساله گندم زمستانه نشان دادند میزان تنفس خاک اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاهی در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی (بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل) نسبت به خاک‌ورزی مرسوم ۶۷٪ بیش‌تر شد.

هم چنین وازگیز و همکاران (Vazqueza *et al*., 2017) در بررسی تأثیر سیستم‌های متفاوت خاک‌ورزی بر فعالیت‌های میکروبی در مزارع اسپانیا گزارش کردند میزان تنفس اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاهی تحت تأثیر تیمار خاک‌ورزی حفاظتی ۳۶٪ بیش‌تر از تیمار خاک‌ورزی مرسوم بود. خاک‌ورزی شدید موجب تخریب خواص فیزیکی، کاهش مواد آلی و کاهش فعالیت زیستی خاک که توسط شاخص تنفس میکروبی برآورد می‌شود، می‌گردد (Geisseler *et al*., 2012). افزایش تنفس خاک تحت تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل افزایش کربن آلی، کربن موجود در زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیمی خاک می‌باشد (Acosta-Martínez *et al*., 2014).

در واقع زیر و رو شدن خاک در خاک‌ورزی مرسوم باعث هدررفت بیش‌تر کربن آلی حاصل از بقایای گیاهی شده و تهی شدن خاک از منابع کربن آلی شرایط نامساعدی را برای حفظ زیست توده و فعالیت میکروبی خاک ایجاد می‌کند (Balota *et al*., 2004). در پژوهش حاضر، میزان کربن آلی در تیمار خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب ۲/۵ و ۲ برابر کم‌تر از میزان کربن در تیمارهای خاک‌ورزی حداقل و بدون خاک‌ورزی محاسبه شد. میانگین کربن آلی در تیمار MT ۲۴٪ نسبت به تیمار NT بیش‌تر بود (جدول ۳).

حضور کربن آلی بیش‌تر در تیمار MT نسبت به NT امکان فعالیت بیشتر ریزجانداران را در این تیمار فراهم می‌کند. از این روست که در تیمار MT میزان CO_2 آزاد شده ۳۳٪ بیشتر از تیمار NT می باشد. با توجه به نتایج جدول (۵)، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تنفس و کربن آلی خاک ($r=۰/۸۳$) در سطح ۵٪ وجود دارد. گراسیا–اورنس و همکاران (Garcia-Orenes *et al*., 2010) در بررسی تأثیر مدیریت‌های بقایای گیاهی بر زیست توده میکروبی خاک در یک اکوسیستم مدیترانه‌ای نیمه خشک گزارش کردند میزان تنفس خاک اندازه‌گیری شده در مزرعه در تیمار بقایای کاه جو دوسر نسبت به شاهد منجر به افزایش ۷۷ درصدی تنفس خاک شد. بالوتا و همکاران (Balota *et al*.,

www.SID.ir

Archive of SID

2004) با بررسی تأثیر توأم مدیریت خاک‌ورزی (خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی مرسوم) و بقایای گیاهی (گندم، ذرت و پنبه) به مدت ۲۸ سال در برزیل گزارش کردند که میزان تنفس اندازه‌گیری شده در مزرعه در تیمار خاک-ورزی حفاظتی+ ترکیب بقایای گندم و ذرت ۵۳٪ بیش‌تر از میزان تنفس اندازه‌گیری شده در تیمار خاک‌ورزی مرسوم+ ترکیب بقایای گندم و ذرت بود، هم‌چنین میزان تنفس گزارش شده در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی+ ترکیب بقایای گندم و پنبه ۱۹٪ بیش‌تر از میزان تنفس اندازه-گیری شده در تیمار خاک‌ورزی مرسوم+ ترکیب بقایای گندم و پنبه بود.

