نشریه علمی مدیریت اراضی/ جلد ۱۱ / شماره ۱ / ۱۴۰۲. ص ۷۹-۹۷
https://doi.org/10.22092/lmj.2022.127415

بررسی شاخص‌های کیفیت خاک در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی تحت کشت گیاه کلزا در استان کرمانشاه

امین حیدری، علی بهشتی آل‌آقا[1]*، فاطمه رخش و حمیدرضا چقازردی

کارشناس ارشد حاصلخیزی و زیست‌فناوری خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. **amin72heidary@gmail.com**

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. **beheshtiali97@gmail.com**

دکتری علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، ایران. **rakhsh.fatemeh@alumni.znu.ac.ir**

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. **hamidrezachaghazardi@yahoo.com**

دریافت: خرداد ۱۴۰۱ و پذیرش: مرداد ۱۴۰۱

چکیده

خاک‌ورزی می‌تواند از طریق ایجاد تغییر در ویژگی‌های خاک، به پایداری کشاورزی و بهبود کیفیت خاک کمک نماید. یکی از ابزارهای مفید برای بررسی وضعیت مدیریت خاک در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی، ارزیابی کیفیت خاک با استفاده از شاخص‌های کمی است. این مطالعه به‌منظور بررسی اثرات سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی بر برخی از شاخص‌های کیفیت خاک در یک مزرعه تحقیقاتی در استان کرمانشاه انجام گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو عمق صفرتا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری و در سه روش مختلف بی خاک‌ورزی، خاک‌ورزی کاهشی و خاک‌ورزی مرسوم انجام شد. ویژگی‌های مختلف خاک اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سامانه‌های خاک‌ورزی بر ویژگی‌های زیستی با شدت‌های مختلفی تأثیرگذار بوده است. با تغییر سامانه خاک‌ورزی مرسوم به حفاظتی، بیشتر ویژگی‌های خاک تغییر مثبتی داشته و منجر به بهبود کیفیت خاک گردید. در بین ویژگی‌های زیستی، کربن زیست زنده میکروبی به ترتیب با ۵۳/۴۹ و ۴۲/۴۵ درصد افزایش، بیشترین تغییر را داشت. در بین ویژگی‌های مورد بررسی، ویژگی‌های زیستی در مقایسه با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیشتر تحت تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی قرار گرفت. شاخص‌های کیفیت تجمعی و نِمِرو بیشترین مقدار را به‌ترتیب در سامانه بی‌خاک‌ورزی، کاهشی و مرسوم داشته و شاخص کیفیت تجمعی صحت بیشتری در تعیین کیفیت خاک داشت.

واژه‌های کلیدی: تخریب خاک، حفاظت خاک، زیست‌توده میکروبی، شاخص تجمعی، شاخص نِمِرو

[1] – آدرس ایمیل نویسنده مسئول: beheshtiali97@gmail.com

نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه

حفاظت و یا تخریب خاک بستگی به نحوه استفاده از خاک و مدیریت کشاورزی دارد. خاک‌ورزی از جمله عوامل مدیریتی مهمی است که می‌تواند موجب تخریب یا بهبود ساختمان خاک شود (گرجی و همکاران، ۱۳۹۵). در حقیقت خاک‌ورزی عملیات بر هم زدن مکانیکی خاک به‌منظور تهیه بستر بذر، حفاظت آب‌وخاک، از بین بردن فشردگی خاک و کنترل علف‌های هرز برای تولید محصولات کشاورزی است (گرجی و همکاران، ۱۳۹۵). در مجموع، سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی از بیشینه تا کمینه به ترتیب خاک‌ورزی مرسوم، کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی می‌باشند. اجرای خاک‌ورزی مرسوم در درازمدت تشدید فشردگی و ایجاد لایه سخت در اعماق خاک را به دنبال دارد (التی‌تی، ۲۰۱۰). هر چه شدت انرژی وارد شده به خاک از طریق خاک‌ورزی بیشتر گردد، سرعت تجزیه ماده آلی و بقایای گیاهی افزوده شده به خاک افزایش می‌یابد (واتس و همکاران، ۲۰۰۰).

سامانه‌های خاک‌ورزی کاهش‌یافته، به دلیل افزایش مواد آلی خاک، بر هم زدن کمتر خاک و حفظ رطوبت بیشتر خاک می‌تواند میزان فعالیت‌های زیستی و جمعیت‌های ریزجانداران خاک را افزایش دهد (رئیسی، ۲۰۰۷). عملیات شخم با افزایش مقدار اکسیژن قابل‌دسترس برای ریزجانداران خاک باعث افزایش فعالیت‌های زیستی و تجزیه بیشتر مواد آلی خاک و در نتیجه کاهش کیفیت خاک می‌شود. روش‌های شخم رایج، تعادل بین انباشت و آزاد شدن کربن خاک را بر هم زده و سبب تشدید تنفس خاک در مقایسه با میزان کربن ذخیره‌شده در خاک می‌شود (کندی و پاپندیک، ۱۹۹۵). محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی روش‌های مختلف کوددهی و خاک‌ورزی بر فعالیت آنزیمی خاک نشان دادند که فعالیت فسفاتاز اسیدی، قلیایی و سلولاز در تیمار بدون خاک‌ورزی افزایش معنی‌داری نسبت به سامانه خاک‌ورزی متداول داشته و بیشترین تعداد باکتری در هر گرم خاک خشک، در سامانه بدون خاک‌ورزی موجود بود.

نتایج تحقیقات رشیدی و همکاران (۱۳۹۰) بیانگر آن است که فعالیت آنزیم فسفاتاز در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک در سامانه‌های خاک‌ورزی کاهش یافته، بیش از سامانه خاک‌ورزی متداول است. فعالیت بیشتر آنزیم فسفاتاز و دهیدروژناز در اعماق زیاد خاک ممکن است به تخریب زیستگاه ریزجانداران خاک مربوط باشد. همچنین با اعمال سامانه خاک‌ورزی کاهش یافته با استفاده از گاوآهن پنجه غازی، فعالیت آنزیم دهیدروژناز افزایش پیدا کرد. نتایج تحقیقات رحیم‌زاده و نوید (۱۳۹۰) در اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک نشان داد که روش خاک‌ورزی بر pH خاک تأثیر معنی‌داری داشته و در تیمار بی - خاک‌ورزی به مقدار جزئی کاهش یافت. این موضوع به دلیل افزایش میزان کربن آلی بوده است.

سامانه خاک‌ورزی کم یا بدون خاک‌ورزی می‌تواند باعث ارتقاء ساختمان خاک و نیز افزایش ترسیب کربن در خاک‌های تحت کشاورزی شود. اثرگذاری این روش‌ها به نوع خاک، نوع محصول و سامانه‌های مدیریت خاک‌ورزی بستگی دارد (سامبررو، ۲۰۱۰). بررسی تأثیر خاک‌ورزی بر کیفیت خاک در ایلینیوس آمریکا نشان داده که کربن آلی خاک، حساس‌ترین و بهترین شاخص سنجش کیفیت خاک بوده و از طرفی خاک‌ورزی نیز اصلی‌ترین عامل افزایش، اکسیداسیون و تسریع از دست رفتن کربن آلی خاک است . ماده آلی با افزایش پایداری خاکدانه‌ها به‌خصوص در قسمت سطحی خاک، مانع از پراکندگی ذرات خاک در طی وزش باد و جریان یافتن آب می‌شود (مانلی رافائل و همکاران، ۲۰۰۷).

با توجه به اهمیت کیفیت خاک، ارزیابی کمی خاک برای تعیین میزان پایداری سامانه‌های مدیریت اراضی و کمک به سازمان‌های دولتی برای ایجاد مدیریت کشاورزی پایدار و کاربری صحیح زمین، ضروری است. همچنین با توجه به این نکته که سطح زیر کشت اراضی کشاورزی در استان کرمانشاه در مقیاس کشوری حائز اهمیت است بنابراین نتایج این پژوهش اطلاعات با ارزشی

را برای محققان و مجریان بخش‌های کشاورزی و منابع-طبیعی فراهم می‌کند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی روش‌های مختلف خاک‌ورزی، شامل روش بی خاک‌ورزی (به مدت پنج سال)، روش خاک‌ورزی کاهشی (سه سال) و روش خاک‌ورزی مرسوم بر شاخص‌های زیستی خاک‌های تحت کشت گیاه کلزا (تمام مناطق دارای سیستم آبیاری قطره‌ای بوده و از کودهای مرسوم استفاده شده بود)، این آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در قالب فاکتوریل، با دو عامل، شامل روش‌های مختلف خاک‌ورزی (بی خاک‌ورزی، خاک‌ورزی کاهشی و خاک‌ورزی مرسوم) و دو عمق (صفر تا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر) و با سه تکرار در مجموع ۱۸ نمونه خاک، انجام شد. منطقه مطالعاتی واقع در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در محدوده عرض جغرافیایی "۲۲-'۱۹-°۳۴ تا "۲۷-'۱۹-°۳۴ و طول جغرافیایی "۱۵-'۶-°۴۷ تا "۳۰-'۶-°۴۷ و در ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا قرار داشت.

