فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۱

۱۹۰-۱۷۳

مقاله پژوهشی

اثر بخشی سامانه‌های خاکورزی حفاظتی بر کیفیت خاک در نظام‌های زراعی دیم مبتنی بر کشت گندم

اختر ویسی[۱]*، هادی ویسی[۱]، کوروس خوشبخت[۱]، رضا میرزایی تالارپشتی[۱] و رضا حق پرست[۲]

[۱] گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۲] موسسه تحقیقات دیم سرارود، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۱

ویسی، ا.، ه. ویسی، ک. خوشبخت، ر. میرزایی تالارپشتی و ر. حق پرست. ۱۴۰۱. اثر بخشی سامانه‌های خاکورزی حفاظتی بر کیفیت خاک در نظام‌های زراعی دیم مبتنی بر کشت گندم. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۳): ۱۷۳-۱۹۰.

سابقه و هدف: سلامت خاک از مولفه‌های اصلی در دستیابی به سامانه‌های کشاورزی پایدار بوده که به شدت تحت تاثیر عملیات زراعی مانند خاکورزی قرار می‌گیرد. سلامت خاک را می‌توان با استفاده از پارمترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در قالب الگوریتم‌های مشخص کمّی کرد. در نتیجه، بررسی وضعیت کیفی و توان باروری خاک در سامانه‌های مدیریتی مختلف زمین جهت استقرار عملیات زراعی مناسب برای دستیابی به تولید بهینه و نظام‌های زراعی پایدار امری ضروری می‌باشد. چارچوب ارزیابی مدیریت خاک SMAF[۱] به عنوان ابزاری قدرتمند و قابل اعتماد در جهت ارزیابی اثر مدیریت زراعی مختلف بر کیفیت و سلامت خاک مورد استفاده می‌باشد. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی و کمی‌سازی اثر روش‌های مختلف خاکورزی بر کیفیت خاک با استفاده از الگوریتم SMAF می‌باشد.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر در قالب یک آزمایش مزرعه‌ای دو ساله در سال‌های زراعی ۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷ در چهار منطقه استان کرمانشاه انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سامانه‌های خاکورزی (بی‌خاکورزی، خاکورزی کاهشی و خاکورزی مرسوم) بوده که در ۱۲ مزرعه در سطح منطقه مطالعه به اجرا درآمدند. در نظام تناوبی در سال اول گندم زمستانه (*Triticum aestivum* L.) و سال دوم نخود زمستانه (*Cicer arietinum* L.) در مزارع کشاورزان کشت شد. نمونه‌برداری خاک از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری خاک در دو مرحله؛ در ابتدای سال اول قبل از شروع آزمایش و در پایان سال دوم بعد از برداشت محصول انجام شد که بعد از آن خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شامل وزن مخصوص ظاهری، فسفر، پتاسیم، اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی خاک، کربن بیومس میکروبی و نیتروژن بیومس میکروبی اندازه گیری و با استفاده از SMAF امتیاز دهی شدند.

نتایج و بحث: نتایج تحقیق نشان داد اجرای سامانه‌های خاکورزی حفاظتی برخی از خصوصیات و شاخص‌های کیفیت خاک را بهبود بخشید، که بیانگر اثر مثبت کاهش اختلال خاک بر کیفیت خاک است. اگرچه امتیاز خصوصیات و شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در پایان سال دوم تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با شرایط قبل از اعمال تیمارها نشان ندادند، اما خصوصیات بیولوژیکی خاک نظیر کربن بیومس

*Corresponding Author: *Email Address*. a_veysi@sbu.ac.ir

http://dx.doi.org/10.52547/envs.2022.37244

http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.3.1.4

میکروبی و کربن آلی خاک بطور مثبتی تحت تاثیر سامانه‌های خاکورزی قرار گرفتند. داده‌های حاصل از اندازه گیری خصوصیات خاک به خوبی در الگوریتم SMAF منعکس گردید. نتایج نشان داد که در پایان آزمایش شاخص کیفیت خاک در سامانه خاکورزی مرسوم در مقایسه با سامانه‌های خاکورزی حفاظتی کمتر بوده و نسبت به شروع آن تغییر چندانی نداشته است. سامانه بی‌خاکورزی بیشترین مقدار شاخص کیفیت خاک (۰/۶۵) را در این مرحله دارا بود، که همان‌گونه که در توصیف کمی خصوصیات خاک بیان گردید، عمدتاً به دلیل بهبود شرایط بیولوژیکی خاک می‌باشد. تخریب خاک به دلیل خاکورزی زیاد، عدم حفظ بقایای محصول و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی نه تنها ماده آلی خاک را کاهش می‌دهد بلکه موجب تخریب خصوصیات فیزیکی خاک نیز می‌گردد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج تحقیق نشان داد که سامانه‌های خاکورزی حفاظتی می‌توانند کیفت خاک و کارآیی آن را در مناطق دیم بهبود بخشیده و الگوریتم SMAF نیز می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید برای ارزیابی و پایش کیفیت خاک سامانه‌های زراعی مختلف در مناطق دیم مورد استفاده قرار گیرد. با این حال استناد به داده‌های این تحقیق مستلزم ارائه نتایج در دراز مدت بوده و به منظور ارزیابی کارآیی بوم‌نظام خاک در ارائه خدمات اکوسیستمی، مقایسه سامانه‌های زراعی با سامانه‌های پایدارتر نظیر جنگل‌ها و مراتع ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت خاک، بی‌خاکورزی، خاکورزی کاهشی، مناطق دیم.

مقدمه

سلامت خاک عامل اساسی برای دستیابی به سامانه‌های کشاورزی پایدار و برآورد تقاضای روزافزون بشر برای غذا، خوراک، الیاف و سوخت می‌باشد (Cherubin *et al.*, 2016). سلامت خاک به ظرفیت خاک برای تحقق عملکرد به عنوان یک بوم‌نظام زنده که گیاهان، حیوانات و انسان‌ها را حفظ می‌کند و خدمات بوم‌نظام از جمله تولیدات کشاورزی را پشتیبانی می‌کند، اشاره دارد (Williams *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020; USDA-NRCS, 2018; Zobeck *et al.*, 2015; Apesteguía *et al.*, 2017). کیفیت/سلامت خاک، محصولی از فعل و انفعالات ذاتی (مواد مادری، اقلیم و توپوگرافی) و انسانی (خاکورزی و تناوب زراعی) است (Karlen *et al.*, 2013a). عملیات کشاورزی مانند خاکورزی باعث تخریب زمین از طریق فرسایش خاک، کاهش مواد مغذی، از دست دادن تنوع بیولوژیکی و کاهش کیفیت و کمیت آب می‌شود. زمین‌های تخریب شده، تولید سالانه محصولات کشاورزی مانند غلات و حبوبات را کاهش می‌دهد. ادامه روند فعلی تخریب منابع زیستی، تولید زراعی و معیشت کشاورزان را به خطر انداخته و به دنبال افزایش جمعیت، فقر و سوء تغذیه را افزایش خواهد داد. بنابراین، جلوگیری از تخریب و حفظ و بهبود سلامت خاک، به ویژه در زمین‌های کشاورزی، از اهمیت کلیدی برخوردار است (Kihara *et al.*, 2020). شواهد نشان می‌دهند که کشاورزی حفاظتی به واسطه اختلال حداقل خاک، حفظ پوشش دائمی خاک و استفاده از تناوب‌های متنوع زراعی نقش بسزایی در کم کردن اثرات تخریبی عملیات کشاورزی مرسوم دارد (Kihara *et al.*, 2020; Gura and Mnkeni, 2019). خاکورزی حفاظتی (بی‌خاکورزی یا خاکورزی کاهشی)، برای بهبود ساختار و پایداری خاک استفاده می‌شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که سامانه‌های خاکورزی حفاظتی باعث کاهش فرسایش خاک، افزایش محتوای مواد آلی خاک، بهبود قابلیت زهکشی و نگهداری آب و افزایش فعالیت میکروبی خاک می‌شود. این سامانه‌ها همچنین می‌توانند با کاهش هزینه‌های سوخت و نیروی کار مرتبط با انرژی، عملکرد اقتصادی مزرعه را بهبود بخشند (Cooper *et al.*, 2020). با این حال، کاهش شدت خاکورزی همیشه مفید نبوده و می‌تواند به فشردگی خاک سطحی، افزایش جمعیت آفات و علف‌های هرز و تجمع مواد مغذی در نزدیکی سطح خاک منجر شود که به راحتی توسط جریان‌های سطحی شسته شده و برای محیط‌های آب شیرین ایجاد خطر کند (Skaalsveen *et al.*, 2019). همچنین شواهدی وجود دارد که به دلیل آماده سازی غیر بهینه بستر بذر، ممکن است عملکرد محصول تحت تأثیر قرار گیرد (Cooper *et al.*, 2020).