جدول۴- تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر تنفس پایه، فسفر، آنزیم پروتئاز و عملکرد دانه (تعداد نمونه=۱۸)

Table 4. Effect of tillage systems and cover crop on basal respiration, phosphorus proteases activity and grain yield (n=18)

Tillage and Cover Crop	Basal respiration ($mgCO_2\ dw^{-1}.week^{-1}$)	Phosphorus ($mg\ kg^{-1}$)	Proteases activity ($\mu g\ gdw^{-1}.h^{-1}$)	Grain yield ($g\ m^{-2}$)
	Mean	Mean	Mean	Mean
No-Tillage (NT)	0.15^b	20.16^b	0.43^b	144.3^b
Minimum Tillage (MT)	0.2^a	24^a	0.48^a	259.3^a
Conventional tillage(CT)	0.07^c	18^c	0.29^c	192^c
Cover crop (C1)	0.19^a	23.6^a	0.4^a	240.2^a
No cover crop (C0)	0.1^b	17.7^b	0.37^b	156.8^b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف یکسان در هر ستون در پایه آماری ٪ ۵ فاقد تفاوت معنی دارند.

Means with at least one similar letter in each column are not significantly different at 5% probability level.

فیلیپ و همکاران (Filip *et al*., 2002) با بررسی ۴۹ نمونه خاک زراعی نشان دادند رابطه مثبتی بین میزان فسفر بیوماس و کربن بیوماس با تنفس پایه برقرار است، هرچقدر بیوماس میکروبی بالا باشد تنفس میکروبی خاک نیز افزایش می‌یابد که دراین پژوهش نیز بیش‌ترین مقدار تنفس پایه در تیمار خاک‌ورزی حداقل با گیاه پوششی اندازه‌گیری شد، که طبق نتایج قبلی (جدول ۳ و ۴) این تیمار بالاترین مقدار فسفر و کربن آلی را دارا می‌باشد. با توجه به نتایج جدول (۵) در این پژوهش نیز رابطه همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تنفس و فسفر (r=۰/۹۲) در سطح ٪۱ گزارش شد.

آنزیم پروتئاز

میزان فعالیت آنزیم پروتئاز در تیمار MT به‌طور معنی-داری نسبت به تیمارهای NT و CT بیش‌تر است، به طوری‌که بیش‌ترین مقدار آنزیم پروتئاز در تیمار MT با مقدار ۰/۴۷ ($\mu g\ gdw^{-1}.h^{-1}$) و کم‌ترین مقدار آن در تیمار CTبا مقدار ۰/۲۷ ($\mu g\ gdw^{-1}.h^{-1}$) اندازه‌گیری شد (جدول ۴). مقدار آنزیم پروتئاز اندازه‌گیری شده در حضور گیاه پوششی در مقایسه با عدم حضور گیاه پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد، به این صورت که در تیمار C1 نسبت به تیمار C0 افزایش ۸٪ فعالیت آنزیم پروتئاز مشاهده شد (جدول ۴). رس و همکاران (Ros *et al*., 2006) عنوان کردند که دلیل بالارفتن آنزیم پروتئاز در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی احتمالاً مربوط به افزایش مقادیر عناصر مغذی و افزایش حاصلخیزی در این تیمار می‌باشد، که به صورت مستقیمی این افزایش روی مقادیر آنزیم پروتئاز نیز تأثیرگذار بوده است. با توجه به جدول (۵) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی و فعالیت آنزیم پروتئاز (r=۰/۸۳) در سطح ۵ درصد گزارش شد. افزودن پسماند گیاهی از طریق سه مکانیسم کاملاً متفاوت افزایش فعالیت‌های آنزیمی خاک را به همراه دارد. در مکانیسم اول، اضـافه شدن پسماند بـه خاک، فعالیت میکروبی خاک را از طریق افزایش فعالیت مسیر انـرژی باکتری محور، افزایش می‌دهد که سنتز و تولید آنزیم را در پی خواهد داشت. در مکانیسم دوم، آنزیم‌های همراه با پسماندهای گیاهی، کـه برخی از آنها فعالیت خود را تا مدت قابل توجهی حفظ می‌نمایند، از طریق کاهش انرژی لازم برای فعالیت ریزتجزیه کنندگان خاک بـه منظور سنتز این آنزیم‌ها، منجر به افزایش فعالیت آنها و سرعت تجزیه پسماندهای گیاهی در خاک می‌شوند. و مکانیسم

www.SID.ir

Archive of SID

آخر این‌که پسماندهای گیاهی به صورت تازه و سپس تجزیه نسبی در خاک با جذب سطحی و یا حبس فیزیکی آنزیم‌ها، سبب حفاظت آن‌ها در مقابل هیدرولیز آنزیمی توسط پروتئازها می‌گردند (Deng & Tabatabai, 1997).