محل‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ مشخص شده است که از هر موقعیت ثبت‌شده در شکل به اندازه سه کیلوگرم خاک جمع‌آوری شد. پس از هوا خشک‌کردن نمونه‌های خاک و عبور از الک دو میلی‌متری، ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک با روش‌های مرسوم اندازه-گیری شد (استفان و همکاران، ۲۰۱۳). برای اندازه‌گیری ویژگی‌های زیستی از لوازم استریل استفاده شد و نمونه‌های جمع‌آوری شده در ظرف دربسته با حفظ رطوبت خاک و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل شدند. زنجیره سرمایی نمونه‌ها تا زمان انجام اندازه‌گیری حفظ شد.

وزن مخصوص ظاهری خاک (BD) به روش سیلندر (استفان و همکاران، ۲۰۱۳)، کربن آلی (OC) به روش اصلاح شده واکلی و بلاک (۱۹۳۴)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe) با دستگاه رسانایی سنج الکتریکی در عصاره (پیچ و همکاران، ۱۹۹۲)، pH گل اشباع با دستگاه pH متر (مک‌لین، ۱۹۸۲)، کربنات کلسیم معادل ($CaCO_3$) به روش ریچاردز (۱۹۵۴) و درصد رس قابل انتشار (DC) به روش راسموسن و کولینر (۱۹۹۱) تعیین شدند.

میزان کربن معدنی شده یا تنفس تجمعی خاک (Cmin) با اندازه‌گیری مقدار دی‌اکسید کربن حاصل از تنفس میکروبی و از طریق تیتراسیون برگشتی سود باقیمانده با اسید کلریدریک در نمونه‌های خاک برای مدت ۸ هفته تعیین شد (اندرسون، ۱۹۸۲). مقدار تنفس پایه (BR) بر اساس روش اسشینر و همکاران (۱۹۹۶) در مدت ۲۴ ساعت و تنفس برانگیخته (SIR) بر اساس روش الف و نانپیری (۱۹۹۵) اندازه‌گیری گردیدند. کربن زیست توده میکروبی (MBC) از اختلاف تنفس خاک تدخین شده با کلروفرم و خاک تدخین نشده طی ۱۰ روز انکوباسیون به دست آمد. مقدار کربن به‌دست‌آمده با اعمال ضریب ۰/۴۵ به کربن توده زنده میکروبی تبدیل گردید (هووارث و پاول، ۱۹۹۴). کسر متابولیکی (qCO_2) یا تنفس ویژه زیست توده میکروبی از تقسیم مقدار کربن متصاعد شده از نمونه‌های تدخین نشده طی ۱ روز (تنفس پایه) بر کربن زیست توده میکروبی به دست آمد (سومان و همکاران، ۲۰۰۶). کسر متابولیکی در واقع فعالیت میکروبی را به جمعیت (زیست توده میکروبی) ارتباط می‌دهد یا در واقع عملکرد فیزیولوژیکی زیست توده میکروبی کل در واحد زمان است. میزان فعالیت آنزیم‌های اوره آز (Urease) و اینورتاز (Invertase) با روش‌های مرسوم (الف و نانپیری، ۱۹۹۵) تعیین گردید.

شکل ۱- نقاط نمونه‌برداری در هر سه روش مختلف خاک‌ورزی

پس از تجزیه‌های آزمایشگاهی، داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.1 و SPSS 22 پس از احراز و تأمین پیش‌شرط‌های تجزیه واریانس (توزیع نرمال با استفاده از آزمون اندرسون- دارلینگ و همگن بودن واریانس تیمارها با استفاده از آزمون له ون) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون مقایسه حداقل دامنه‌های معنی‌دار (دانکن) در سطح احتمال پنج و یک درصد مقایسه شدند. برای تجزیه واریانس داده‌ها از روش تجزیه واریانس دو طرفه (Tow-Way ANOVA) استفاده شد. برای ارزیابی کیفیت خاک از شاخص کیفیت تجمعی و شاخص نِمِرو[۲] در دسته مجموعه کل ویژگی‌ها و دسته داده‌ها (ویژگی‌های) حداقل استفاده شد. مجموعه حداقل داده‌ها از بین ویژگی‌هایی با ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک در نرم‌افزار SPSS به روش تجزیه مؤلفه اصلی به دست آمد. در ادامه شاخص‌های کیفیت تجمعی (معادله ۱) (دوران و پارکین، ۱۹۹۴) و نِمِرو (معادله ۲) (جانکینسون و لاد، ۱۹۸۱) بر اساس فرمول‌های محاسباتی آن‌ها برای هر دو دسته داده شامل کل ویژگی‌ها و دسته داده حداقل در نرم‌افزار Excel محاسبه شد.

(۱) شاخص کیفیت تجمعی $IQI = \sum_{i=1}^{n} W_i \times N_i$

W_i = وزن تعلق یافته به هر ویژگی خاک، N_i = مقدار نمره تعلق یافته به هر ویژگی و n = تعداد ویژگی‌های مورد نظر.

(۲) شاخص کیفیت نِمِرو $NQI = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{min}^2}{2} \times \frac{n-1}{n}}$

P_{ave} = میانگین نمره تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر نمونه خاک، P_{min} = حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n = تعداد ویژگی‌های مورد نظر برای محاسبه شاخص.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سامانه خاک‌ورزی و عمق بر ویژگی‌های تنفس تجمعی، تنفس پایه و کربن زیست توده میکروبی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). اثرات متقابل تیمارها بر تنفس برانگیخته و فعالیت آنزیم‌های اوره آز و اینورتاز معنی‌دار نشدند (جدول ۱).

تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و عمق بر تنفس تجمعی خاک

نتایج حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در مقدار تنفس تجمعی بین سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی در دو عمق است به نحوی که معدنی شدن کربن در سامانه بی‌خاکورزی در لایه سطحی و عمقی ۵۳ و ۴۲ درصد افزایش نسبت به خاک‌ورزی مرسوم داشت (جدول ۲). سامانه خاک‌ورزی کاهشی حد واسط این دو خاک‌ورزی بود. در هر دو عمق مورد مطالعه، همان‌طور که

[۲] -Nemoro

انتظار می‌رفت بیشترین میزان تنفس یا کربن معدنی شده در سامانه بی خاک‌ورزی (۸۳۵/۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سپس در سامانه خاک‌ورزی کاهشی و مرسوم مشاهده گردید (جدول ۲). از دلایل اصلی کاهش تنفس معدنی در سامانه مرسوم می‌توان به فشردگی بالا، تراکم زیاد، به هم خوردن خاک و شکسته شدن خاکدانه‌های بزرگ‌تر به خاکدانه‌های کوچک‌تر و اکسید شدن سریع مواد آلی اشاره کرد. احتمالاً کاهش سطح مواد آلی خاک درنهایت منجر به کاهش تنفس خاک در روش خاک‌ورزی مرسوم نسبت به کاهشی و سپس بی حفاظتی شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های زیستی

منابع تغییرات	تنفس تجمعی	تنفس پایه	تنفس برانگیخته	کربن زیست‌توده میکروبی	کسر متابولیکی	فعالیت آنزیم اوره آز	فعالیت آنزیم اینورتاز
سامانه خاک‌ورزی	۲۸۹۴/۷۶**	۲/۷۵ ns	۱۷۳۱/۶۷**	۲۲۷/۴۹**	۲/۷۵ ns	۱۶۵/۳۰**	۱۸۴**
عمق	۷۱۴/۲۰**	۰/۰۱ ns	۲۷۲/۱۲**	۳۶/۸۹**	۰/۰۰۰۰۱ ns	۸/۱۰*	۰/۶۳ ns
خاک‌ورزی × عمق	۶/۱۰*	۵/۲۲*	۳/۹۷ ns	۵/۱۷*	۵/۲۲*	۱/۹۰ ns	۱/۷۹ ns
ضریب تغییرات	۰/۴۸	۳/۹۹	۱/۴۱	۳/۱۳	۳/۹۹	۲/۴۰	۳/۰۲
R^2	۰/۹۹	۰/۶۲	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۶۷	۰/۹۶	۰/۴

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم معنی‌دار نبودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که میزان تنفس معدنی در هر سه سامانه در لایه سطحی در مقایسه با لایه عمقی بیشتر است. این به دلیل تراکم پوشش گیاهان و کربن آلی بیشتر لایه سطحی در مقایسه با عمق خاک است. در بسیاری از پژوهش‌ها به وابستگی بالای تنفس معدنی به میزان کربن آلی اشاره شده است (مظاهری، ۱۳۹۵؛ جیا و همکاران، ۲۰۰۷). ماده آلی خاک تنها منبع کربن و انرژی لازم برای ادامه فعالیت ریزجانداران تجزیه‌کننده و هتروتروف خاک است و هرگونه کاهش در ورود مواد آلی به خاک موجب اختلال در فعالیت این موجودات و کاهش تجزیه مواد آلی می‌شود (جیا و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین تنفس میکروبی نشان دهنده فعالیت عمومی ریزجانداران و به‌ویژه فعالیت هتروتروف‌ها بوده و شاخصی برای تعیین بخش قابل معدنی شدن کربن آلی خاک محسوب می‌شود و مقادیر بیشتر دی اکسید کربن آزاد شده طی فرایند تنفس نشان دهنده سرعت بالای تجزیه کربن آلی و افزایش منابع عناصر غذایی قابل دسترس گیاه است (جیا و همکاران، ۲۰۰۷).