چالش اصلی مرتبط با ارزیابی سلامت خاک، عدم قابلیت

ارزیابی آن به طور مستقیم و کارکردهای بسیار متنوع خاک است. پرداختن به پیچیدگی ارزیابی سلامت خاک و استفاده از ابزار ارزیابی مدیریت خاک و شاخص‌های تلفیقی شامل داده‌های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی خاک، عرصه نوینی را برای ارزیابی پایداری مدیریت بوم‌نظام خاک فراهم نموده است (Apesteguía *et al.*, 2017). در این رابطه انواع مختلفی از ابزارهای ارزیابی مدیریت خاک برای ارزیابی کیفیت خاک و ارزیابی اثرات شیوه‌های مدیریت بر منابع آن و بهره‌وری محصولات توسعه داده شده است (Zobeck *et al.*, 2015). از جمله می‌توان به شاخص مطلوبیت خاک[۲] (USDA-NRCS, 2001)، چهارچوب ارزیابی مدیریت خاک (Andrews *et al.*, 2004: SMAF)، ابزار ارزیابی عملکرد بوم‌نظام زراعی[۳] (Liebig *et al.*, 2001) و ارزیابی جامع سلامت خاک[۴] (Gugino *et al.*, 2009) اشاره کرد. در میان این رویکردها، SMAF با موفقیت برای بوم‌نظام‌های مختلف در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص در ابتدا برای کمی کردن اثرات خاکورزی طولانی مدت، به عنوان شاخصی برای ارزیابی کیفیت خاک توسط Andrews *et al.* (2004) توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفت (Karlen *et al.*, 2013b). مقایسه ابزارهای مختلف ارزیابی کیفیت خاک نشان داد که ابزار SMAF. به دلیل انعطاف‌پذیری در معیارهای انتخاب شاخص و همچنین توانایی ادغام خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در یک شاخص واحد، به عنوان شاخص کیفیت خاک، ابزار قوی‌تری برای ارزیابی کیفیت خاک است .Gura and Mnkeni (2019) (Cherubin *et al.*, 2017) الگوریتم SMAF را در خاک‌های نواحی گرمسیری برزیل مطالعه نمودند. نتایج آنها نشان داد که SMAF در پایش و ارزیابی تغییرات کیفیت خاک به دلیل تغییر کاربری اراضی برای گسترش نیشکر در منطقه مؤثر است. این ابزار مدیریتی با موفقیت توسط محققان دیگری در سراسر جهان برای نظارت و پایش تغییرات در کیفیت خاک در نتیجه روش‌های مدیریت خاک و گیاه مورد استفاده قرار گرفته است (Wienhold *et al.*, 2009; Karlen *et al.*, 2013a; Karlen *et al.*, 2014; Cherubin *et al.*, 2017; Lisboa *et al.*, 2019; Bonini *et al.*, 2019;).

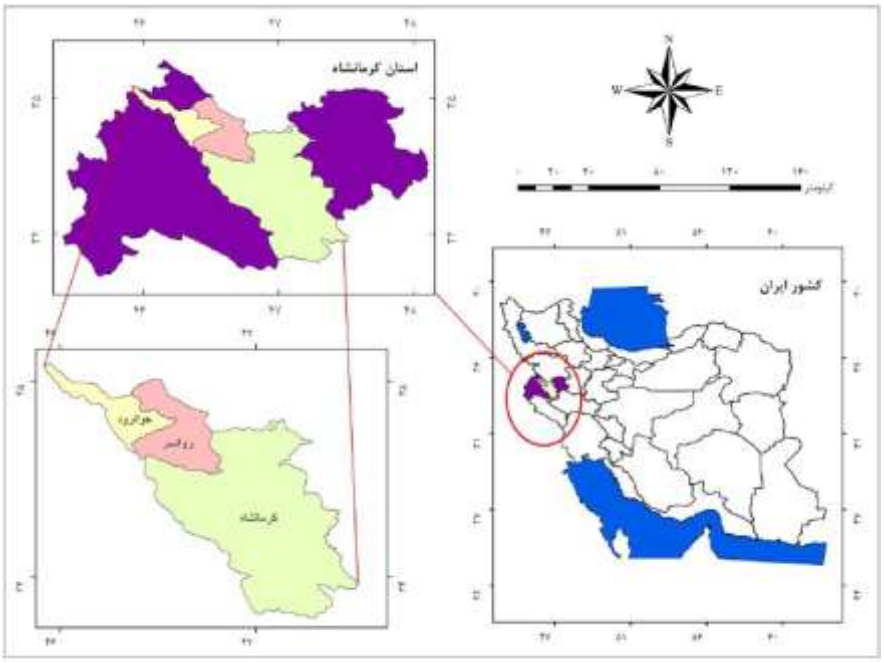
در ایران اگرچه بخش عمده‌ای از اراضی کشور به تولیدات دیم اختصاص دارد (Kuchaki and Kamali, 2010) اما ۱۰ درصد کل تولید کشاورزی کشور از مناطق دیم حاصل می‌شود که در مقایسه با تولید ۶۰ درصدی محصولات کشاورزی دنیا از طریق کشت دیم بسیار ناچیز است (Najafzadeh *et al.*, 2012) . خاک در مناطق دیم دارای پتانسیل‌هایی است که می‌تواند با استفاده از روش‌های مدیریتی مناسب، تأثیر مهمی در تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی داشته باشد که در صورت مدیریت صحیح کشت دیم، می‌توان کیفیت آنها ارتقاء داد (Rahman, 2017). خاکورزی یکی از عملیات‌های زراعی است که به شدت بر کیفیت خاک تاثیر می‌گذارد. اجرای سامانه‌های صحیح خاکورزی و روش‌های صحیح کاشت تاثیر بسیار عمده‌ای در بهبود خواص خاک و در نتیجه افزایش تولید دارد (Sarikhani Khorami *et al.*, 2018) اما انتخاب سامانه‌های خاکورزی مرسوم و یا خاکورزی حفاظتی هنوز در برنامه‌های تحقیقاتی محققین قرار دارد زیرا کـه راه حل یکسانی برای همه شرایط وجود ندارد.

با وجود پتانسیل SMAF، برای تنظیم و اعتبارسنجی دستورالعمل‌هایش در خاک‌های مناطق دیم، مطالعات جدید باید دربرگیرنده عملیات کشاورزی حفاظتی خاک و سامانه‌های خاکورزی باشد. برای این منظور، یک مطالعه مزرعه‌ای در استان کرمانشاه برای آزمایش فرضیه‌های زیر انجام شد: ۱) بررسی واکنش شاخص SMAF نسبت به تغییرات کیفی خاک ناشی از توسعه خاکورزی حفاظتی در مناطق دیم، ۲) شناسایی تغییرات در شاخص کیفیت خاک ناشی از مدیریت کاربری اراضی و نوع خاکورزی. با این مطالعه اثرات سامانه‌های خاکورزی (بی‌خاکورزی، خاکورزی کاهشی و خاکورزی مرسوم) بر کیفیت خاک در برخی مناطق دیم استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SMAF بررسی و کمی‌سازی گردید.