رابطه بین فعالیت آنزیمی با فسفر فراهم و تنفس خاک

بررسی نتایج ضریب همبستگی (جدول ۵) حاکی از وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و فسفر کل (r=۰/۹۳) در سطح ۱ درصد بود. رابطه مثبت بین فعالیت آنزیم فسفاتاز و فسفر آلی ممکن است حاکی از این امر باشد که تولیدات حاصل از تخریب میکروبی می‌توانند منجر به واجذبی فسفر جذب شده‌ی سطحی گشته و در نتیجه حلالیت فسفر غیرقابل دسترس گیاه را افزایش داده و منجر به تجمع فسفر آلی گردند (Garg & Bahl, 2008). در مورد رابطه بین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی با فسفر قابل استخراج خاک اختلاف نظر وجود دارد از یک طرف، شواهدی مبنی بر وجود رابطه مستقیم بین مقدار فسفر قابل استخراج از خاک و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی وجود دارد. از طرف دیگر، نتایجی مبنی بر وجود رابطه منفی بین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و فسفر قابل استخراج از خاک گزارش شده است (Garg & Bahl, 2008). طبق گزارش اولاندر و ویتوسک (Olander & Vitousek., 2000) سازوکارهای بازخورد منفی که منجر به ممانعت از تولید آنزیم‌ها توسط ریزجانداران خاک می‌گردد، یک فرآیند طولانی مدت است. بنابراین، در طول مطالعه کوتاه مدت جاری احتمال وقوع این بازخورد منفی ضعیف می باشد. وجود ضرائب همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تنفس و فعالیت آنزیمی در سطح ۵ درصد (تنفس و آنزیم فسفاتاز (r=۰/۸۳)، تنفس و آنزیم پروتئاز (r=۰/۸۱) نشان دهنده افزایش فعالیت آنزیمی همراه با افزایش فعالیت میکروبی تحت تأثیر مدیریت‌های اعمال شده می‌باشد (جدول۵). دودور و طباطبائی (Dodor & Tabatabai, 2003) در برخی از سایت‌های تحقیقاتی خود مشاهده کردند که بین آنزیم‌های خاک و تنفس میکروبی خاک ارتباط معنی‌داری برقرار است. درواقع نفس میکروبی خاک از جایگاه ویژه‌ای در ارتباط با میزان فعالیت آنزیم‌ها برخوردار است. این ارتباط به حدی بوده است که برمنر و همکاران (Bunemann *et al*., 2006) تنفس میکروبی را یک معیار مستقیم برای برآورد فعالیت میکروبی خاک عنوان کرده‌اند.