جدول ۲ – مقایسه میانگین ویژگی‌های زیستی اندازه‌گیری شده

سامانه خاک‌ورزی	عمق	تنفس تجمعی	تنفس پایه	تنفس برانگیخته	کربن زیست توده میکروبی	کسر متابولیکی	فعالیت آنزیم اوره آز	فعالیت آنزیم اینورتاز
	cm	mg C-CO_2.kg^{-1} soil.56 day^{-1}	mg C.kg^{-1}.12 h^{-1}	mg C.kg^{-1} soil.day^{-1}	mg.kg^{-1}	µg C. g^{-1}MBC $^{-1}$day^{-1}	µgNH_4^+-N. g^{-1}dwt^{-1}2h^{-1}	µg Glucose. g^{-1}dwt $^{-1}$ 24h^{-1}
مرسوم	۰–۲۵	۶۸۱/۶۷e	۳۸/۱۷d	۱۳۸/۵۱b	۱۴۳/۳۳d	۰/۲۷ a	۲۱۲/۶۷ d	۱۵۵/۶۷ d
	۲۵–۵۰	۶۳۸/۶۷f	۳۴/۶۷e	۱۵۳/۶۷a	۱۳۹/۴۶d	۰/۲۵ b	۱۹۳/۰۰ d	۱۳۸/۳۳ e
کاهشی	۰–۲۵	۷۵۲/۰۰c	۴۶/۶۷b	۱۰۸/۰۰d	۱۹۲/۶۷b	۰/۲۴ b	۲۲۶/۰۰ c	۱۷۹/۰۰ b
	۲۵–۵۰	۶۹۹/۲d	۴۱/۷۳c	۱۱۸/۰۰c	۱۷۰/۵۷c	۰/۲۵ b	۲۱۶/۰۰ cd	۱۶۲/۳۳ c
بی‌خاک‌ورزی	۰–۲۵	۸۳۵/۰۰a	۵۲/۱۳a	۸۴/۰۰f	۲۲۰/۰۰a	۰/۲۴ b	۲۵۳/۳۳ a	۱۹۱/۶۷ a
	۲۵–۵۰	۷۹۶/۳۳b	۵۰/۲۷a	۹۷/۰۰e	۱۹۸/۴۷b	۰/۲۵ b	۲۳۸/۳۳ b	۱۷۸/۰۰ b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال درصد ندارند

تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و عمق بر تنفس پایه

بیشترین مقدار تنفس پایه به ترتیب (۵۲/۱۳، ۴۶/۶۷ و ۳۸/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ۱۲ ساعت) در سامانه‌های بی خاک‌ورزی، کاهشی و مرسوم بود که تفاوت چشمگیری باهم داشتند. مقدار این ویژگی در لایه سطحی در مقایسه با لایه عمقی نیز بیشتر بود (جدول ۲). این نتایج بیانگر آن است که با کاهش مواد آلی در اثر اعمال روش‌های مدیریتی غلط، کشت و کار متراکم و شخم‌های متعدد، از فراوانی و شدت فعالیت میکروب‌ها و در نتیجه تنفس پایه کاسته می‌شود. تنفس پایه در سامانه بی خاک‌ورزی در لایه سطحی و عمقی به ترتیب ۳۷ و ۴۵ درصد افزایش داشت (جدول ۲). همچنین تنفس پایه سامانه خاک‌ورزی کاهشی نیز در دو عمق، ۱۷ و ۲۰ درصد در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم افزایش داشت. در سامانه بی خاک‌ورزی به دلیل وجود مقادیر بالاتر مواد آلی نسبت به سامانه‌های کاهشی و مرسوم و در نتیجه افزایش تنوع زیستی و رشد و فراوانی ریزجانداران خاک، میزان تنفس پایه بیشتر است. همچنین در سامانه بی خاک‌ورزی در مقایسه با سامانه کاهشی و مرسوم ظرفیت نگهداری آب بیشتر است که باعث ایجاد شرایط رطوبتی بهتر، مواد غذایی کافی، افزایش تنوع و جمعیت میکروبی و درنهایت افزایش میزان تنفس پایه می‌شود.

از دیگر دلایل کاهش تنفس در خاک‌ورزی مرسوم، می‌توان به شخم و به هم خوردن بیشتر خاک اشاره نمود. تحت این شرایط هیف قارچ‌ها از بین رفته و جمعیت آن‌ها کاهش می‌یابد (هانگریا و همکاران، ۲۰۰۹). بابوجا و همکاران (۲۰۱۰) در ارزیابی تنفس پایه در دو سامانه مختلف خاک‌ورزی دریافتند که در سامانه بی خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، مقادیر بالاتری از تنفس پایه در لایه صفر تا ۴۰ سانتی‌متری خاک مشاهده شد. هانگریا و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که در خاک‌ورزی مرسوم، ریزجانداران بیشتر تحت محدودیت شدید میزان کربن آلی می‌باشند. دوران و پارکین (۱۹۹۴)، اسپارلینگ (۱۹۹۷) و کاسچوک و همکاران (۲۰۱۰) نیز مشاهده کردند که با کاربرد سامانه بی خاک‌ورزی میزان تنفس پایه افزایش می‌یابد.

تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و عمق بر کربن زیست‌توده میکروبی

بیشترین و کمترین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی با مقدار ۲۲۰ و ۱۳۹/۳۳ در لایه سطحی سامانه بی خاک‌ورزی و لایه عمقی سامانه خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شد (جدول ۲). میزان کربن زیست‌توده میکروبی در سامانه بی خاک‌ورزی در لایه سطحی و عمقی در مقایسه با سامانه مرسوم به ترتیب ۵۳ و ۴۲ درصد افزایش داشت (جدول ۲). میزان کربن زیست‌توده میکروبی در سامانه خاک‌ورزی کاهشی بین دو سامانه مرسوم و بی خاک‌ورزی قرار دارد (جدول ۲). این نتایج می‌تواند به دلیل وجود بقایای گیاهی در سطح خاک و تجمع بیشتر کربن در سامانه بی خاک‌ورزی باشد. به دنبال افزایش میزان کربن خاک، جمعیت میکروبی نیز افزایش‌یافته و منجر به افزایش میزان کربن زیست‌توده میکروبی می‌شود. در سامانه‌های بی خاک‌ورزی قارچ‌ها فرصت رشد و نمو یافته و ریسه‌های آن‌ها در تمامی جهات خاک به‌آرامی گسترش می‌یابد. این موضوع نه تنها منجر به تشکیل خاکدانه‌های بزرگ و پایدار می‌شود، بلکه زیست‌توده میکروبی خاک را هم به‌صورت چشمگیری افزایش می‌دهند. این در حالی است که شخم زدن و زیر و رو کردن پی‌درپی خاک، شبکه ریسه‌های قارچی را از هم پاشیده و جمعیت زیست‌توده قارچی را به‌سرعت کاهش می‌دهد.

سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی مانند بی-خاک‌ورزی و یا کاهشی که گیاهان به‌طور مستقیم با حداقل به هم خوردگی خاک کشت‌شده و روش‌های متنوع تناوب زراعی نیز اجرا می‌شوند، می‌توانند در حفظ و بهبود کیفیت خاک کمک کنند (بیر و همکاران، ۱۹۹۴). اثرات زیست‌توده میکروبی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، تجزیه مواد آلی و نقش واسطه جهت در دسترس بودن مواد غذایی برای گیاهان است. زیست‌توده میکروبی، معدنی شدن مواد

مغذی را تسریع بخشیده و یک منبع کوچک اما متحرک از مواد مغذی ضروری برای رشد گیاه محسوب می‌شود (جنکیسون و لاد، ۱۹۸۱). همچنین زیست‌توده میکروبی می‌تواند یک شاخص کوتاه‌مدت از تغییرات مدیریت خاک در مقایسه با کل کربن آلی و نیتروژن باشد (کارتر و همکاران، ۱۹۹۸؛ سافینگا و همکاران، ۱۹۸۹) بنابراین می‌توان از زیست‌توده میکروبی به‌عنوان تعیین سطح تخریب خاک استفاده نمود. محمدی و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر تعداد باکتری و کربن زیست‌توده میکروبی خاک دارد.

زیست‌توده میکروبی بخشی از مواد آلی خاک است که در تبدیل بقایای آلی و پویایی نیتروژن، فسفر و گوگرد به‌طور فعال دخالت دارد (مرینو و همکاران، ۲۰۰۴). زیست‌توده میکروبی و فعالیت آن به دخالت بشر حساس بوده و برای تعیین و ارزیابی وضعیت زیستی و اکولوژیک و حاصلخیزی خاک مناسب است (مرینو و همکاران، ۲۰۰۴)؛ بنابراین کربن زیست‌توده میکروبی یکی از پارامترهای زیستی است که اغلب اوقات در بررسی کیفیت خاک اندازه‌گیری می‌شود. این پارامتر هم منبع قابل دسترس عناصر و هم عامل تغییر شکل عناصر غذایی در خاک است (چنج و همکاران، ۱۹۹۵). توده زنده میکروبی تحت تأثیر کمیت و کیفیت مواد ورودی به خاک قرار گرفته و منعکس‌کننده توانایی میکروب‌ها برای معدنی کردن کربن و نیتروژن آلی است (مرینو و همکاران، ۲۰۰۴).

تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و عمق بر کسر متابولیکی

بیشترین و کمترین میزان کسر متابولیکی در لایه‌های سطحی سامانه خاک‌ورزی مرسوم و خاک‌ورزی کاهشی (به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۲۴ میکروگرم کربن بر گرم کربن زیست‌توده میکروبی در روز) مشاهده شد که با هم تفاوت چشمگیری داشتند (جدول ۲). در مجموع بین مقادیر کسر متابولیکی در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی تفاوت چشمگیری مشاهده نشد و میزان این پارامتر با افزایش عمق در سامانه کاهشی و حفاظتی افزایش و در سامانه مرسوم کاهش یافت (جدول ۲). تغییر روش مدیریت زراعی با تغییر مقدار و کیفیت بقایای آلی وارد شده به خاک، تغییر و کاهش جمعیت و فعالیت میکروبی و نیز آشفتگی شرایط پایدار خاک بر اثر عملیات خاک‌ورزی و تردد ماشین‌آلات سبب افزایش این ویژگی می‌گردد. مقادیر بالاتر ضریب متابولیکی در خاک‌های شخم زده در مقایسه با خاک‌های دست‌نخورده نشان می‌دهد که زیست‌توده میکروبی در خاک‌های شخم شده به ازای هر واحد کربن آلی خود مقدار بیشتری از آن را تنفس و یا معدنی نموده و به دی‌اکسید کربن تبدیل می‌کند و مقدار کمتری از آن صرف رشد و تکثیر و تشکیل زیست‌توده میکروبی می‌گردد. به بیان دیگر، قسمت اعظم کربن سوبسترا برای تأمین انرژی مورد نیاز سلول دچار متابولیسم شده و کمتر به زیست‌توده میکروبی تبدیل می‌گردد.

طبق گفته اندرسون (۲۰۰۳) افزایش تنش و استرس در جامعه میکروبی موجب افزایش این ضریب بیولوژیک می‌شود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که زیر و رو کردن مداوم خاک که در روش‌های خاک‌ورزی مرسوم صورت می‌گیرد، باعث وارد شدن استرس بیشتری به جامعه میکروبی شده و در نتیجه میزان ضریب متابولیکی در خاک‌ورزی مرسوم افزایش می‌یابد. در مجموع میزان کسر متابولیکی تفاوت خیلی چشمگیری در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی نداشته اما در سامانه مرسوم بیشتر است. این نشان‌دهنده آن است که با افزایش روند مدیریت‌های قدیمی در زمین‌های کشاورزی، میزان ضریب متابولیکی افزایش یافته و به دنبال آن کفیت خاک کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که کسر میکروبی بیانگر قسمتی از ماده آلی خاک است که در سلول‌های میکروبی معدنی شده است، با شرط یکسان بودن سایر خصوصیات و شرایط خاک، بالا بودن این نسبت نشان دهنده بزرگ بودن قسمت قابل تجزیه ماده آلی خاک نسبت به ترکیبات هوموس پایدار است (جین‌پینگ و همکاران، ۲۰۰۹) بنابراین می‌توان گفت که به احتمال زیاد در سامانه حفاظتی به دلیل افزایش کربن آلی و

احتمالاً بالا رفتن میزان قارچ‌ها این نسبت کوچک‌تر است. هر اندازه که محیط تحت تنش باشد کسر میکروبی نیز افزایش می‌یابد. در اراضی که با سامانه مرسوم شخم زده می‌شوند به دلیل شخم، عملیات خاک‌ورزی و از بین رفتن شبکه قارچی و جایگزین شدن باکتری‌ها به‌ویژه باکتری‌های فرصت‌طلب، کسر میکروبی افزایش می‌یابد.

اینسام و دامش (۱۹۸۸) در بررسی اراضی کشاورزی احیا شده کاهش چشمگیر ضریب متابولیکی با گذشت زمان را مشاهده و اعلام کردند که با گذشت زمان و تکامل سامانه کشاورزی، تنفس میکروبی به ازای واحد جرم کربن توده میکروبی کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت که کاهش ضریب متابولیکی از خاک‌ورزی مرسوم به سمت کم خاک‌ورزی و سپس بی خاک‌ورزی در اثر تکامل سامانه خاک‌ورزی و کاهش آشفتگی در سطح خاک است.

از دلایل دیگر بیشتر بودن ضریب متابولیکی در سامانه خاک‌ورزی مرسوم می‌توان به وجود تهویه مناسب و دسترسی به کربن سهل‌الوصول ناشی از شکسته شدن خاکدانه‌ها در این سامانه اشاره نمود. در نتیجه، میزان کسر متابولیکی در این نوع خاک‌ورزی نسبت به دو نوع خاک‌ورزی دیگر بیشتر بود. همچنین وجود شخم و دست‌کاری بیشتر در خاک‌ورزی مرسوم باعث کاهش جمعیت قارچ‌ها در اثر از بین رفتن هیف‌های آنان گشته و بالطبع میزان تنفس ناشی از قارچ‌ها کاهش یافت. اما با توجه به این‌که میکروب‌ها و باکتری‌های خاک به‌خصوص باکتری‌های فرصت‌طلب و غیربومی خاک با استفاده از شرایط تهویه بهتر، سوبسترا و مواد آلی سهل‌الوصول، تعدادشان نسبت به دو نوع خاک‌ورزی دیگر افزایش یافته است. در نتیجه میزان کسر متابولیکی در این نوع خاک‌ورزی نسبت به دو نوع خاک‌ورزی دیگر افزایش نشان داد (جدول ۲).

بررسی کیفیت خاک

مطابق جدول ۳ در سامانه خاک‌ورزی مرسوم سه مؤلفه اصلی ابتدایی با ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک که در مجموع ۱۲/۹۵ از واریانس کل را تحت پوشش قرار می‌دهند، استخراج شدند. در مؤلفه اصلی اول (جدول ۴)، BDبیشترین وزن را دارد و بر اساس ۱۰ درصد وزن این متغیر، متغیرهایی از جمله DC، OC، MBC، qCO_2، Cmin، Cmin/OC، (Cmin/OC)/100، SIR، Urease، Invertase بیشترین وزن را داشتند. در مؤلفه اصلی دوم، MBC/OC بیشترین وزن را دارد و بر اساس ۱۰ درصد وزن آن، %(MBC/OC) نیز به‌عنوان عضوی از دسته داده-های حداقل انتخاب شد. در مؤلفه اصلی سوم، $CaCO_3$ تنها متغیری است که به‌عنوان عضوی از دسته داده‌های حداقل انتخاب شد. چون بین MBC/OC و %(MBC/OC) همبستگی بالایی وجود دارد، %(MBC/OC) را از مجموعه داده‌های حداقل حذف نمودیم بنابراین در کل ۱۲ ویژگی BD، DC، OC، MBC، qCO_2، Cmin، Cmin/OC، SIR، Urease، Invertase و MBC/OC به‌عنوان دسته داده‌های حداقل انتخاب شدند.

جدول ۳ - مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و ارزش ویژه به دست آمده از آنالیز تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) در سامانه خاک‌ورزی مرسوم

ویژگی مورد بررسی	ارزش به دست آمده از PCA	درصد واریانس	واریانس تجمعی
PC1	۱۱/۳۳	۶۶/۶۷	۶۶/۶۷
PC2	۳/۴۱	۲۰/۰۹	۶۸/۷۵
PC3	۱/۴۲	۸/۳۷	۹۵/۱۲
PC4	۰/۶۱۷	۳/۶۳	۹۸/۷۵
PC5	۰/۲۱۲	۱/۲۵	۱۰۰/۰۰
PC6	۷/۵۶۸E-۱۶	–	–
PC7	۳/۷۳۹E-۱۶	–	–
PC8	۲/۳۴۹E-۱۶	–	–
PC9	۱/۵۳۵E-۱۶	–	–
PC10	۸/۶۱۰E-۱۷	–	–
PC11	۵/۱۲۸E-۱۷	–	–
PC12	۴/۸۱۹E-۱۷	–	–
PC13	۹۸/۳۹۶E-۱۷	–	–
PC14	-۱/۹۸۲E-۱۶	–	–
PC15	-۳/۱۱۰E-۱۶	–	–
PC16	-۴/۹۵۲E-۱۶	–	–
PC17	-۵/۷۲۳E-۱۶	–	–

در سامانه خاک‌ورزی کاهشی، سه مؤلفه اصلی ابتدایی با ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک که در مجموع ۹۵/۰۳ از واریانس کل را تحت پوشش قرار می‌دهند، استخراج شدند (جدول ۵). در مؤلفه اصلی اول (جدول ۶)، Invertase بیشترین وزن را دارد و بر اساس ۱۰ درصد وزن این متغیر، متغیرهایی از جمله BD، DC، OC، MBC، BR، SIR، Urease و Invertase بیشترین وزن را داشتند. در مؤلفه اصلی دوم، MBC/OC و %(MBC/OC) بیشترین وزن را داشتند و بر اساس ۱۰ درصد وزن آن هیچ‌کدام از ویژگی‌های دیگر در دسته داده‌های حداقل قرار نگرفتند. در مؤلفه اصلی سوم، EC تنها متغیری است که به‌عنوان عضوی از دسته داده‌های حداقل انتخاب شد. چون بین MBC/OC و %(MBC/OC) همبستگی بالایی وجود دارد، %(MBC/OC) را از مجموعه داده‌های حداقل حذف نمودیم و درنهایت ۱۲ ویژگی BD، DC، OC، MBC، BR، SIR، Urease و Invertase، MBC/OC و EC به‌عنوان دسته داده‌های حداقل انتخاب شدند.