مواد و روش‌ها

مکان مطالعه

این تحقیق در استان کرمانشاه واقع در دامنه رشته کوه زاگرس با اقلیم معتدل کوهستانی انجام گرفت، که از لحاظ طبقه‌بندی رطوبتی جزء مناطق نیمه‌خشک بوده و دارای زمستان‌های با بارش برف و باران و تابستان‌های تقریباً خشک است. بنابراین بیشتر بارش آن در زمانی رخ می‌دهد که محصولی در زمین نمی‌باشد و یا در صورت کشت نیاز بسیار کمی به آب دارد. استان کرمانشاه درمیان فلات ایران و جلگه بین‌النهرین قرار گرفته و سراسر آن را قلل و ارتفاعات سلسله جبال زاگرس پوشانیده است که به‌صورت مجموعه‌ای از رشته‌کوه‌های موازی پدیدار گشته که دشت‌های مرتفع کوهستانی در میان آن‌ها شکل‌گرفته (Razi University Climate, 2013) و آن را به یکی از مهم‌ترین مناطق تولیدکننده محصولات گندم و نخود در ایران تبدیل کرده است. مناطق مطالعه در این استان عبارتند از: شهرستان‌های کرمانشاه (دهستان سراب نیلوفر)، شهرستان روانسر (دهستان بدر) و شهرستان جوانرود (دهستان پلنگانه) که در شمال غرب استان کرمانشاه قرار گرفته‌اند (شکل ۱). در سراسر این مناطق در مجموع ۱۲ مزرعه انتخاب شدند که سه مزرعه در دهستان سراب نیلوفر (روستای دایی چی)، سه مزرعه در دهستان بدر (روستای باباعزیز) شش مزرعه در دهستان پلنگانه (سه مزرعه در روستای ترکپان و سه مزرعه در روستای کلی) قرار داشتند. علت انتخاب این مناطق، قرار گرفتن در یک حوضه آبخیز و مشابهت فرهنگ کشاورزی بوده که در آنها کشت و کار زراعی‌شان به‌صورت دیم و مبتنی بر تناوب گندم-نخود است. در این منطقه گیاه گندم در اوایل پاییز، قبل از وقوع اولین بارندگی مؤثر، کشت شده و در اوایل تابستان برداشت می‌گردد. گیاه نخود تا حدود یک دهه قبل به‌صورت کشت بهاره در اواخر زمستان و اوایل بهار کشت می‌شد، اما در سال‌های اخیر اغلب در پاییز کشت می شود. کلیه عملیات زراعی در استان و مخصوصاً منطقه مطالعه به‌صورت کشاورزی مرسوم انجام می‌پذیرد. اما کمتر از یک دهه است که عملیات کشاورزی حفاظتی نیز جای خود را در منطقه بازکرده و معدودی از کشاورزان منطقه این عملیات خاکورزی را اجرا کرده‌اند. از لحاظ خاکشناسی بافت خاک منطقه در محدوده رسی تا رسی-سیلتی قرار دارد و میزان ماده آلی آن در حدود یک درصد است.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Map of the study area

تنظیم تیمارها و طرح آزمایشی

تیمارهای مطالعه شامل سامانه‌های خاکورزی مرسوم، خاکورزی کاهشی و بی‌خاکورزی بودند. عملیات خاکورزی به روش‌های گوناگونی انجام می‌شود که به‌طورکلی می‌توان آنها را به دو روش خاکورزی مرسوم و خاکورزی حفاظتی تقسیم کرد. در خاکورزی مرسوم از وسایلی مانند گاوآهن برگردان استفاده شده، که اغلب کمتر از ۱۵ درصد بقایا در سطح خاک باقی می‌ماند (Abbasi *et al.*, 2013) و خاک را تا عمق ۳۰-۲۵ سانتیمتری به‌طور کامل برمی‌گرداند. در کوتاه‌مدت این نظام، یک محیط فیزیکی مناسب را برای سبز شدن گیاه زراعی، رشد سریع اولیه آن، جذب مواد مغذی و عملکرد بالای محصول فراهم می‌کند. با این‌حال، در درازمدت سبب تخریب ساختار خاک و افزایش معدنی شدن و کاهش ماده آلی خاک، کاهش مواد مغذی، فشردگی خاک و فرسایش خاک می‌شود. همه این فرآیندها ساختار خاک را تغییر داده و موجب تخلیه ماده آلی خاک و تخریب آن می‌شود (Jamali *et al.*, 2016). خاکورزی حفاظتی نقطه مقابل خاکورزی مرسوم می‌باشد که می‌تواند به روش‌هایی گوناگون ازجمله بی‌خاکورزی (کشت مستقیم) و کم‌خاکورزی (شخم کاهشی) صورت گیرد. در این مطالعه در بی‌خاکورزی کشت با بذرکارهای مخصوص در زمین بدون اجرای خاکورزی انجام شد. در خاکورزی کاهشی خاک با کلتیواتور یا چیزل شخم گردید و کشت نیز با بذرکار انجام شد. در این روش تقریباً ۳۰ درصد از بقایا در زمین حفظ گردید. خاکورزی مرسوم با گاوآهن برگردان دار و کشت نیز با بذرکار انجام شد. مطالعه میدانی به صورت یک طرح آزمایشی دو ساله در طی دو سال زراعی ۹۶-۹۷ و ۹۸-۹۷ در سطح چهار منطقه (روستا) اجرا شد.

نمونه‌برداری و آنالیز خاک

به منظور اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی شاخص‌ها، نمونه‌های خاک در دو مرحله از مزارع هدف‌گذاری شده، بر اساس پروتکل ارزیابی جامع سلامت خاک چارچوب کرنل، جمع‌آوری شدند (Moebius-Clune *et al.*, 2016). نمونه برداری اول در ابتدای سال زراعی ۹۶-۹۷ قبل از اعمال تیمارهای خاکورزی و نمونه‌برداری دوم در انتهای سال زراعی ۹۷-۹۸ بعد از دو سال اعمال تیمارهای خاکورزی انجام شد. نمونه‌های مورد نظر تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد. در هر نوبت نمونه برداری، از هر مزرعه، چهار نمونه خاک برداشته و آن‌ها را در یک ظرف کاملا مخلوط کرده، سپس یک نمونه تقریبا به وزن یک تا یک و نیم کیلوگرمی جدا و به آزمایشگاه انتقال یافت. برای اندازه‌گیری نیتروژن معدنی و کربن و نیتروژن بیومس میکروبی نمونه‌های خاک دیگری از همان نمونه اصلی جدا گردید و در یک ظرف با درپوش بدون نفوذ هوا ریخته و در پایان در داخل یک جعبه از جنس یونولیت همراه با مقداری یخ قرار داده و به آزمایشگاه انتقال داده شد.

مقادیر خصوصیات یا شاخص‌های خاک با روش‌های زیر اندازه گیری شدند: وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه (Rossi *et al.*, 2008) اسیدیته خاک توسط سوسپانسیون خاک/آب (نسبت ۱:۲) با استفاده از الکترود شیشه‌ای و هدایت الکتریکی توسط مخلوط ۱:۱ خاک و آب (Liebig *et al.*, 2004) کربن آلی خاک با روش Walkley و Black و نیتروژن کل با روش کجلدال (Bremner and Mulvaney (Araya *et al.*, 2016) نیتروژن معدنی(NO^{3-}) و (NH^{4+}) از طریق استخراج با کلرید پتاسیم دو مولار (Maynard and) (2.0 M KCl) و کربن بیومس میکروبی با روش تدخین (Joergensen and Mueller, 1996).

چهارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) و روش امتیازدهی شاخص‌های خاک و شاخص کیفیت خاک (SQI)

نسخه فعلی SMAF دارای منحنی‌های امتیازدهی یا الگوریتم‌های تفسیر بر مبنای ۱۳ شاخص است، که در مجموع، منعکس کننده انواع خواص شیمیایی خاک

شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، فسفر (P) و پتاسیم (K) قابل استخراج؛ خصوصیات فیزیکی خاک شامل وزن مخصوص ظاهری (BD)، خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA)، ظرفیت آب در دسترس (AWC) و فضای منافذ پر از آب (WFPS)؛ و خصوصیات بیولوژیکی شامل کربن آلی خاک (SOC)، کربن بیومس میکروبی (MBC)، نیتروژن به‌طور بالقوه قابل معدنی شدن (PMN) و فعالیت β- گلوکزیداز (BG) هستند. از زمان انتشار عمومی SMAF در سال ۲۰۰۴، این الگوریتم به‌طور گسترده‌ای در مطالعات مختلف برای ارزیابی تغییرات کیفیت خاک در بوم‌نظام‌های طبیعی و بوم‌نظام زراعی در مقیاس‌های مختلف اعم از ارزیابی در مزارع آزمایشی تا ارزیابی‌های منطقه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Cherubin *et al.*, 2017). ارزیابی کیفیت خاک از طریق SMAF شامل سه مرحله است (Karlen *et al.*, 2008).

الف) انتخاب حداقل مجموعه داده: حداقل پنج شاخص خاک برای SMAF مورد نیاز است، که از هر ویژگی بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی خاک حداقل یک شاخص انتخاب می‌شود (Lisboa *et al.*, 2019). در تحقیق حاضر هشت شاخص خاک در سه دسته فیزیکی (وزن مخصوص ظاهری)، شیمیایی (فسفر، پتاسیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی) و بیولوژیکی (کربن آلی، کربن بیومس میکروبی و نیتروژن معدنی خاک) با استفاده از SMAF در دو مرحله امتیاز دهی شدند.