عملکرد دانه

اثر تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد، اما اثر متقابل خاک‌ورزی در گیاه پوششی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). عملکرد دانه در تیمار MT به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای NT و CT بیش‌تر است (جدول ۴). بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمار MT و CT با مقدار ۲۵۹/۳ و ۱۴۴/۳ گرم بر مترمربع بدست آمد؛ تیمار NT با کاهش ۳۵٪ عملکرد دانه نسبت به تیمار MT در مرتبه دوم قرار گرفت. تیمار خاک‌ورزی حداقل توانست عملکرد دانه آفتابگردان را نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم در حدود۷۹٪ افزایش دهد. به‌علاوه شاخص عملکرد دانه در حضور گیاه پوششی در مقایسه با عدم حضور گیاه پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد به این‌صورت که در تیمار C1 نسبت به تیمار C0 افزایش ۵۳٪ داشت (۲۴۰/۲ گرم بر مترمربع نسبت به ۱۵۶/۸ گرم بر مترمربع) (جدول ۴). به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر، افزایش عملکرد دانه آفتابگردان در تیمارهای خاک‌ورزی حداقل+کشت گیاه پوششی تحت تأثیر کشت چهار ساله گیاه پوششی زمستانه و مدیریت مناسب بقایای گیاهی، که از طریق اعمال مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی کاهش یافته اعمال شده است، قرار گرفته باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، بیش‌ترین مقادیر عملکرد دانه در تیمار خاک‌ورزی حداقل و بعد از آن در تیمار بدون خاک‌ورزی گزارش شد و تیمار خاک‌ورزی مرسوم کم‌ترین مقادیر عملکرد دانه را داشت. عملکرد دانه در تیمار بدون خاک‌ورزی نسبت به تیمار خاک‌ورزی حداقل به میزان ۲۵ درصد کاهش یافت. علت این کاهش عملکرد می‌تواند فشردگی بیش‌تر خاک و فراهم نبودن شرایط مناسب برای رشد ریشه در تیمار بدون خاک‌ورزی باشد.

این فشردگی به کاهش تراکم طول ریشه گیاه در تیمار بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی حداقل منجر می‌شود و گیاه توانایی کم‌تری در جذب آب و مواد غذائی مورد نیاز خود در مقایسه با خاک‌ورزی حداقل خواهد داشت. از دیگر عوامل موثر بر کاهش عملکرد دانه در تیمار بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی حداقل

www.SID.ir

Archive of SID

می‌توان به تأخیر در استقرار و تغییر در خواص فیزیکی خاک اشاره کرد (Dahima *et al*., 2006).

به طور کلی منابع نشان می‌دهند در خاک‌ورزی حفاظتی وجود بقایا در سطح خاک موجب کاهش سبز شدن و استقرار علف‌های هرز و در نتیجه کاهش رقابت آنها با گیاه زراعی شده و عملکرد گیاه زراعی اغلب در چنین حالتی افزایش می‌یابد (Hamzei & Borbor, 2014). در روش-های خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل بهبود پایداری خاکدانه-ها، افزایش ماده آلی خاک، نفوذ پذیری بیش‌تر آب در خاک و کاهش فرسایش خاک، شرایط بهتری برای رشد گیاه زراعی فراهم می‌گردد (Smith *et al*., 2011). با این حال، با در نظر گرفتن اقلیم نیمه خشک منطقه مورد مطالعه و نیز طول مدت اعمال خاک‌ورزی حفاظتی در این پژوهش (۴ سال)، خاک‌ورزی حداقل از بین خاک‌ورزی-های حفاظتی مورد بررسی، گزینه مناسب تری به لحاظ عملکرد دانه آفتابگردان است. افزایش عملکرد بادمجان در تیمار خاک‌ورزی حداقل و گیاه پوششی در پژوهش رادی ستی و همکاران (Radicetti *et al*., 2016) گزارش شد. آن‌ها عملکرد بادمجان را در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی مرسوم) و تحت تأثیر کشت سه ساله گیاهان پوششی مختلف جو دوسر، ماشک و کلزا اندازه گرفتند. بیش‌ترین عملکرد بادمجان در تیمار خاک‌ورزی حداقل+کشت گیاه پوششی جو دوسر (۳۶/۴ mg ha^{-1}) و تیمار خاک‌ورزی حداقل+کشت گیاه پوششی کلزا (۲۴/۷ mg ha^{-1}) گزارش شد.

آنزیم فسفاتاز و پروتئاز دارای همبستگی معنی‌دار با ماده آلی هستند و افزایش این دو شاخص نشان دهنده بالا بودن منابع آلی خاک می‌باشد. به علاوه، آنزیم فسفاتاز با فسفر در ارتباط است و فسفر نیز نقش قابل توجه‌ای در پر شدن دانه‌های آفتابگردان و در نتیجه بهبود عملکرد زراعی دارد. ارتباط مثبت بین فعالیت آنزیم فسفاتاز و پروتئاز با کربن آلی خاک نشان می‌دهد که بخش آلی خاک نقش تعیین کننده‌ای بر میزان فعالیت این آنزیم‌ها ایفا می‌کند، به‌این‌صورت که میزان بالای کربن آلی در خاک سبب افزایش مقدار میل آنزیم‌های فسفاتاز و پروتئاز برای برقراری پیوند با بخش آلی خاک می‌شود (Abbasian *et al*., 2015).