جدول ۴ - مؤلفه‌های اصلی به دست آمده از آنالیز تجزیه به مؤلفه اصلی (PCA) در سامانه خاک‌ورزی مرسوم

ویژگی مورد بررسی	مؤلفه		
	۱	۲	۳
BD	-۰/۹۹۲	۰/۱۱۰	۰/۰۴۰
DC	-۰/۹۸۶	۰/۱۱۳	۰/۱۰۳
pH	۰/۴۹۶	۰/۵۹۱	-۰/۵۹۳
EC	-۰/۳۸۵	-۰/۷۶۵	۰/۱۸۲
OC	۰/۹۶۹	-۰/۲۳۹	-۰/۰۳۶
$CaCO_3$	۰/۴۷۷	-۰/۲۰۶	۰/۷۶۷
MBC	۰/۹۳۷	۰/۳۱۳	۰/۰۶۸
MBC/OC	۰/۱۴۱	۰/۹۴۶	۰/۲۲۵
(MBC/OC)%	۰/۱۷۲	۰/۹۳۸	۰/۲۳۶
BR	۰/۷۷۳	۰/۳۰۱	-۰/۵۲۰
qCO_2	-۰/۹۰۳	-۰/۱۷۲	۰/۱۵۱
Cmin	۰/۹۸۵	-۰/۰۴۴	-۰/۰۹۹
(Cmin/OC)	-۰/۹۰۱	۰/۴۰۳	۰/۰۰۴
(Cmin/OC)/100	-۰/۹۰۴	۰/۳۹۷	۰/۰۱۸
SIR	-۰/۹۸۸	۰/۰۵۱	-۰/۰۱۸
Urease	۰/۹۸۶	-۰/۰۴۶	۰/۰۱۵
Invertase	۰/۹۶۳	-۰/۱۹۹	-۰/۱۴۸

در سامانه بی‌خاک‌ورزی، دو مؤلفه اصلی ابتدایی با ارزش ویژه بزرگ‌تر از ۱ که در مجموع ۹۸/۶۶ از واریانس کل را تحت پوشش قرار می‌دهند (جدول ۷)، استخراج شدند. در مؤلفه اصلی اول (جدول ۸)، SIR بیشترین وزن را دارد و بر اساس ۱۰ درصد وزن این متغیر، متغیرهایی از جمله BD، OC، MBC، $CaCO_3$، BR، Cmin، SIR، Urease و Invertase بیشترین وزن را داشتند. در مؤلفه اصلی دوم، pH بیشترین وزن را داشت و بر اساس ۱۰ درصد وزن آن و EC نیز در دسته داده‌های حداقل قرار گرفت. درنهایت ۱۰ ویژگی SIR، BD، DC، OC، MBC، BR، SIR، Urease و Invertase، MBC/OC و EC به‌عنوان دسته داده‌های حداقل انتخاب شدند. سپس واریانس مشترک یا سهم هر ویژگی به‌وسیله روش تجزیه عاملی در دو مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک محاسبه و با تعیین نسبت واریانس مشترک هر ویژگی به مجموع واریانس مشترک کل ویژگی‌ها، وزن هر ویژگی محاسبه گردید (جدول‌های ۹، ۱۰ و ۱۱) و در ادامه شاخص کیفیت تجمعی و نِمِرو برای هر دو دسته داده‌های کل و حداقل داده‌ها محاسبه شد.

جدول ۵ - مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و ارزش ویژه به دست آمده از آنالیز تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) در سامانه خاک‌ورزی کاهشی

ویژگی مورد بررسی	PCA ارزش ویژه به دست آمده از	درصد واریانس	واریانس تجمعی
PC1	۱۰/۴۴	۶۱/۴۳	۶۱/۴۳
PC2	۳/۲۹	۱۹/۳۷	۸۰/۸۱
PC3	۲/۴۲	۱۴/۲۳	۹۵/۰۳
PC4	۰/۷۴۶	۴/۳۹	۹۹/۴۲
PC5	۰/۰۹۸	۰/۵۷۵	۱۰۰/۰۰
PC6	۵/۰۱۲E-۱۶	–	–
PC7	۳/۸۸۹E-۱۶	–	–
PC8	۳/۱۰۶E-۱۶	–	–
PC9	۱/۴۷۹E-۱۶	–	–
PC10	۱/۰۷۳E-۱۶	–	–
PC11	۸/۸۰۵E-۱۷	–	–
PC12	۳/۳۲۹E-۱۷	–	–
PC13	-۹/۸۴۰E-۱۷	–	–
PC14	-۱/۳۰۳E-۱۶	–	–
PC15	-۱/۷۳۵E-۱۶	–	–
PC16	-۲/۵۸۶E-۱۶	–	–
PC17	-۵/۳۶۶E-۱۶	–	–

جدول ۶ - مؤلفه‌های اصلی به دست آمده از آنالیز تجزیه به مؤلفه اصلی (PCA) در سامانه خاک‌ورزی کاهشی

ویژگی	مؤلفه		
	۱	۲	۳
BD	-۰/۹۵۱	-۰/۲۴۰	۰/۱۴۸
DC	-۰/۹۹۴	-۰/۰۹۰	۰/۰۵
pH	-۰/۷۰۵	۰/۱۶۴	۰/۲۱۰
EC	-۰/۳۳۹	۰/۱۶۷	۰/۹۰۸
OC	۰/۹۵۲	-۰/۲۸۸	۰/۰۹۸
$CaCO_3$	۰/۵۱۳	۰/۴۱۶	۰/۷۰۴
MBC	۰/۹۷۹	۰/۱۴۶	۰/۱۳۰
MBC/OC	۰/۰۳۴	۰/۹۸۶	۰/۰۴۳
(MBC/OC)%	۰/۰۰	۰/۹۸۶	۰/۰۷۶
BR	۰/۹۱۲	۰/۲۶۴	-۰/۲۲۷
qCO_2	-۰/۳۶۱	۰/۱۰۴	-۰/۸۵۸
Cmin	۰/۹۹۳	۰/۰۷۷	-۰/۰۷۱
(Cmin/OC)	-۰/۷۲۲	۰/۶۳۵	-۰/۲۶۰
(Cmin/OC)/100	-۰/۷۲۰	۰/۶۳۳	-۰/۲۷۰
SIR	-۰/۹۴۹	-۰/۱۸۱	۰/۲۳۰
Urease	۰/۹۷۴	۰/۱۵۵	-۰/۰۷۹
Invertase	۰/۹۸۸	۰/۰۵۱	-۰/۰۵۱

جدول ۷ - مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و ارزش ویژه به دست آمده از آنالیز تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) در سامانه بی‌خاک‌ورزی

ویژگی مورد بررسی	ارزش ویژه	درصد واریانس	واریانس تجمعی
PC1	۱۰/۴۶	۶۱/۵۴	۶۱/۵۴
PC2	۵/۵۶	۳۲/۷۲	۹۴/۲۶
PC3	۰/۷۴۸	۴/۴۰	۹۸/۶۶
PC4	۰/۱۵۳	۰/۹۰۱	۹۹/۵۶
PC5	۰/۰۷۴	۰/۴۳۵	۱۰۰/۰۰
PC6	۷/۰۴۶E-۱۶	–	–
PC7	۴/۰۱۲E-۱۶	–	–
PC8	۲/۱۲۶E-۱۶	–	–
PC9	۱/۷۷۵E-۱۶	–	–
PC10	۶/۴۳۷E-۱۷	–	–
PC11	-۳/۴۵۶E-۱۷	–	–
PC12	-۹/۷۴۶E-۱۷	–	–
PC13	-۲/۰۱۴E-۱۶	–	–
PC14	-۲/۱۷۷E-۱۶	–	–
PC15	-۲/۳۹۷E-۱۶	–	–
PC16	-۳/۲۴۰E-۱۶	–	–
PC17	-۴/۴۹۶E-۱۶	–	–

جدول ۸ - مؤلفه‌های اصلی به دست آمده از آنالیز تجزیه به مؤلفه اصلی (PCA) در سامانه بی‌خاک‌ورزی

ویژگی	مؤلفه	
	۱	۲
BD	-۰/۸۹۲	-۰/۴۴۱
DC	-۰/۶۶۶	-۰/۷۲۴
pH	-۰/۲۴۸	-۰/۹۰۹
EC	-۰/۴۲۵	-۰/۸۵۷
OC	۰/۹۲۵	-۰/۳۶۴
$CaCO_3$	۰/۹۳۳	-۰/۳۱۱
MBC	۰/۵۴۳	۰/۷۸۹
MBC/OC	-۰/۷۷۴	۰/۶۲۳
(MBC/OC)%	-۰/۷۶۳	۰/۶۳۸
BR	۰/۹۲۵	۰/۱۰۹
qCO_2	۰/۸۲۶	-۰/۱۴۳
Cmin	۰/۹۵۷	۰/۲۸۴
(Cmin/OC)	-۰/۵۴۴	۰/۸۰۱
(Cmin/OC)/100	-۰/۵۴۶	۰/۷۹۸
SIR	-۰/۹۷۸	-۰/۲۰۳
Urease	۰/۹۶۸	۰/۲۲۵
Invertase	۰/۹۱۵	۰/۳۸۷