ب) تفسیر شاخص‌ها: صفحه گسترده SMAF بر اساس نرم افزار اکسل طراحی شده و دارای منحنی امتیازدهی برای ۱۳ شاخص خاک است که مقدار شاخص اندازه گیری شده را به امتیازی از ۰ تا ۱، بسته به نوع خاک، بافت خاک، کانی شناسی، اقلیم، فصل نمونه برداری، شیب، محصول و روش تحلیلی تبدیل می‌کند. تفسیر شاخص شامل تبدیل مقدار مشاهده شده هر شاخص با استفاده از منحنی‌های غیرخطی امتیازدهی است. مقادیر اندازه گیری شده به مقادیر بدون واحد تبدیل شده و امتیازها برای تشکیل یک مقدار واحد در مرحله بعد استفاده خواهند شد. منحنی‌ها روابط کمی بین مقادیر تجربی شاخص‌های اندازه‌گیری شده و نمرات نرمال شده هستند، که منعکس کننده کارکرد خدمات اکوسیستم یا خاک است. استفاده از منحنی‌های امتیازدهی برای تجزیه و تحلیل و ترکیب داده‌ها، امکان انعکاس کارکرد بوم‌نظام و ارزش‌های کشاورزی و اجتماعی را در مورد تولید محصول و حفاظت از محیط زیست را در تفسیرها فراهم می‌سازد. در SMAF، مقدار هر شاخص از طریق منحنی امتیازدهی به یک امتیاز بدون واحد (۰ تا ۱) تبدیل می‌شود که نشان دهنده سطح عملکرد مرتبط در آن سیستم است. نمره نشانگر ۱ بالاترین عملکرد بالقوه را برای آن سیستم نشان می دهد، یعنی شاخص در قابلیت ذاتی خاک محدود به عملکردها و فرآیندهای مربوطه نیست (Andrews *et al.*, 2004).

ج) ادغام امتیازهای خصوصیات خاک در یک شاخص واحد: امتیاز هر کدام از خصوصیت خاک در یک شاخص کلی کیفیت خاک شرکت می‌کند، که کسری یا درصدی از پتانسیل کامل خاک برای انجام عملکردهایش برای بهره‌وری محصول، چرخه مواد غذایی، یا حفاظت از محیط زیست می‌باشد. شاخص کیفیت خاک با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$QI = \sum \frac{Si}{n} \qquad (۱)$$

که در آن، SQI شاخص کیفیت خاک، Si امتیاز هر شاخص و n تعداد شاخص‌های تلفیق شده در شاخص کل است (Lisboa *et al.*, 2019).

نتایج و بحث

خصوصیات وزن مخصوص ظاهری، فسفر، پتاسیم، اسیدیته، نیتروژن معدنی، کربن آلی و کربن بیومس میکروبی خاک در دو مرحله در طول دو سال آزمایش و

تحت تاثیر تیمارهای خاکورزی نمونه‌برداری و با روش‌های آزمایشگاهی تجزیه شدند که نتایج آن در جدول ۱ ارایه شده است. نتایج بیانگر تاثیر سامانه‌های خاکورزی حفاظتی در مقایسه با خاکورزی مرسوم بر برخی خصوصیات خاک بودند. با توجه به این نتایج، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کمتر تحت تاثیر روش‌های خاکورزی قرار گرفته و دارای تغییرات کمتری در طول مراحل نمونه‌برداری بودند. پس از دو سال اجرای آزمایش، خصوصیات بیولوژیکی مانند کربن آلی خاک و کربن بیومس میکروبی خاک واکنش بیشتری به اعمال تیمارهای خاکورزی حفاظتی در مقایسه با خاکورزی مرسوم نشان داده و مقدار آنها در مرحله دوم نمونه‌برداری نسبت به مرحله اول افزایش یافت. افزایش کربن آلی خاک تحت تیمارهای بی‌خاکورزی و خاکورزی کاهشی ۷/۷ و ۵ درصد بود، اما تحت تیمار خاکورزی مرسوم ۱۷ درصد کاهش یافت. تیمار بی‌خاکورزی کربن بیومس میکروبی خاک را ۴۳ درصد افزایش و تیمار خاکورزی مرسوم آن را ۱۴ درصد کاهش داد. اما خاکورزی کاهشی تاثیر قابل توجهی بر آن نداشت. در مورد نیتروژن معدنی اگرچه تیمارهای خاکورزی حفاظتی بعد از دو سال تغییرات چشم‌گیری ایجاد نکردند، اما بطور کلی می‌توان گفت که اثر منفی داشتند، در صورتی که خاکورزی مرسوم آن را به میزان ۳۴ درصد در مرحله پایان آزمایش نسبت به مرحله شروع آن افزایش داد. خصوصیات شیمیایی مانند اسیدیته و هدایت الکتریکی در مرحله پایانی نسبت مرحله شروع آزمایش تحت هر سه تیمار تقریبا بطور مشابه تغییر کردند. به طوری که اسیدیته افزایش و هدایت الکتریکی کاهش یافت.

جدول ۱- میانگین مقدار اندازه گیری شده خصوصیات خاک تحت سه روش خاکورزی در دو مرحله

Table 1. Average value of soil properties measured in three replications under three tillage methods in two stages

خصوصیات خاک Soil properties									
مراحل نمونه‌برداری* Sampling stage	تیمارها Treatments	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g/cm3)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds/m)	فسفر Phosphorus (mg/kg)	پتاسیم Potassium (mg/kg)	نیتروژن معدنی Mineral nitrogen (mg/kg)	کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)	کربن بیومس میکروبی Microbial biomass carbon (mg/kg)
1	بی‌خاکورزی No-tillage	1.42 ± 0.08	7.53 ± 0.03	0.49 ± 0.04	10.25 ± 2.11	462.75 ± 22.86	31.35 ± 2.82	1.24 ± 0.17	97.80 ± 8.59
	خاکورزی کاهشی Reduced tillage	1.51 ± 0.08	7.59 ± 0.03	0.44 ± 0.04	12.80 ± 2.11	424.00 ± 22.86	24.70 ± 2.82	1.03 ± 0.17	74.58 ± 8.59
	خاکورزی مرسوم Conventional tillage	1.48 ± 0.08	7.64 ± 0.03	0.47 ± 0.04	10.20 ± 2.11	405.00 ± 22.86	21.70 ± 2.82	1.22 ± 0.17	94.25 ± 8.59
2	بی‌خاکورزی No-tillage	1.38 ± 0.07	7.71 ± 0.03	0.34 ± 0.0	12.15 ± 5.13	578.75 ± 29.31	28.70 ± 2.42	1.54 ± 0.12	528.43 ± 50.38
	خاکورزی کاهشی Reduced tillage	1.47 ± 0.07	7.78 ± 0.03	0.34 ± 0.0	17.20 ± 5.13	510.00 ± 29.31	26.60 ± 2.42	1.46 ± 0.12	351.38 ± 50.38
	خاکورزی مرسوم Conventional tillage	1.48 ± 0.07	7.79 ± 0.03	0.38 ± 0.0	9.45 ± 5.13	436.25± 29.31	29.05 ± 2.42	1.15 ± 0.12	210.80 ± 50.38

* مراحل نمونه‌برداری: مرحله ۱ قبل از شروع آزمایش قبل از کاشت گندم و مرحله ۲ در پایان آزمایش بعد از برداشت نخود

*Sampling stages: Stage 1 before the start of the experiment, before planting wheat and stages 2 at the end of the experiment, after the harvest of chickpeas