جدول۵- ضرایب همبستگی ساده بین برخی از ویژگی های خاک و عملکرد دانه (تعداد= ۱۸)

Table 5. Simple correlation coefficient between some soil characteristics and grain yield (n=18)

	Organic carbon	Respiration	Phosphorus	Phosphatase	Protease	Grain yield
Organic carbon	1					
Respiration	0.83*	1				
Phosphorus	**0.92	**0.92	1			
Phosphatase	0.98**	0.83*	0.93**	1		
Protease	0.83*	0.81*	0.91**	0.85*	1	
Grain yield	0.90**	0.85*	**0.91	0.85*	0.76	1

ns عدم معنی‌داری، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

(ns: Not significant, ** Significant at 1% probability level, * Significant at 5% probability level

وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2013) دلیل این همبستگی انکار ناپذیر را نقش کلیدی بخش آلی خاک به-عنوان پیش ماده برای سنتز آنزیمی عنوان کردند. همان-بیش‌تر می‌شود و این امر به معدنی شدن عناصر و قابل دسترس کردن آن‌ها برای گیاه کمک می‌کند و تمام این عوامل منجر به افزایش عملکرد دانه می‌گردد. دورود و طباطبائی (Dodor & Tabatabai, 2003) در برخی از کرت‌های تحقیقاتی خود گزارش کردند همبستگی قوی گونه که در مطالب قبل نیز اشاره شد تنفس با ماده آلی خاک همبستگی معنی‌دار و مثبتی دارد، به این گونه که هر چه ماده آلی بیش‌تر فعالیت ریزجانداران خاک‌زی نیز بین فعالیت‌های آنزیمی و تنفس میکروبی خاک وجود دارد. این ارتباط به حدی بوده است که بونمان و همکاران (Bunemann *et al*., 2006) تنفس میکروبی را یک معیار مستقیم برای برآورد فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی خاک عنوان کردند. شاخص‌های تنفس، آنزیم فسفاتاز و پروتئاز

www.SID.ir

Archive of SID

به‌صورت غیرمستقیم می‌توانند بر عملکرد دانه تأثیر بگذارند. ، با توجه به جدول (۵) بین تنفس و عملکرد دانه (r=۰/۸۵) و آنزیم فسفاتاز و عملکرد دانه (r=۰/۸۵) رابطه همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۵ درصد گزارش شد.

نتیجه گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که در مجموع استفاده از مدیریت خاک‌ورزی حفاظتی (بدون خاک‌ورزی و خاک-ورزی حداقل) با کشت گیاه پوششی کلزا در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم و بدون کشت گیاه پوششی موجب افزایش شاخص‌های حاصلخیزی (کربن آلی و فسفر فراهم) و شاخص‌های زیستی (تنفس پایه و فعالیت آنزیم فسفاتاز و آنزیم پروتئاز) شد و در نتیجه به بهبود کیفیت خاک کمک کرد. مقایسه دو مدیریت خاک‌ورزی حداقل و بدون خاک‌ورزی با یکدیگر نشان داد، تأثیر مثبت تیمار خاک‌ورزی حداقل+کشت گیاه پوششی بیشتر از تیمار تیمار بدون خاک‌ورزی +کشت گیاه پوششی است. دلیل این امر احتمالاً آن است که در تیمار بدون خاک‌ورزی تجزیه مواد آلی و کود سبز نسبت به خاک‌ورزی حداقل کم‌تر است و این امر باعث شده سرعت تجزیه مواد آلی، رهاسازی عناصر غذایی و بهبود فعالیت آنزیمی در این تیمار (بدون خاک‌ورزی) کم‌تر باشد و این امر بر عملکرد محصول نیز اثر داشته است. البته باید این احتمال را در نظر گرفت که ممکن است در مطالعات طولانی مدت‌تر نتایج متفاوتی بدست آید. خاک‌ورزی مرسوم و عدم استفاده از گیاه پوششی باعث کاهش سطح کربن آلی، تنفس میکروبی، فعالیت آنزیمی و در نتیجه کاهش کیفیت زیستی خاک می‌شود که به نوبه خود بر کیفیت خاک نیز تأثیر منفی خواهد داشت. اعمال خاک‌ورزی حفاظتی، به ویژه خاک‌ورزی حداقل، همراه با کشت گیاه پوششی کلزا در مناطق نیمه خشک از طریق کاهش به‌هم خوردگی خاک و افزایش ماده آلی خاک، به افزایش فعالیت آنزیمی خاک، چرخش زیستی عناصر غذایی و نهایتاً افزایش عملکرد آفتابگردان کمک کرد.