جدول ۹ - واریانس مشترک و وزن ویژگی‌ها در مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل در سامانه خاک‌ورزی مرسوم

ویژگی	مجموعه کل داده‌ها		دسته داده‌های حداقل	
	واریانس مشترک	وزن	واریانس مشترک	وزن
BD	۰/۹۹۱	۰/۰۶۱۸	۰/۹۹۶	۰/۰۹۰۸
DC	۰/۹۹۶	۰/۰۶۱۶	۰/۹۹۱	۰/۰۹۰۴
pH	۰/۹۴۷	۰/۰۵۸۵	–	–
EC	۰/۷۶۵	۰/۰۴۷۳	–	–
OC	۰/۹۹۸	۰/۰۶۱۷	۰/۹۹۲	۰/۰۹۰۴
$CaCO_3$	۰/۸۵۸	۰/۰۶۰۷	۰/۳۰۲	۰/۰۲۷۵
MBC	۰/۹۸۱	۰/۰۵۹۷	۰/۹۸۶	۰/۰۸۹۹
MBC/OC	۰/۹۶۵	۰/۰۵۹۷	۰/۹۳۶	۰/۰۸۵۳
(MBC/OC)%	۰/۹۶۵	۰/۰۵۹۷	–	–
BR	۰/۹۵۹	۰/۰۵۹۳	–	–
qCO_2	۰/۸۶۸	۰/۰۵۳۷	۰/۹۲۶	۰/۰۸۴۴
Cmin	۰/۹۸۰	۰/۰۶۰۶	۰/۹۷۵	۰/۰۸۸۹
(Cmin/OC)	۰/۹۷۴	۰/۰۶۰۲	۰/۹۴۱	۰/۰۸۵۸
(Cmin/OC)/100	۰/۹۷۵	۰/۰۶۰۳	–	–
SIR	۰/۹۷۸	۰/۰۶۰۵	۰/۹۷۹	۰/۰۸۹۲
Urease	۰/۹۷۴	۰/۰۶۰۲	۰/۹۷۷	۰/۰۸۹۰
Invertase	۰/۹۹۰	۰/۰۶۱۲	۰/۹۶۵	۰/۰۸۸۰

جدول ۱۰ - واریانس مشترک و وزن ویژگی‌ها در مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل در سامانه خاک‌ورزی کاهشی

ویژگی	مجموعه کل داده‌ها		دسته داده‌های حداقل	
	واریانس مشترک	وزن	واریانس مشترک	وزن
BD	۰/۹۹۰	۰/۰۶۱۸	۰/۹۷۲	۰/۰۸۳۸
DC	۰/۹۶۸	۰/۰۶۰۴	۱/۰۰	۰/۰۸۶۳
pH	۰/۸۸۸	۰/۰۵۵۴	–	–
EC	۰/۹۱۶	۰/۰۵۷۱	۰/۸۰۴	۰/۰/۰۶۹۴
OC	۰/۹۸۷	۰/۰۶۱۶	۰/۹۹۵	۰/۰۸۵۸
$CaCO_3$	۰/۹۶۷	۰/۰۶۰۳	–	–
MBC	۰/۹۱۸	۰/۰۵۷۳	۰/۹۹۹	۰/۸۶۱۸
MBC/OC	۰/۹۸۸	۰/۰۶۱۶	۰/۹۷۴	۰/۰۸۴۰
(MBC/OC)%	۰/۹۹۰	۰/۰۶۱۸	–	–
BR	۰/۹۶۸	۰/۰۵۴۲	۰/۹۷۴	۰/۰۸۴۱
qCO_2	۰/۷۰۳	۰/۰۴۳۹	۰/۹۰۴	۰/۰۷۸۰
Cmin	۰/۹۹۶	۰/۰۶۲۱	۰/۹۹۹	۰/۰۸۶۲
(Cmin/OC)	۰/۹۳۸	۰/۰۵۸۵	–	–
(Cmin/OC)/100	۰/۹۳۵	۰/۰۵۸۳	–	–
SIR	۰/۹۹۸	۰/۰۶۲۳	۰/۹۹۷	۰/۰۸۶۰
Urease	۰/۹۸۸	۰/۰۶۱۶	۰/۹۸۶	۰/۰۸۵۰
Invertase	۰/۹۸۸	۰/۰۶۱۶	۰/۹۸۶	۰/۰۸۵۱

جدول ۱۱ - واریانس مشترک و وزن ویژگی‌ها در مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل در سامانه بی‌خاک‌ورزی

ویژگی	مجموعه کل داده‌ها		دسته داده‌های حداقل	
	واریانس مشترک	وزن	واریانس مشترک	وزن
BD	۰/۹۸۴	۰/۰۶۰۹	۰/۹۹۴	۰/۱۰۲۶
DC	۱/۰۰	۰/۰۶۱۹	–	–
pH	۰/۵۶۸	۰/۰۳۵۱	۰/۹۷۱	۰/۱۰۰۲
EC	۰/۹۶۸	۰/۰۵۹۹	۰/۹۷۲	۰/۱۰۰۳
OC	۰/۹۹۸	۰/۰۶۱۷	۰/۹۵۱	۰/۰۹۸۲
$CaCO_3$	۰/۹۳۳	۰/۰۵۷۷	۰/۹۵۷	۰/۰۹۸۸
MBC	۰/۹۹۶	۰/۰۶۱۶	–	–
MBC/OC	۰/۹۷۵	۰/۰۶۰۳	–	–
(MBC/OC)%	۰/۹۷۹	۰/۰۶۰۶	–	–
BR	۰/۹۵۲	۰/۰۵۸۹	۰/۸۷۲	۰/۰۹۰۰
qCO_2	۰/۸۷۷	۰/۰۵۴۲	–	–
Cmin	۰/۹۹۷	۰/۰۶۱۷	۰/۹۹۴	۰/۱۰۲۶
(Cmin/OC)	۰/۹۹۲	۰/۰۶۱۴	–	–
(Cmin/OC)/100	۰/۹۹۲	۰/۰۶۱۴	–	–
SIR	۰/۹۸۷	۰/۰۶۱۱	۰/۹۹۹	۰/۱۰۳۱
Urease	۰/۹۷۸	۰/۰۶۰۵	۰/۹۸۷	۰/۱۰۱۹
Invertase	۰/۹۸۱	۰/۰۶۰۷	۰/۹۹۱	۰/۱۰۲۳

نتایج به دست آمده (جدول ۱۲) نشان می‌دهد که سامانه بی‌خاک‌ورزی بیشترین مقدار شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نِمِرو را در هر دو مجموعه داده به خود اختصاص داده و پس از آن سامانه خاک‌ورزی کاهشی قرار گرفته و سامانه خاک‌ورزی مرسوم دارای کیفیت پایین‌تری در مقایسه با دو سامانه دیگر است. بر اساس یافته‌های مخرجی و لال (۲۰۱۴) چهار درجه کیفیت خاک تعیین شده است که در این درجه‌بندی خاک‌های درجه یک مقدار کیفیت تجمعی بیشتر از ۰/۷۸ دارند. این خاک‌ها کاملاً مناسب برای رشد گیاه است. درجه دو مقدار شاخص کیفیت تجمعی بین ۰/۶۸ تا ۰/۷۸ و مناسب برای رشد گیاه است اما مقداری محدودیت دارند. خاک‌های درجه سه دارای شاخص کیفیت بین ۰/۵۸ تا ۰/۶۸ و دارای محدودیت بیشتری نبست به خاک درجه یک و دو هستند. درنهایت خاک‌های درجه چهار که شاخص کیفیت تجمعی در آن‌ها کمتر از ۰/۵۸ است. با توجه به مقادیر شاخص کیفیت تجمعی در هر سه سامانه خاک‌ورزی، خاک‌های مورد مطالعه در درجه یک قرار گرفتند که کاملاً برای کشت و کار مناسب است و محدودیتی ندارند. کیفیت خاک در سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی و کاهشی در مقایسه با سامانه مرسوم در مجموعه افزایش یافته به‌نحوی‌که مقدار شاخص کیفیت تجمعی در سامانه خاک‌ورزی حفاظتی و کاهشی در مقایسه با سامانه خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب ۱/۳۷ و ۰/۰۰۷ درصد (در مجموع کل داده‌ها) افزایش یافته است (جدول ۱۳).