تمایز بین تیمارهای خاکورزی با تاکید بر شاخص کیفیت خاک

وزن مخصوص ظاهری تنها خصوصیت فیزیکی امتیازدهی شده با SMAF چندان تحت تاثیر سامانه‌های خاکورزی قرار نگرفت، امتیاز آن تقریباً در دو مرحله روندی یکسان داشت و تغییر چندانی در آن مشاهده نگردید. بطور کلی بی‌خاکورزی بالاترین امتیاز و خاکورزی کاهشی پایین‌ترین امتیاز را به خود اختصاص دادند امتیاز وزن مخصوص ظاهری در بی‌خاکورزی ۰/۴۲ و ۰/۴۹ به ترتیب در مرحله اول و دوم بود. امتیاز خاکورزی‌های کاهشی و مرسوم ۰/۳۳و ۰/۳۵ و ۰/۳۷و ۰/۳۶ به ترتیب قرار داشت که نسبت به روش اول تغییرات کمتری را داشتند. البته در مورد خصوصیات فیزیکی این نتایج مورد انتظار بود، زیرا در مطالعات دراز مدت نیز خاکورزی حفاظتی اثری بر وزن مخصوص ظاهری نداشته است (Feiziene *et al.*, 2015; Mitchell *et al.*, 2017, Karlen *et al.*, 2008) در ارزیابی کیفیت خاک با SMAF تحت تاثیر سامانه‌های بی‌خاکورزی، خاکورزی کاهشی و خاکورزی مرسوم مشاهده کردند که وزن مخصوص ظاهری تحت سه سامانه خاکورزی دارای امتیاز مشابه و بدون اختلاف معنی‌دار بود. همچنین در یک مطالعه در برزیل با SMAF نشان داده شده است که امتیاز وزن مخصوص ظاهری تحت خاکورزی مرسوم با خاکورزی کاهشی اختلاف معنی‌داری نداشته، اما با سامانه بی‌خاکورزی دارای تفاوت معنی‌دار و نیز امتیاز بالاتری بود (Cherubin *et al.*, 2017). خصوصیات شیمیایی پتاسیم و هدایت الکتریکی در نمونه‌برداری‌ها در هر سه سامانه خاکورزی دارای امتیاز یک بودند. در رابطه با هدایت الکتریکی، نتایج برخی مطالعات دیگر در تایید مطالعه حاضر است (Apesteguía *et al.*, 2017; Gura and Mnkeni, 2019; Karlen *et al.*, 2008). امتیاز تعلق گرفته به اسیدیته دارای تغییراتی با دامنه پایین تحت تاثیر سه سامانه خاکورزی در هر مرحله بود. ولی امتیازهای آن در مرحله دوم (۰/۵۸، ۰/۵۵ و ۰/۵۵) نسبت به مرحله اول (۰/۸۳، ۰/۸۱ و ۰/۸۰) به ترتیب تحت هر سه تیمار بی‌خاکورزی، خاکورزی کاهشی و خاکورزی مرسوم کاهش یافت. این موضوع ممکن است مربوط به تناوب گیاهان زراعی باشد، زیرا خاک در سال اول تحت تاثیر ریشه گندم و مواد مترشحه از آن و در سال بعد تحت تاثیر ریشه نخود و مواد ناشی از آن بوده است. Karlen *et al.* (2013b) نیز در مطالعه خود بیان کردند که یک محصول دانه‌ای زمستانه مانند تریتیکاله می‌تواند امتیاز شاخص کیفیت خاک در SMAF را بعد از محصولاتی مانند سویا بهبود بخشد. تغییر امتیاز فسفر در مرحله اول نمونه‌برداری پایین و به میزان ۰/۹۴، ۰/۹۷ و ۰/۹۵ به ترتیب در بی‌خاکورزی، خاکورزی کاهشی و خاکورزی مرسوم بود، اما در مرحله دوم امتیازهای بی‌خاکورزی (۰/۷۷) و خاکورزی مرسوم (۰/۸) کاهش یافت ولی تغییر چندانی در امتیاز خاکورزی کاهشی در آن مشاهده نشد. اگرچه Cherubin *et al.* (2017) در مطالعه ارزیابی کیفیت خاک با استفاده از SMAF در اکسی‌سول‌های برزیل، نشان دادند که در سه سامانه بی‌خاکورزی، خاکورزی کاهشی و خاکورزی مرسوم امتیاز تعلق گرفته به اسیدیته، فسفر و پتاسیم تفاوت چندانی وجود نداشت. در یک مطالعه در آفریقای جنوبی نیز مشاهده گردید که ویژگی‌های شیمیایی خاک به سامانه‌های خاکورزی و تیمار مدیریت بقایا و اثر متقابل آنها واکنش کمتری داشتند و امتیازهای اسیدیته -SMAF پس از کاربرد تیمارهای کشاورزی حفاظتی در مقایسه با وضعیت اولیه آنها کمتر بود که به تجمع بیشتر ماده آلی خاک ناشی از تجزیه بقایا نسبت داده شده است (Gura and Mnkeni, 2019).

خصوصیات بیولوژیکی امتیازدهی شده با SMAF: کربن آلی خاک، کربن بیومس میکروبی و نیتروژن معدنی خاک بودند. نیتروژن معدنی در دو مرحله دارای امتیاز یکسان و سامانه‌های خاکورزی اثری بر آن نداشتند. اما دو خصوصیت دیگر نسبت به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، بیشتر تحت تاثیر روش‌های خاکورزی قرار گرفته و تغییرات بیشتری را نشان دادند. کربن آلی خاک در مرحله اول نمونه‌برداری تحت دو سامانه بی‌خاکورزی و خاکورزی مرسوم امتیاز یکسانی

(۰/۲۲) داشت و امتیاز خاکورزی کاهشی پایین‌تر بود. امتیاز کربن آلی خاک در مرحله دوم تحت تاثیر تیمارهای خاکورزی حفاظتی به میزان ۰/۱۱ و ۰/۱۵ نسبت به مرحله اول افزایش یافت ولی در خاکورزی مرسوم ۰/۰۴ کاهش یافت. در مطالعه Sarikhani Khorami *et al.* (2018) نیز کربن آلی خاک تحت سامانه‌های خاکورزی حفاظتی (بی‌خاکورزی و خاکورزی کاهشی) نسبت به خاکورزی مرسوم افزایش یافت. امتیاز کربن بیومس میکروبی نیز تحت تاثیر سامانه‌های خاکورزی قرار گرفت. بطوری که در مرحله اول تحت هر سه تیمار دارای امتیازهای تقریباً مشابه بود، اما در مرحله دوم تحت تاثیر خاکورزی قرار گرفت و سامانه‌های بی‌خاکورزی و خاکورزی کاهشی دارای امتیاز ۱ و ۰/۹۶ بودند که نسبت به مرحله اول نمونه‌برداری ۰/۸۳ و ۰/۸۶ افزایش یافتند. اگرچه در این مرحله امتیاز خاکورزی مرسوم نیز نسبت به مرحله اول افزایش یافت (۰/۳۵)، اما نسبت به روش‌های حفاظتی بسیار پایین بود. بطور کلی امتیاز کربن آلی خاک و کربن بیومس میکروبی خاک واکنش بیشتری نسبت به سامانه‌های خاکورزی نشان دادند. نتایج برخی مطالعات در گذشته با نتایج مطالعه حاضر سازگار بودند از جمله Cherubin *et al.* (2017) در مطالعه امتیازدهی به خصوصیات خاک با SMAF تحت سامانه‌های خاکورزی حفاظتی و مرسوم مشاهده کردند که امتیاز کربن آلی خاک و کربن بیومس میکروبی تحت سامانه بی‌خاکورزی بالاترین بود. همچنین نتایج مطالعات Apesteguía *et al.* (2017) و Karlen *et al.* (2008) در توافق با نتایج مطالعه حاضر بودند.

جدول ۲- امتیازهای محاسبه‌شده برای خصوصیات خاک معرف کیفیت خاک با استفاده از روش SMAF

Table 2. Scores calculated for soil properties reagent soil quality using SMAF model

مراحل نمونه‌برداری* Sampling stages	تیمارها Treatments	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g/cm^3)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds/m)	فسفر Phosphorus (mg/kg)	پتاسیم Potassium (mg/kg)	نیتروژن معدنی Mineral nitrogen (mg/kg)	کربن آلی Organic carbon (%)	کربن بیومس میکروبی Microbial biomass carbon (mg/kg)
		امتیاز برآورد شده شاخص چارچوب ارزیابی مدیریت خاک SMAF-based scores							
1	بی‌خاکورزی No-tillage	0.42	0.83	1	0.94	1	1	0.22	0.17
	خاکورزی کاهشی Reduced tillage	0.33	0.81	1	0.97	1	1	0.15	0.10
	خاکورزی مرسوم Conventional tillage	0.37	0.8	1	0.95	1	1	0.22	0.15
2	بی‌خاکورزی No-tillage	0.49	0.58	1	0.77	1	1	0.33	1.00
	خاکورزی کاهشی Reduced tillage	0.35	0.55	1	0.94	1	1	0.3	0.96
	خاکورزی مرسوم Conventional tillage	0.36	0.55	1	0.8	1	1	0.18	0.50

* مراحل نمونه برداری: مرحله ۱ قبل از شروع آزمایش قبل از کاشت گندم و مرحله ۲ در پایان آزمایش بعد از برداشت نخود

*Sampling stages: Stage 1 before the start of the experiment, before planting wheat and stages 2 at the end of the experiment, after the harvest of chickpeas

ارزیابی کیفیت خاک به تفکیک شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی

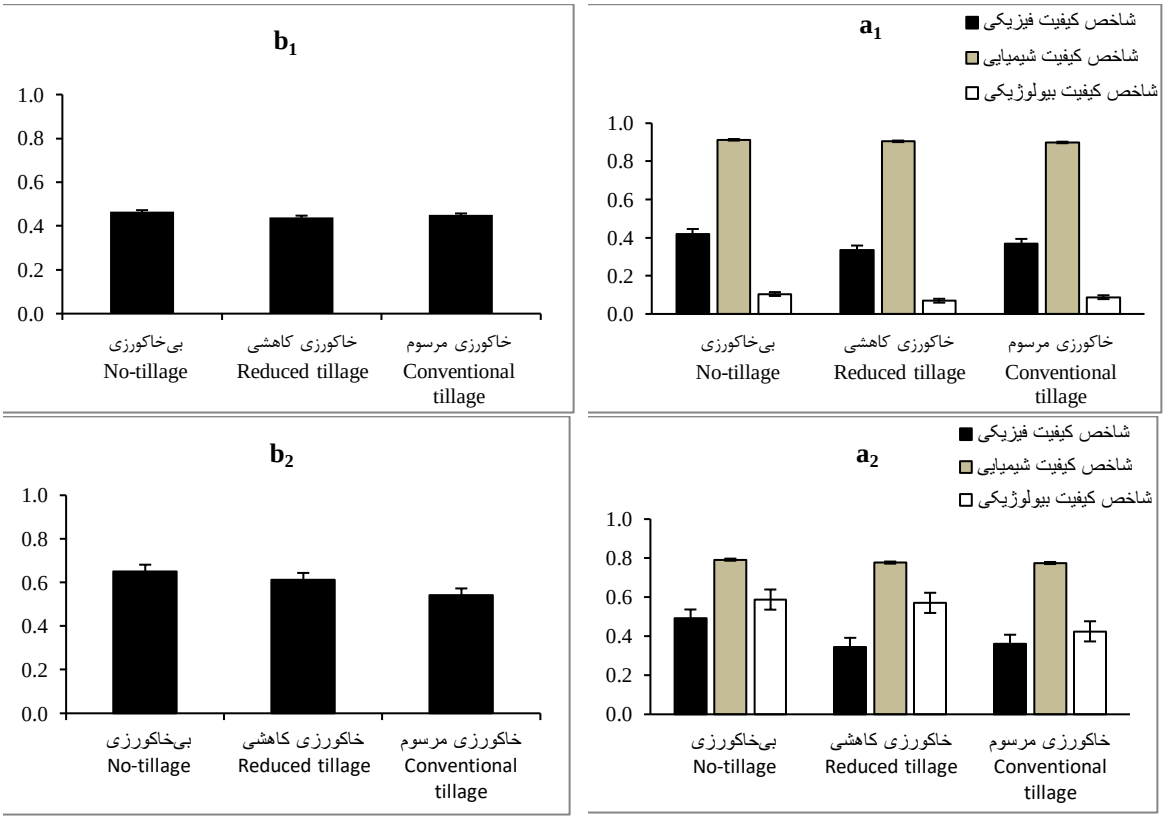
اگر بخواهیم کیفیت خاک را از سه جنبه شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بررسی کنیم، نتایج جامع‌تری از حساسیت کیفیت خاک در تقابل با روش‌های خاکورزی به دست خواهد آمد.

در رابطه با شاخص کیفیت فیزیکی خاک نتایج امتیازدهی SMAF نشان داد که امتیازها تحت هر سه سامانه خاکورزی به طور کامل با امتیاز وزن مخصوص ظاهری برابر بودند. زیرا همان‌طور که در قسمت قبل بیان شد تنها ویژگی فیزیکی امتیازدهی شده با SMAF در تحقیق حاضر وزن مخصوص ظاهری بود و چون در مدل امتیاز هر شاخص کیفیت برابر با مجموع امتیاز خصوصیات در بر گرفته شده در آن، تقسیم بر تعداد همان خصوصیات است، بنابراین در اینجا امتیازهای شاخص کیفیت فیزیکی و وزن مخصوص ظاهری خاک برابر بوده و همان روند را نشان می‌دهد (شکل ۲- a_1 و a_2). در تایید این نتایج، Bonini *et al.* (2019) در مطالعه نظارت بر تغییرات کیفیت خاک در سامانه‌های متنوع کشت محصول با SMAF در جنوب برزیل، نشان دادند که شاخص فیزیکی کیفیت خاک تحت سامانه‌های بی‌خاکورزی و خاکورزی مرسوم تفاوت معنی داری نداشت. امتیاز شاخص کیفیت شیمیایی خاک در SMAF، تحت هر سه روش خاکورزی در هر مرحله تغییر قابل توجهی نداشت (شکل ۲-a). نتایج بیانگر بی‌تاثیری یا تاثیر کم سامانه‌های خاکورزی بر شاخص شیمیایی کیفیت خاک بودند. Cherubin *et al.* (2017) در تایید نتایج مطالعه حاضر، نشان دادند که شاخص شیمیایی کیفیت خاک تحت سامانه‌های خاکورزی مختلف شامل بی‌خاکورزی، خاکورزی کاهشی و خاکورزی مرسوم تفاوت معنی‌داری نداشت. اگرچه در هر دو مرحله در شاخص کیفیت شیمیایی تفاوتی بین تیمارها وجود نداشت، اما امتیازها در مرحله دوم (۰/۷۹، ۰/۷۸ و ۰/۷۸) نسبت به مرحله اول (۰/۹۱، ۰/۹۱ و ۰/۹۰) کاهش یافتند. همان‌طور که در بخش قبل مشاهده شد، از بین خصوصیات خاکی تشکیل دهنده این شاخص، اسیدیته نسبت سایر خصوصیات شیمیایی و به همین شکل تحت تاثیر تیمارهای خاکورزی قرار گرفت. بنابراین این موضوع ممکن است مربوط به تناوب گیاهان زراعی و اثر آن بر اسیدیته خاک باشد.

نتایج نشان دادند که شاخص کیفیت بیولوژیکی خاک بیشتر از دو شاخص دیگر تحت تاثیر سامانه‌های خاکورزی قرار گرفته است (شکل ۲-b). امتیاز این شاخص در مرحله دوم (۰/۵۹، ۰/۵۷ و ۰/۴۲) در مقایسه با مرحله اول (۰/۱، ۰/۰۷ و ۰/۱) افزایش یافت، اما افزایش در بی‌خاکورزی و خاکورزی کاهشی بالاتر بود (شکل ۲-a_2). آنچه اهمیت دارد اختلاف امتیاز بین سامانه‌های بی‌خاکورزی و خاکورزی مرسوم در مراحل پایانی نمونه‌برداری است، زیرا نباید در مراحل اولیه انتظار داشت که خاکورزی طی چند روز یا چند ماه بر خصوصیات بیولوژیکی اثرگذار باشد. نتایج برخی مطالعات دیگر، نتایج مطالعه ما را تایید می‌کند؛ از جمله Cherubin *et al.* (2017) نشان دادند که امتیاز شاخص بیولوژیکی کیفیت خاک در SMAF در عمق ۱۵-۰ سانتیمتری خاک تحت سامانه‌های بی‌خاکورزی و خاکورزی کاهشی نسبت به سامانه مرسوم بطور معنی‌داری بالاتر بود. Apesteguia *et al.* (2017) نیز مشاهده کردند شاخص بیولوژیکی کیفت خاک تحت سامانه‌های بی‌خاکورزی و خاکورزی کاهشی نسبت به خاکورزی مرسوم افزایش یافت.

به طور کلی SMAF نشان داد که شاخص کلی کیفیت (تجمعی) خاک که بیانگر تاثیر سامانه‌های خاکورزی بر تمام خصوصیات خاک بود، تحت تاثیر تیمارهای خاکورزی قرار گرفت. در مرحله اول این شاخص دارای نمرات تقریبا مشابه بود (شکل ۲-b_1)، اما در مرحله دوم اختلاف معنی‌داری بین بی‌خاکورزی و خاکورزی کاهشی با خاکورزی مرسوم به وجود آمد و امتیاز بالاتر به دو سامانه حفاظتی تعلق داشت (شکل ۲-b_2). این نتایج، با نتایج برخی مطالعات دیگر سازگار بود. به عنوان مثال Gura and Mnkeni (2019)

در مطالعه اثرات تناوب زراعی و مدیریت بقایا تحت بی‌خاکورزی بر کیفیت خاک در آفریقای جنوبی با SMAF، گزارش کردند که شاخص کیفیت خاک تحت بی‌خاکورزی بالاتر بود. در مطالعه‌ای دیگر Apesteguia *et al.* (2017) نتیجه گرفتند امتیاز شاخص کیفیت خاک با SMAF تحت سه سامانه خاکورزی، به صورت بی‌خاکورزی> خاکورزی کاهشی> خاکورزی مرسوم بود. Gura and Mnkeni (2019) نیز در تحقیقات خود با استفاده از SMAF نشان دادند که تحت تناوب ذرت-گندم-سویا و پس از سه سال استفاده از خاکورزی حفاظتی، شاخص کیفیت خاک بهبود یافت. اما در مطالعه ارزیابی کیفیت خاک با استفاده از SMAF در برزیل توسط Cherubin *et al.* (2017) اختلاف معنی‌داری بین سه سامانه خاکورزی وجود نداشت



شکل ۲- شاخص‌های کیفیت خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی (a) و شاخص نهایی (افزایشی) کیفیت خاک (b) با استفاده از الگوریتم SMAF در دو مرحله نمونه‌برداری خاک