Reference

Abbasian A., Golchin A., and Sheklabadi M. 2015. Check out some of the soil histosol enzyme activity and its relationship with biological and chemical properties of soil. *Journal of Soil Biology*, 2(2): 111-124.

Abdullah A.S. 2014. Minimum tillage and residue management increase soil water content, soil organic matter and canola seed yield and seed oil content in the semiarid areas of Northern Iraq. *Soil and Tillage Research*, 144: 150-155.

Acosta-Martínez V., Moore-Kucera J., Cotton J., Gardner T., Wester D., 2014. Soil enzyme activities during the Texas record drought/heat wave and implications to biogeochemical cycling and organic matter dynamics. *Applied Soil Ecology*. 75: 43-51.

Ahmadpor R., Bahmanyar M.A., Gillani S., and Forghani A. 2011. Evaluation of urease and alkaline phosphatase enzyme activity and changes in some chemical properties soil treated with compost and vermicompost of corn cultivation. *Soil Research*, 25(1): 113-123.

Álvaro-Fuentes J., Morell F.J., Madejón E., Lampurlanés J., Arrúe J.L., and Cantero- Martínez C. 2013. Soil biochemical properties in a semiarid Mediterranean agroecosystem as affected by long-term tillage and N fertilization. *Soil and Tillage Research*, 129, 69–74.

Arshad M.A., Martin S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Ecosystems & Environment*, 88: 153-160.

Balota E.L., Kanashiro M., Filho A.C., Andrade D.S., and Dick R.P. 2004. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. *Brazilian Journal of Microbiology*, 35: 300-306.

Balota E.L., Filho A.C., Andrade D.S., and Dick R.P. 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 77: 137-145.

Bünemann E.K., Schwenke G.D., and Van Zwieten L. 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms-a review. Aust. *Soil Research*, 44: 379-406.

www.SID.ir

Archive of SID

Castellini M., and Ventrella D. 2012. Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy. *Soil and Tillage Research*, 124: 47‑56.

Copeland P.J., and Crookston P.K. 1992. Crop sequence affects nutrient composition of corn and soybean grown under high fertility. *Agricultural System*, 84(3): 503-509.

Dahima K.V., Vasilakoglou I.B., Eleftherohorinos I.G., and Lithourgidis A.S. 2006. Allelopathic potential of winter cereals and their cover crop mulch effects on grass weed suppression and corn development. *Crop Science*. 46: 345-352.

Deng S.P., and Tabatabai M.A. 1997. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils. Phosphatases and arylsulfatase. *Biology and Fertility of Soils*, 24: 141–146.

Ding G., Novak J., Amarasiriwardena D., Hunt P., and Xing B. 2002. Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. *Soil Science Society of American Journal*, 66: 421-429.

Dodor D.E., and Tabatabai, M.A. 2003. Amidohydrolases in soils as affected by cropping systems. *Applied Soil Ecology*, 24: 73–90.

Filip Z., 2002. International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88: 169–174.

Fink J., Inda A., Bavaresco J., Barrón V., Torrent J, Bayer C. 2016. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. *Soil and Tillage Research*, 152: 62-68.