جدول ۱۲- کیفیت خاک در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی بر مبنای دو شاخص و مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل

سامانه خاک‌ورزی	کیفیت تجمعی		کیفیت نِمِرو	
	مجموعه کل داده‌ها	دسته داده‌های حداقل	مجموعه کل داده‌ها	دسته داده‌های حداقل
مرسوم	۰/۹۵۵	۰/۹۵۲	۰/۸۳۷	۰/۶۵۱
کاهشی	۰/۹۴۸	۰/۹۶۹	۰/۸۰۷	۰/۸۵۱
بی‌خاک‌ورزی	۰/۹۶۱	۰/۹۷۰	۰/۷۵۹	۰/۸۷۴

از آنجا که سامانه خاک‌ورزی مرسوم دارای کمترین کیفیت خاک است، بنابراین در زمین‌هایی که هنوز عملیات کشاورزی با استفاده از سامانه‌های مرسوم صورت می‌گیرد لازم است عملیات مدیریتی مناسب به‌منظور افزایش کیفیت خاک اجرا گردد. لذا ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک به‌ویژه ویژگی‌های انتخاب شده به‌عنوان دسته داده‌های حداقل که بیشترین تأثیر را بر شاخص کیفیت خاک دارند، به محدوده بهینه‌شان نزدیک می‌شوند. از میان ویژگی‌هایی که به‌عنوان دسته داده‌های حداقل انتخاب شدند، کربن آلی خاک عاملی است که بیشتر ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین با اتخاذ اقدامات مدیریتی جهت افزایش کربن آلی خاک می‌توان سایر ویژگی‌ها را نیز به حد بهینه سوق داد. بدین جهت میزان کیفیت خاک را در سامانه‌های مختلف شخم به‌ویژه مرسوم افزایش داد. لل و همکاران (۱۹۹۷)، امامی و همکاران (۱۳۸۷) و گرجی و همکاران (۱۳۹۵) نیز به تأثیر بالای کربن آلی در مقایسه با سایر ویژگی‌های خاک در افزایش کیفیت خاک اشاره نمودند.

تفاوت حاصل از مقادیر برآورد کیفیت خاک توسط دو شاخص کیفیت تجمعی و نِمِرو، بین دسته دو مجموعه کل و حداقل داده‌ها نشان داد که مجموعه کل داده‌ها دقت و صحت بیشتری نسبت به دسته داده‌های حداقل دارد (جدول ۴-۱۹) که این امر به دلیل وجود ویژگی‌های بیشتر در محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک است. دوران و پارکین (۱۹۹۴) و گرجی و همکاران (۱۳۹۵) نیز شاخص کیفیت تجمعی در مجموعه کل داده‌ها را به‌عنوان جامع‌ترین و بهترین ترکیب برای ارزیابی کیفیت خاک معرفی نمودند اما با این وجود استفاده از دسته داده-های حداقل موجب کاهش حجم کار و هزینه‌های مربوط به آن همراه با دقت مناسب می‌شود. در حالت مقایسه بین دو روش شاخص تجمعی کیفیت خاک و شاخص کیفیت نِمِرو می‌توان مشاهده نمود که مقدار عددی شاخص کیفیت خاک نِمِرو در هر دو مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل، نسبت به شاخص تجمعی کیفیت خاک کمتر است. البته این امر طبیعی به نظر می‌رسد و نتایج تحقیقات زیادی این وضعیت را تأیید می‌کند. شهاب آرخازلو و همکاران (۱۳۹۰)، رحمانپور و همکاران (۲۰۱۴)، کی و همکاران (۲۰۰۹) و گرجی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهش‌های خود به این نتیجه دست یافتند که مقدار شاخص کیفیت خاک نِمِرو در کلیه‌ی شرایط نسبت به شاخص کیفیت تجمعی خاک کمتر است. برای تعیین کیفیت خاک، به‌جای مجموعه کل داده‌ها می‌توان از دسته داده‌های حداقل استفاده نمود. برای این کار رابطه بین این دو مجموعه داده بررسی شد. در جدول ضریب همبستگی بین این دو مجموعه داده برای هر دو شاخص ارائه شده است (جدول ۱۲). برای شاخص کیفیت تجمعی درکل منطقه ضریب تبیین رابطه ۰/۹۵ است و برای شاخص کیفیت نِمِرو ضریب تبیین بین این دو مجموعه ۰/۸۸ است که بیانگر رابطه خوب این دو مجموعه برای هر دو شاخص به‌ویژه شاخص کیفیت تجمعی است. همچنین بیانگر کارایی بهتر شاخص کیفیت تجمعی برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه است؛ بنابراین می‌توان به‌جای اندازه‌گیری مجموعه کل ویژگی‌های اندازه-گیری شده در این منطقه مطالعاتی، از دسته داده‌های حداقل استفاده نمود و با ضریب اطمینان ۰/۹۵ و ۰/۸۸ به همان نتایج دست یافت (جدول ۱۲)؛ بنابراین با استفاده از شاخص‌های کیفیت خاک حاصل از دسته ویژگی‌های حداقل، با اطمینان قابل قبولی می‌توان کیفیت خاک را ارزیابی نمود. در نظر گرفتن دسته داده‌های حداقل نسبت به مجموعه کل داده‌ها، موجب صرفه‌جویی در هزینه و زمان مورد نیاز برای تعیین کیفیت خاک می‌شود. شهاب آرخازلو و همکاران (۱۳۹۰) در زمین‌های کشاورزی و مرتعی جنوب مشهد، برای شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نِمِرو رابطه این دو مجموعه را بررسی نمودند و ضریب تبیین ۰/۶۲ و ۰/۵۶ به دست آوردند. همچنین کی و همکاران (۲۰۰۹) برای شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نِمِرو به ترتیب ضریب تبیین ۰/۶۵ و ۰/۵۷ و گرجی و همکاران (۱۳۹۵) ۰/۹۵ و ۰/۸۸ را به دست آوردند؛ بنابراین یافته‌های بیشتر این پژوهشگران نیز نشان

می‌دهد که رابطه خوبی بین این دو سری داده وجود دارد و می‌توان به‌جای مجموعه کل داده‌ها از دسته داده‌های حداقل برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده نمود.

در این پژوهش مقادیر شاخص کیفیت تجمعی نسبت به شاخص کیفیت نِمِرو، ارزیابی دقیق‌تری از کیفیت خاک را نمایش داد که با واقعیت نیز همخوانی بیشتری دارد زیرا این شاخص برای ویژگی‌های مورد بررسی، علاوه بر امتیازدهی، اوزانی نیز در نظر می‌گیرد درحالی‌که در شاخص کیفیت نِمِرو تنها بر اساس مقادیر میانگین و حداقل امتیاز ویژگی‌ها محاسبه می‌شود. در همین راستا بسیاری از پژوهشگران به برتری نتایج حاصل از شاخص کیفیت تجمعی در مقایسه با شاخص کیفیت نِمِرو اشاره نموده‌اند که در این زمینه می‌توان به کی و همکاران (۲۰۰۹)، گرجی و همکاران (۱۳۹۵)، حبیبی و همکاران (۱۳۹۳) و رحمانپور و همکاران (۲۰۱۴) اشاره نمود.

جدول ۱۳ - خلاصه تغییرات نسبی (٪) شاخص‌های کیفیت خاک، بر اثر تغییر سامانه خاک‌ورزی در دو مجموعه داده مختلف

	ویژگی	بی خاک‌ورزی نسبت به مرسوم	بی خاک‌ورزی نسبت به کاهشی	خاک‌ورزی کاهشی نسبت به مرسوم
کیفیت تجمعی	مجموعه کل داده‌ها	+۱/۳۷	+۰/۶۳	+۰/۰۰۷
	دسته داده‌های حداقل	+ ۰/۱۰	+۱/۸۹	−۱/۷۵
کیفیت نِمِرو	مجموعه کل داده‌ها	−۵/۹۵	−۹/۳۲	+۳/۷۲
	دسته داده‌های حداقل	۲/۷۰	+۳۴/۲۵	−۲۳/۵

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج می‌توان بیان داشت که ویژگی‌های خاک تحت تأثیر اعمال سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی قرار گرفته که البته میزان تغییرات از شدت‌های متفاوتی برخوردار بود. در بین ویژگی‌های شیمیایی خاک کربن آلی بیشترین تغییرپذیری را در اثر تغییر سامانه خاک‌ورزی داشت. با توجه به این نکته که کربن آلی بر بسیاری از ویژگی‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی خاک تأثیرگذار است، می‌توان گفت که نقش کلیدی در تعیین کیفیت خاک دارد. در بین ویژگی‌های فیزیکی خاک جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر اعمال سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی تغییرات زیادی داشت. بیشتر ویژگی‌های زیستی مورد بررسی با تغییر سامانه خاک‌ورزی، تغییرات مثبتی داشتند که به‌تبع آن کیفیت خاک نیز بهبود یافته است. در ارزیابی کیفیت خاک شاخص تجمعی صحت بالاتری در مقایسه با شاخص کیفیت نِمِرو داشت و می‌توان به‌جای محاسبه و اندازه‌گیری همه ویژگی‌های خاک با صرفه‌جویی در زمان و هزینه از مجموعه داده‌های حداقل استفاده نمود. به‌طورکلی کیفیت خاک با اجرای سامانه‌های بی‌خاک‌ورزی و کاهشی در مقایسه با مرسوم افزایش داشت. نتایج این بررسی نشان داد که تغییر سامانه‌های خاک‌ورزی موجب افزایش کیفیت خاک می‌شود و استفاده از شخم بی‌رویه در طولانی‌مدت باعث از بین رفتن خاک خواهد شد.

فهرست منابع

۱. امامی، ح.، شرفا، م.، نیشابوری، م. ر.، و لیاقت، ع. ۱۳۸۷. برآورد شاخص کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از ویژگی‌های زودیافت خاک در تعدادی از خاک‌های شور و آهکی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۳۹ (۱): ۴۶-۳۹.