Fig. 2- Soil physical, chemical and biological quality index (a) and additive soil quality index (b) using SMAF model in two stages of soil sampling

نتیجه‌گیری

با توجه به مساحت قابل ملاحظه دیم زارها و اهمیت آنها در تامین امنیت غذایی در آینده، در صورت بهبود عملکرد، تحقیقات و مطالعات در این زمینه از اولویت بالایی در برنامه‌های نهادهای بین المللی و ملی کشورها برخوردار شده است. علاوه بر این بهدلیل اینکه خاک دیم زارهای مناطق خشک و نیمه خشک همانند کشور ایران به لحاظ ماده آلی تخلیه شده‌اند در نتیجه خاک‌های این نواحی پتانسیل بالایی برای بهبود و افزایش ذخیره ماده آلی و متعاقباً ترسیب کربن و کاهش اثرات تغییر اقلیم دارند. در این رابطه، این مطالعه اولین کاربرد روشی جدید مانند SMAF برای ارزیابی تغییرات شاخص کیفیت خاک در خاک‌های مناطق دیم کرمانشاه تحت تناوب گندم- نخود بود و فرضیه ما را که SMAF می‌تواند تغییرات شاخص کیفیت خاک تحت سامانه‌های خاکورزی را کمی‌سازی کند، تبیین کرد و نشان داد که سامانه‌های خاکورزی

حفاظتی در کوتاه مدت خصوصیات و شاخص‌های کیفیت خاک را بهبود بخشیده است. نتایج امتیازدهی با SMAF بیانگر تاثیر مثبت این سامانه‌های خاکورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم بر خصوصیات خاک بود. تفاوت امتیاز در شاخص کلی کیفیت خاک تحت سامانه‌های خاکورزی حفاظتی با خاکورزی مرسوم قابل توجه و بیشتر مربوط به تاثیر بر خصوصیات بیولوژیکی خاک بود، زیرا شاخص بیولوژیکی نیز نسبت به شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی تحت سامانه‌های خاکورزی حفاظتی امتیاز بالاتری به خود اختصاص داد. با توجه به این نتایج، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک کمتر تحت تاثیر روش‌های خاکورزی قرار گرفته و دارای تغییرات کمتری در طول دو سال آزمایش بودند. بنابراین در صورت تداوم خاکورزی حفاظتی در مزرعه در طولانی مدت، واکنش خصوصیات و شاخص‌های سلامت خاک قابل توجه‌تر خواهند بود. اگرچه مدیریت طولانی مدت بی‌خاکورزی باعث ایجاد شرایط فیزیکی کاهش دهنده کیفیت خاک و محدود کننده رشد گیاه مانند وزن مخصوص ظاهری بالا می‌شود(Cherubin *et al.*, 2017). بنابراین، این نتایج ممکن است به ذینفعان در جهت فراهم نمودن و اولویت بندی دستورالعمل‌هایی برای حفظ و بهبود کیفیت خاک آنها برای مدیریت صحیح خاک کمک کند. همچنین با در نظر گرفتن تاثیرپذیری متغیر کیفت خاک، با توجه به شرایط خاک، اقلیم و مدیریت، دستورالعمل‌های مربوط به مدیریت سامانه‌های خاکورزی (به ویژه بی‌خاکورزی) باید با در نظر گرفتن عوامل محلی موثر بر کیفیت خاک و رشد گیاه، مبتنی بر مکان باشند. نتایج این مطالعه نشان داد که، SMAF می‌تواند ابزاری مفید برای ارزیابی شاخص کیفیت خاک در کوتاه مدت و تحت سامانه‌های مختلف خاکورزی در خاک‌های مناطق دیم باشد. بنابراین توصیه می‌شود که برای بهبود حساسیت الگوریتم‌های SMAFو برای افزایش پتانسیل آن جهت تشخیص تغییرات کیفیت خاک ناشی از مدیریت خاک در مناطق دیم، مطالعات آینده در طولانی مدت و در سطح منطقه‌ای وسیع‌تری انجام گردد. همچنین اگرچه سامانه‌های خاکورزی حفاظتی باعث بهبودهای کلی در خواص شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک شدند و ارزش تلاش‌های آینده برای گسترش به کارگیری سامانه‌های کشاورزی حفاظتی در منطقه را جهت بهبود شاخص‌های کیفیت خاک تقویت می‌کند، اما با توجه به سطح بحرانی شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، اجرای سامانه‌های خاکورزی حفاظتی ممکن است در درازمدت اثرات منفی داشته باشند. بنابراین توصیه می‌شود که اجرای این سامانه‌ها در دراز مدت با نظارت دقیق و ارزیابی‌ها به صورت چند مرحله‌ای و با فواصل منظم انجام شود. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد SMAF می‌تواند در تحقیقات آینده برای بررسی موفق پروژه‌هایی شامل مقایسه سامانه‌های خاکورزی حفاظتی و مرسوم با سامانه‌های پایدارتر مانند عرصه‌های طبیعی از جمله مراتع در مناطق دیم در اثرگذاری بر سلامت خاک کاربرد داشته باشد.

پی‌نوشت‌ها

[1] Soil Management Assessment Framework
[2] Soil Conditioning Index
[3] AgroEcosystem Performance Assessment Tool
[4] Comprehensive assessment of soil health

منابع

Andrews, S.S., Karlen, D.L. and Cambardella, C.A., 2004. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal. 68, 1945–1962.

Abbasi, H., Khodavardilo, H., Ghorbani Dashtaki, Sh. and Ahmadi Moghadam, P., 2013. The effect of some tillage methods on soil physical quality indicators in an arid and semi-arid region. Journal of Farmer Mechanization. 2, 37-45.

Apesteguía, M., Virto, I., Orcaray, L., Bescansa, P., Enrique, A., Imaz, M.J. and Karlen, D.L., 2017. Tillage effects on soil quality after three years of irrigation in northern spain. Sustainability. 1–20.

Araya, T., Nyssen, J., Govaerts, B., Deckers, J., Sommer, R., Bauer, H., Gebrehiwot, K. and Cornelis, W.M., 2016. Seven years resource-conserving agriculture effect on soil quality and crop productivity in the Ethiopian drylands. Soil and Tillage Research. 163, 99–109.

Bonini da Luz, F., Rodrigues da Silva, V., Mallmann, F.J.K., Bonini Pires, C.A., Debiasi, H., Franchinid, J.C. and Cherubin, M.R., 2019. Monitoring soil quality changes in diversi fi ed agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. Agriculture, Ecosystems and Environment. 281, 100–110.

Cherubin, M.R., Karlen, D.L., Franco, A.L.C., Cerri, C.E.P., Tormena, C.A. and Cerri, C.C., 2016. A soil management assessment framework (SMAF) evaluation of brazilian sugarcane expansion on soil quality. Soil Science Society of America Journal. 1-13.

Cherubin, M.R., Tormena, C.A. and Karlen, D.L., 2017. Soil quality evaluation using the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in brazilian oxisols with contrasting texture. 1–18.

Cooper, R.J., Hama-Aziz, Z.Q., Hiscock, K.M., Lovett, A.A., Vrain, E., Dugdale, S.J., Sünnenberg, G.,Dockerty, T., Hovesen, P. and Noble, L., 2020. Conservation tillage and soil health: Lessons from a 5-year UK farm trial (2013–2018). Soil and Tillage Research. 202, 104648.

Feiziene, D., Janusauskaite, D., Feiza, V., Putramentaite, A. and Sinkeviciene, A., 2015. After-effect of long-term soil management on soil respiration and other qualitative parameters under prolonged dry soil conditions. Turk J Agric For. 39, 633–651.

Gugino, B.K., Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., van Es, H.M., Wolfe, D.W., Moebius-Clune, B.N., Thies, J.E. and Abawi, G.S., 2009. Cornell soil health assessment training manual. new york state agricultural experiment station. Available to download at: http://soilhealth.cals.cornell.edu

Gura, I. and Mnkeni, P.N.S., 2019. Geoderma Crop rotation and residue management e ff ects under no till on the soil quality of a Haplic Cambisol in Alice, Eastern Cape, South Africa. Geoderma. 337, 927–934.

Jamali, M., Jahansuz, M.R. And Tavakol Afshari, R., 2016. Investigation of the effect of tillage and priming systems on the share of main and secondary stems in soybean yield. Journal of Ecological Agriculture. 2, 259-277.

Joergensen, R.G. and Mueller, T., 1996. The Fumigation-Extraction Method to Estimate Soil Microbial Biomass: Calibration of the KEN Value. Soil Biology and Biochemistry. 28, 33–37.