Garcıa-Orenes F., Guerrero C., Roldan A., Mataix-Solera J., Cerda A., Campoy M., Zornoza R., Barcenas G., and Caravaca F. 2010. Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 109: 110-115.

Garg Sh., and Bahl G.S. 2008. Phosphorus availability to maize as influenced by organic manures and fertilizer Passociated phosphates activity in soils. *Bioresour Technology*, 99: 5773-5777.

Geisseler D., Georg R., and Ludwig B., 2012. Soil enzyme activities are decoupled from microbial activity in dry residue-amended soil. *Pedobiologia*, 55: 253–261.

Govers G.K., Van O., and Poesen J. 2006. Responses of a semi-arid landscape to human disturbance: A simulation study of the interaction between rock fragment cover, soil erosion and land use change. *Geoderma*, 133: 19–31.

Guo L.J., Zhang Z.S., Wang D.D., Li C.F., and Cao C.G. 2015. Effects of short-term conservation management practices on soil organic carbon fractions and microbial community composition under a rice-wheat rotation system. *Biology and Fertility of Soils*, 51: 65-75.

Hamzei J., and Borbor A. 2014. Effect of Different Soil Tillage Methods and Cover Crops on Yield and Yield Components of Corn and Some Soil Characteristics. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 24: 35-47.

Hossain I.M., Meisner C., Duxbury J. M., Lauren J.G., Rahman M.M., Meer M.M., and Rashid M.H. 2004. Use of raised beds for increasing wheat production in rice-wheat cropping systems. *American Society of Agronomy*, 23: 54-59.

Imaz M.J., Virto I., Bescansa P., Enrique A., Fernandez O., and Karlen D.L. 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil and Tillage Research*, 107: 17‑25.

Isermeyer H. 1952. Eine einfache methode zur bestimmang der bodenatmung und der carbonate im Boden. Z P Flanzenernaehr Bodenkd. *Agricultural Journal*, 56: 26-38.

Jahan M., Amiri M.B., and Ehyaei H.R. 2010. Interactions of green pea and Persian clover cover crop and biological fertilizers on yield and quality of sesame. The second national conference on agriculture and sustainable development, opportunities and challenges, 11 - 12 March, Islamic Azad University of Shiraz, pp. 145-151.

Jun Y. 1996. Wheat Root Systems and Water Utilization in a Semi-arid Region, in Root Demographics and Their Efficiences in Sustainable Agriculture. Kluwer, *Academic Publisher Boston*, 23: 72-81.

Kabiri V., Raiesi F., and Ghazavi M.A. 2016. Tillage effects on soil microbial biomass, SOM mineralization and enzyme activity in a semi-arid Calcixerepts. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232: 73–84.

www.SID.ir

Archive of SID

Ladd J.N., and Butler J.H.A. 1982. Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. *Soil Biology and Biochemistry*, 4:19-30.

Laudicina V.A., Badalucco L., and Palazzolo E. 2011. Effects of compost input and tillage intensity on soil microbial biomass and activity under Mediterranean conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 47: 63-70.

Martín-Lammerdinga D., Navas M., Albarrán M.D.M., Tenorio J.L., and Waltera L. 2015. long term management systems under semiarid conditions: Influence on labile organic matter, b-glucosidase activity and microbial efficiency. *Applied Soil Ecology*, 96: 296-305.

Molindo W.A. 2009. Estimations of NPK in zero-tillage soils post Soybean (*Glycine max* Merr.) croppings in two locations in Southwestern Nigeria. *Agricultural Journal*, 4(1): 10-13.

Olander L.P., and Vitousek P.M. 2000. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and Pavailability. *Biogeochemistry*, 49:175-190.

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 in Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 155: 329-338.

Rashidi Z., Zare M.J., Rejali F., and Ashraf Mehrabi A. 2011. Effect of soil tillage and integrated chemical fertilizer and biofertilizer on quantity and quality yield of bread wheat and soil biological activity under dry land farming. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(2): 189-206.

Ros M., Pascual J.A., Garcia C., Hernandez M.T., and Insam H. 2006. Hydrolase activities, microbial biomass and bacterial community in a soil after long-term amendment with different composts. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 3443 – 3452.