۲. حبیبی، م.، شیرانی، ح.، کمالی، ا.، و اسفندیارپور بروجنی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی برخی شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از سنجش از دور و زمین‌آمار در منطقه بافت کرمان. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۵ (۱): ۱۷۲-۱۵۹.

۳. رحیم‌زاده، ر.، و نوید، ح. ۱۳۹۰. اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر خواص خاک رسی و عملکرد گندم در تناوب با نخود در شرایط دیم. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲ (۱): ۲۹-۴۱.

۴. شهاب آرخازلو، ح.، امامی، ح.، حق‌نیا، غ.، و کریمی کارویه، ع. ر. ۱۳۹۰. مقایسه منحنی توزیع اندازه منافذ خاک اراضی مرتعی با اراضی کشاورزی به‌عنوان شاخص کیفیت فیزیکی. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ابریز، ۱۲-۱۴ شهریور ۹۰. ص: ۴-۱.

۵. گرجی، م.، کاکه، ج.، و علی محمدی، ع. ر. ۱۳۹۵. ارزیابی کمی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف در بخشی از اراضی جنوب شرق قزوین. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۷ (۴): ۷۷۵-۷۸۴.

۶. مظاهری، م. ۱۳۹۵. اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی برخصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک تحت کشت گندم و نخود در اقلیم‌های متفاوت دیم‌زارهای استان کرمانشاه، پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی.

7. Alef, K., and Nannipieri, P. 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry Academic Press, London, UK.
8. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In: Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (eds.). Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI. pp: 831-872.
9. Anderson, T.H. 2003. Microbial Eco-physiological indicators to assess soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment. 98:285-293.
10. Babujia, L.C., Hungria, M., Faranchini, J.C., and Brookes, P.C. 2010. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. Soil Biology and Biochemistry. 42 (12): 2174-2181.
11. Beare, M.H., Cabrera, M.L., Hendrix, P.F., and Coleman, D.C. 1994. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. Soil Science Society of American Journal. 58: 787–795.
12. Carter, M.R., Gregorich, E.G., Angers, D.A., Donald, R.G., and Bolinder, M.A. 1998. Organic C and N storage and organic C fractions in adjacent cultivated and forested soils of eastern Canada. Soil and Tillage Research. 47: 253-261.
13. Chang, S.X., Preston, C.M., and Weetman, G.F. 1995. Soil microbial biomass and microbial and mineralize able N in a clear cut chronosequence on northern Vancouver Island, British Columbia. Canadian. Journal of Forest Research. 25: 1595-1607.
14. Doran, J.W., and Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., and Stewart B.A. (eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America Special Publication. No. 35, Madison, WI.
15. Eltiti, A. 2010. Soil Tillage in Agroecosystems. Taylor and Francis, Nature.
16. Estefan, G., Sommer, R., and Ryan, J. 2013. Methods of soil, plant, and water analysis. A manual for the West Asia and North Africa region. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.
17. Horwath, W.R., and Paul, E.A. 1994. Microbial biomass. In: Buxton, D.R. (ed.), Methods of soil analysis. Part 2: Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Series, No.5. Madison, WI.
18. Hungria, M., Franchini, J.C., Brandao-Junior, O., Kaschuk, G., and Souza, R.A. 2009. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. Applied Soil Ecology. 42: 288- 296.
19. Insam, H., and Domsch, K.H. 1988. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. Microbial Ecology. 15:177-188.
20. Jenkinson, D.S., and Ladd, J.N. 1981. Microbial biomass in soil measurement and turnover, In: Paul, E.A., and Ladd, J.N. (eds.). Soil Biochemistry, Marcel Dekker, Inc., NY: 415-471.
21. Jia, T., Koc, A., and Comakli, B. 2007. Changes in vegetation and soil properties along a slope on overgrazed and eroded rangelands. Journal of Arid Environments. 55: 93-100.

22. Jin-Ping, J., Xiong, C., Jiang, H., Yede, Y., Song, J., and Feng-Min, L. 2009. Soil microbial activity during secondary vegetation succession in semiarid abandoned lands of loess plateau. Published by Elsevier Limited and Science Press. 19 (6):735–747.
23. Kaschuk, G., Alberton, O., and Hungria, M. 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian Ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. Soil Biology and Biochemistry. 42: 1- 13.
24. Kennedy, A.C., and Papendick, R.I. 1995. Microbial characteristics of soil quality. Soil and Water Conservation Journal. 50: 243-248.
25. Lal, R., Kimble, J., and Follett, R.F. 1997. Pedosphere processes and the carbon cycle. p. 1–8. In: Lal, R., Blum, C., and Valentine, B.A. (eds.). Stewart. Methods for Assessment of Soil Degradation. CRC Press, Boca Raton.
26. Manlay Raphael, J., Feller, C., and Swift, M.J. 2007. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. Agriculture, Ecosystems and Environment. 119: 217–233.
27. McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan2), 199-224. Organic matter, and effects on root growth. Geoderma. 120: 201-214.
28. Merino, A., Perez-Batallon, P., and Macias Responses, F. 2004. Responses of soil organic matter and greenhouse gas fluxes to soil management and land use changes in a humid temperate region of southern Europe. Soil Biology and Biochemistry. 36: 917-925.
29. Mukherjee, A., and Lal, R. 2014. Comparison of soil quality index using three methods. PloS one. 9 (8): e105981.
30. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1992. Method of Soil Analysis. Part II: Chemical and Mineralogical Properties. 2nd. SSSA, Madison, WI.
31. Qi, Y., Darilek, J.L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., and Gu, Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma. 149 (3-4): 325-334.
32. Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H.A., Fereidouni, Z., and Bandarabadi, S.R. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. Ecological Indicators. 40 (2): 19-26.
33. Raiesi, F. 2007. The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment. 121: 309-318.
34. Rasmussen, P.E., and Collins, H.P. 1991. Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semi-arid regions. Advances in Agronomy. 45: 93-134.
35. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Soil Science. 78(2): 154.
36. Saffigna, P.G., Powlson, D.S., Brookes, P.C., and Thomas, G.A. 1989. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian Vertisol. Soil Biology and Biochemistry. 21: 759–765.
37. Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., and Margesin, R. 1996. Methods in Soil Biology. Springer Berlin, Heidelberg.
38. Sombrero, A., and De Benito, A. 2010. Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. Soil and Tillage Research. 107 (2): 64-70.
39. Sparling, G.P. 1997. Soil microbial biomas, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: Pankhurst, C., Doube, B.M., and Gupta, V.V.S.R. (eds.). Biological indicators of soil health. CAB International, Wallingford, pp: 97–119.
40. Suman, A., Lal, M., Singh, A.K., and Gaur, A. 2006. Microbial biomass turnover in Indian subtropical soils under different sugarcane intercropping systems. Agronomy Journal. 98:698-704.
41. Walkly, R.H., and Black, I. A. 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration. Soil Science. 37: 29-38.

42. Watts, C.W., Eich, S., and Dexter, A.R. 2000. Effects of mechanical energy inputs on soil respiration at the aggregates and field scales. Soil and Tillage Research. 53: 231-243.

Investigating soil quality indicators in different tillage systems under rapeseed cultivation in Kermanshah Province

A. Haydari, A. Beheshti Ale Agha*, F. Rakhsh, and H.R. Chaghazardi

MSc Graduate in Soil Fertility and Biotechnology, Department of Soil Science, Razi University, Kermanshah, Iran. **amin72heidary@gmail.com**

Associate Prof., Department of Soil Science, Razi University, Kermanshah, Iran. **beheshtiali97@gmail.com**

Ph.D. Graduate, Department of Soil Science, Zanjan University, Iran. **rakhsh.fatemeh@alumni.znu.ac.ir**

Assistant Prof., Department of Soil Science, Razi University, Kermanshah, Iran. **hamidrezachaghazardi@yahoo.com**

Received: June 2022 and Accepted: August 2022

Abstract

Tillage is an important component of soil management that can drastically contribute to improved soil quality and sustainable agriculture by modifying soil physical, chemical, and biological properties. One of the most useful tools for assessing soil management practices in different tillage systems is soil quality assessment based on quantitative indices. The present study was conducted to investigate the effects of different tillage intensities of no tillage, reduction tillage, and conventional tillage systems used as experimental variables on soil quality at the research farm of Agriculture and Experimental Natural Resources located in Kermanshah Province. The experiment was performed in a factorial randomized complete block design at the two depths of 0-25 and 25-50 cm. Soil property measurements showed that all the studied traits were affected by tillage intensity. It was found that soil properties underwent positive changes toward improved soil quality when the tillage system was changed from the conventional to the more conservative one. Compared to physical and chemical characteristics, biological ones showed greater positive changes and microbial biomass carbon revealed the highest variations of 53.49% and 42.45%. Moreover, integrated and Nemoro quality indices (NQI) showed the highest values in conservation, reduction, and traditional tillage systems, in a descending order. Finally, the integrated quality index (IQI) was found more accurate in determining soil quality.

Keywords: Integrated quality index, Microbial biomass, Nemoro quality index, Soil degradation, Soil protection

* - Corresponding author's email: beheshtiali97@gmail.com