Karlen, D.L., Andrews, S.S., Wienhold, B.J. and Zobeck, T.M., 2008. Soil quality assessment: past, present and future. J. Integr. Biosci. 6(1), 3–14.

Karlen, D.L., Cambardella, C.A., Kovar, J.L. and Colvin, T.S., 2013a. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. Soil and Tillage Research. 133, 54–64.

Karlen, D.L., Nance, C.D., Dinnes, D.L. and Meek, D.W., 2013b. SMAF: A Soil Health Assessment Tool. Jour. Iowa Acad. Sci. 120, 1–13.

Karlen, D.L., Peterson, G.A. and Westfall, D.G., 2014. Soil and water conservation: our history and future challenges. Soil Sci. Soc. Am. J. 78, 1493–1499.

Kihara, J., Bolo, P., Kinyua, M., Nyawira, S.S. and Sommer, R., 2020. Soil health and ecosystem services: Lessons from sub-Sahara Africa (SSA). Geoderma. 370, 114342.

Kuchaki, A. and Kamali, G., 2010. Climate change and dryland wheat production in Iran. Iranian Journal of Field Crops Research. 8(3), 508-520.

Liebig, M.A., Tanaka, D.L. and Wienhold, B.J., 2004. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains. 78, 131–141.

Liebig, M.A., Varvel, G.E. and Doran, J.W., 2001. A simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. Agron. J. 93,313–318.

Lisboa, L.P., Cherubin, M.R., Satiro, L.S., Siqueira-Neto, M., Lima, R.P., Gmach, M.R., Wienhold, B.J., Schmer, M.R., Jin, V.L., Carlos C., Cerri, C.C. and Cerri, C.E.P., 2019. Applying Soil Management Assessment Framework (SMAF) on short-term sugarcane straw removal in Brazil. Industrial Crops and Products. 129, 175–184.

Maynard, D.G. and Kalra, Y.P., 1993. Nitrate and exchangeable ammonium nitrogen. In: Carter, M.R. (Eds.), Soil sampling and methods of analysis Canadian Society of Soil Science Press, pp. 25-40.

Mitchell, J.P., Shrestha, A., Mathesius, K., Scow, K.M., Southard, R.J., Haney, R.L., Schmidt, R., Munk, D. S. and Horwath, W.R., 2017. Cover cropping and no-tillage improve soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley, USA. Soil and Tillage Research. 165, 325–335.

Moebius-Clune, B.N.N., Moebius-Clune, D.J.J., Gugino, O.J., Idowu, R.R.S., Ristow, A.J. van Es, H.M., Thies, J.E., Shayler, H.A., McBride, M.B., Kurtz, K.S.M., Wolfe, D.W.W. and Abawi, G.S., 2016. Comprehensive assessment of soil health: The Cornell Framework Manual, Edition 3.1, Cornell Univ., Ithaca, NY. 51, 1-123.

Najafzadeh, N., Rahmati, M. And cheapness, K., 2012. Rain water management and efficiency in rainfed agriculture. The first national conference on rainwater catchment systems, 13th-14th December, Mashhad, Iran.

Rahman, M.A., 2017. What is Arid or Dryland Agriculture? [Blog Post]. Retrieved from, http://aridagriculture.com/2017/07/23/what-is-arid-or-dryland-agriculture.

Razi University Climate, 2013. Available online at: http://raziclimate.ir/222-kermanshah-climate.html

Rossi, A.M., Hirmas, D.R., Graham, R.C. and Sternberg, P.D., 2008. Bulk density determination by automated three-dimensional laser scanning. Soil Sci. Soc. Am. J. 72, 1591-1593.

Sarikhani Khorami, S., Kazemeini, S.A., Afzalinia, S. adn Kumar Gathala, M., 2018. Changes in Soil Properties and Productivity under Different Tillage Practices and Wheat Genotypes: A Short-Term Study in Iran. Sustainability. 10, 1–17.

Skaalsveen, K., Ingram, J. and Clarke, L.E., 2019. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review. Soil and Tillage Research. 189, 98–109.

USDA–NRCS., 2001. National Agronomy Manual. Available online at: ftp.ftw.nrcs.usda.gov/pub/Nat_Agron_Manual.

USDA–NRCS., 2018. Soil Health. Available online at: https://www.farmers.gov/conserve/soil-health.

Wienhold, B.J., Karlen, D.L. Andrews, S.S. and Stott, D.E., 2009. Protocol for indicator scoring in the soil management assessment framework (SMAF). Renewable Agriculture and Food Systems. 24, 260–266.

Williams, H., Colombi, T., and Keller, T., 2020. The influence of soil management on soil health: An on-farm study in southern Sweden. Geoderma. 360, 114010.

Yang, T., Siddique, K.H.M., and Liu, K. 2020. Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-a review. Global Ecology and Conservation. 23, e01118.

Zobeck, T.M., Steiner, J.L., Stott, D.E., Duke, S.E., Starks, P.J., Moriasi, D.N. and Karlen, D.L., 2015. Soil quality index comparisons using Fort Cobb, Oklahoma, watershed-scale land management data. Soil Science Society of America Journal. 79, 224–238. Availale online at: https://doi.org/10.2136/sssaj2014.06.0257.

Environmental Sciences Vol.20 / No.3 / Autumn 2022

173-190
Original Article

Efficacy of conservation tillage systems on soil quality in wheat-based cropping systems in dryland agroecosystems

Akhtar Veisi,[1*] Hadi Veisi,[1] Korous Khoshbakht,[1] Reza Mirzaei Talarposhti[1] and Reza Haghparast[2]

[1] Department of Ecological Agriculture, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[2] Sarahrood Dryland Research Institute, Kermanshah, Iran

Received: 2020.12.17 Accepted: 2021.07.12

Veisi, A., Veisi, H., Khoshbakht, K., Mirzaei Talarposhti, R. and Haghparast, R., 2022. Efficacy of conservation tillage systems on soil quality in wheat-based cropping systems in dryland agroecosystems. Environmental Sciences. 20(3): 173-190.

Introduction: Soil health as one of the main components to achieve sustainable agricultural systems is being adversely affected by agricultural operations such as tillage. Soil health can be quantified using the specific physical, chemical, and biological parameters of the soil via specific quantitative soil quality methods. As a result, studying soil quality and fertility in different land management systems is essential to establish appropriate crop operations to achieve optimal production and sustainable cropping systems. Soil Management Assessment Framework (SMAF) is used as a powerful and reliable tool to assess the effect of different crop management on soil quality and health. This study aims to evaluate and quantify the effect of different tillage methods on soil quality using the SMAF algorithm.

Material and methods: The present study was conducted as a field experiment based on a randomized complete block design during two cropping years in 2016-2017 and 2017-2018, in four replications. Experimental treatments included tillage methods (no-tillage, reduced tillage, and no-tillage), and the areas were considered replication. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) was planted in the first year, followed by winter chickpea (*Cicer arietinum* L.) in the second year of crop rotation in farmers' fields. Soil sampling from a soil depth of 0-30 cm was taken in two stages, before planting wheat at the beginning and after harvesting chickpeas in the second year. Important soil parameters were measured, including bulk density, phosphorus, potassium, acidity, electrical conductivity, soil organic carbon, carbon, microbial biomass, and microbial biomass nitrogen.

[*]Corresponding Author: *Email Address*. a_veysi@sbu.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2022.37244
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.3.1.4

Results and discussion: The results showed that implementing the conservation tillage methods improved some of the important soil parameters and soil quality index, indicating the positive effect of minimum soil disturbance and crop residue maintenance on soil quality. Although the physical and chemical properties of soil at the end of the second year did not change significantly compared to pre-treatment conditions, soil biological properties such as microbial biomass carbon and soil organic matter were positively affected by tillage systems. The laboratory-measured data of soil properties were well reflected in the SMAF algorithm. The results showed that at the end of the experiment, the soil quality index in the conventional plowing system was lower compared to conservation tillage methods. No-tillage had the highest value of soil quality index (0.65) at the end of the experiment. As stated in the quantitative description of soil properties, the higher quality index in the no-tillage method is mainly due to the improvement of soil biological conditions. Soil degradation due to excessive plowing, lack of residue preservation, and improper use of chemical fertilizers not only reduces soil organic matter but also degrades the physical properties of soil.

Conclusion: In general, the results showed that conservation tillage methods could improve soil quality and efficiency in dryland areas, and the SMAF algorithm can be a useful tool to assess and monitor the soil quality of various cropping systems in dryland areas. However, citing the data of this study requires long-term results, and in order to evaluate the efficiency of the soil ecosystem to provide ecosystem services, it is necessary to compare crop systems with more sustainable systems such as forests and pastures.

Keywords: Soil Quality Index, No-tillage, Reduced tillage, Dryland areas.