Samani kabiri V. 2014. Short-term effects of different tillage methods on carbon distribution in aggregates and microbiological characteristics of a calcareous soil. MSc Dissertation, University of Shahrekord, 110p. (In Persian)

Simmons B.L., and Coleman D.C. 2008. Microbial community response to transition from conventional to conservation tillage in cotton fields. *Applied Soil Ecology*, 40:518- 528.

Smith M.K., Smith J.P., and Stirling G.R. 2011. Integration of minimum tillage, crop rotation and organic amendments into a ginger farming system: Impacts on yield and soil borne diseases. *Soil and Tillage Research*, 114: 108‑116.

Tabatabai M.A., and Bremner J.M. 1969. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1: 301-307.

Vazqueza E., Teutscherovaa N., Almoroxa J., Navasa M., Espejoa R., and Benitoa M. 2017. Seasonal variation of microbial activity as affected by tillage practice and sugar beet foam amendment under Mediterranean climate. *Applied Soil Ecology*, 118: 70-80.

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.

Wang J., Li X., and Zhu A. 2012. Effects of tillage and residue management on soil microbial communities in North China. *Plant, Soil and Environment*, 58: 28-33.

Wang Q., Xiao F., He T., and Wang S. 2013. Responses of labile soil organic carbon and enzyme activity in mineral soils to forest conversion in the subtropics. *Annals of Forest Science*, 70: 579-587.

Willekens K., Vandecasteele B., Buchan D., and Neve S. 2014. Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology*, 82: 61-71.

Wright A.L., and Hons F.M. 2005. Tillage impacts on soil aggregation and carbon and nitrogen sequestration under wheat cropping sequences. *Soil and Tillage Research*, 84: 67-75.

Yarahmadi F., Landi A., and Murad A. 2012. Effect of tillage and irrigation on carbon dioxide emissions in wheat in north of Khuzestan. *Agricultural Scientific*, 2: 71-82.

www.SID.ir

Archive of SID

Short-term Effects of Conservation Tillage and Canola Cover Crop on Selected Biological Indicators of Soil Quality and Sunflower Yield in Dastjerd, Hamedan

Shilan felegari[1], Mohsen Nael[2*], Javad Hamzei[3], Ali Akbar Safari Sinegani[4]

(Received: January 2017 Accepted: December 2017)

Abstract

Assessing biological indicators of soil quality is crucial to evaluation of ecological sustainability of agroecosystem. This study aimed at assessing the effects of four years of different tillage practices (no tillage, minimum tillage and conventional tillage) with and without canola cover crop on selected biological indicators of soil quality and sunflower yield in Dastjerd, Hamedan. A randomized complete block design with factorial arrangement and three replications was conducted. All the measured properties, including soil organic carbon, available P, basal microbial respiration, protease and phosphatase activity and sunflower seed yield were significantly ($P<0.01$) affected by tillage and cover crop treatments. The interaction of tillage×cover crop was only significant for soil organic carbon and phosphatase activity ($P<0.01$). In minimum tillage+cover crop, the organic carbon content and microbial respiration were 2.5 and 1.5 times higher than conventional tillage+no cover crop (control); this increase was observed for the rest of indices as well (available P 80%, phosphatase activity 59%, protease 84% and sunflower seeds yield 34%). Next to minimum tillage+cover crop treatment, the highest amount of soil quality indicators and seed yield were measured in no tillage+cover crop. Minimum tillage+cover crop treatment increased organic matter stocks, soil biological activity and the sunflower seed yield.

Keywords: Cover crop, Enzyme activity, Microbial respiration, Soil quality, Tillage.

Felegari Sh., Nael N., Hamzei J. and Safari Sinegani A.A. 2019. Short-term effects of conservation tillage and canola cover crop on selected biological indicators of soil quality and sunflower yield in Dastjerd, Hamedan. *Applied Soil Research*, 7(1): 16-30.

1- MSc Student, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Hamedan, Iran.
4- Professor, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
* Corresponding Author Email: m.nael@basu.ac.ir

www.SID.ir