

Investigating the Effects of Conservation and Reduced Tillage Systems on Soil Quality Indices

RAMIN GHAHRAMANPOUR NIYARI¹, MANOUCHEHR GORJI^{2*}, AHMAD ALI POURBABAYT³, MOHSEN FARAHBAKHS⁴

1. MS.C student, department of soil science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, university of Tehran, Karaj, Iran
2. Professor, department of soil science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, university of Tehran, Karaj, Iran
3. Associate professor, department of soil science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, university of Tehran, Karaj, Iran
4. Associate professor, department of soil science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, university of Tehran, Karaj, Iran
(Received: July. 18, 2017- Revised: March. 28, 2018, Accepted: May. 13, 2018)

ABSTRACT

Soil quality as "the capacity of a specific kind of soil to function, within natural or managed ecosystem boundaries, to sustain plant and animal productivity, maintain or enhance water and air quality, and support human health and habitation. Soil quality cannot be directly measured, but it can be inference from the integration of soil physical, chemical and biological properties. This study was conducted to compare the effects of conservative, reduced, and conventional tillage on soil quality indices. Tillage treatments were no tillage, disc plow tillage, combination tillage, and conventional tillage, which have been performed for five years. The results showed that no tillage, disc plow tillage and combination tillage improved the integrated quality index of the soil (IQI) respectively as 32.79%, 21.78% and 16.82%, for the depth of 0-10 cm, 18.94%, 15.74%, 14.76% for the depth of 10-20 cm, and 17.32%, 11.62%, 16.82% for the depth of 20-30 cm as compared to conventional tillage. Also, nemero quality index (NQI) of the soil was improved in all conservation treatments as compared to conventional tillage. Also, it was revealed that the soil quality decreased as the soil depth increases. Regarding to the research findings, the no tillage system, due to improvement of the soil quality, is recommended as a beneficial practice for farmers to manage the soil in the proposed and similar areas.

Keywords: Conventional tillage, No tillage, Sustainable agriculture, Reduced tillage,

بررسی تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی و کم خاک‌ورزی بر شاخص‌های کیفیت خاک

رامین قهرمان پور نیاری^۱، منوچهر گرگی^{۲*}، احمدعلی پوربابایی^۳، محسن فرحبخش^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱/۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۲۳)

چکیده

کیفیت خاک عبارت است از ظرفیت و عملکرد یک خاک مشخص در داخل محدوده زیست‌بوم‌های طبیعی یا تحت مدیریت انسان، برای تولیدات پایدار گیاهی و حیوانی، حفظ یا ارتقاء کیفیت آب و هوا و حمایت از سلامت و مسکن انسانی. کیفیت خاک را نمی‌توان به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرد اما با استفاده از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک قابل استنتاج می‌باشد. این مطالعه جهت بررسی اثر سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی و کم خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، بر کیفیت خاک انجام شد. تیمارهای خاک‌ورزی شامل بی‌خاک‌ورزی، کم خاک‌ورزی با دیسک، خاک‌ورزی مرکب و خاک‌ورزی متداول بود. این بررسی پس از انجام پنج سال متوالی این تیمارها در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. نتایج نشان داد که بی‌خاک‌ورزی، کم خاک‌ورزی با دیسک و خاک‌ورزی حفاظتی با خاک‌ورزی مرکب به ترتیب در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری ۳۲/۷۹، ۲۱/۸۷ و ۱۹/۲۲ درصد، در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری ۱۸/۹۴، ۱۵/۷۴ و ۱۴/۷۶ درصد و در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری ۱۷/۳۲، ۱۱/۶۲ و ۱۶/۸۲ درصد در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث بهبود شاخص کیفیت تلفیقی خاک شدند. علاوه بر این شاخص کیفیت خاک نمو نیز در کلیه تیمارها نسبت به شاهد (خاک‌ورزی مرسوم) بهبود یافت. همچنین با افزایش عمق خاک، کیفیت خاک و میزان تأثیر تیمارها بر آن روند کاهشی نشان داد. با توجه به یافته‌های این تحقیق، استفاده از سامانه بی‌خاک‌ورزی به دلیل بهبود کیفیت خاک، در منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه، به عنوان اقدام مفیدی در مدیریت پایدار خاک برای کشاورزان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی پایدار، بی‌خاک‌ورزی، خاک‌ورزی مرسوم، کم خاک‌ورزی

مقدمه

حدود ۸۰۰ میلیون نفر در سطح جهان از نظر غذایی در سطح ناامن قرار گرفته‌اند (Lal, 2013) و نزدیک دو میلیارد نفر هنوز فاقد دسترسی به آب مقرون به صرفه و امن می‌باشند (de Paul World Health Organization, 2015; obade, 2014). برنامه‌های توسعه بشر بر روی سیاره زمین باید به صورت پایدار باشد، یعنی ضمن تأمین امنیت غذایی، امنیت آب، امنیت انرژی، همراه با کاهش تغییرات اقلیمی، حفاظت از محیط‌زیست و ارائه خدمات زیست‌بومی صورت گیرد (Bouma and Mcbratney, 2013). در دهه‌های اخیر، رشد جمعیت باعث

تغییرات رفتار رژیم غذایی و افزایش قابل توجه تقاضای جهانی برای تولید غذا شده است که منجر به ترویج استفاده شدید از زمین‌های زراعی می‌باشد. فشارهای وارده بر سیستم خاک از طرف انسان، باعث افزایش ریسک ظرفیت خاک برای ادامه انجام عملکردهایی از جمله فراهم کردن امنیت غذایی، امنیت آب، امنیت انرژی، تنوع زیستی و دیگر خدمات زیست‌بومی می‌باشد (Brevik et al, 2015). بنابراین دانشمندان باید بر روی توسعه و اجرای راه‌حلهایی در راستای مدیریت و حفاظت خاک به منظور تولید زیاد و پایدار محصولات کشاورزی، با هدف حفظ و بهبود کیفیت خاک تمرکز داشته باشند (Banwart, 2011)؛ اقدامات زیادی مانند کشاورزی ارگانیک (Van leeuwen et al, 2015)، تراس‌بندی (Zhao et al, 2013)، برگرداندن بقایای

مؤثر برای اصلاح خاک و مدیریت هرچه بهتر آب، مواد آلی و فراهمی عناصر غذایی می‌باشد (Glab and Kulig, 2008). این نوع خاک‌ورزی یکی از روش‌های کشاورزی پایدار است که باعث کاهش فرسایش و بهبود کیفیت خاک و آب شده و تولید محصول را افزایش می‌دهد (Hobbs et al, 2008). خاک‌ورزی شدید می‌تواند باعث افزایش تراکم خاک، کاهش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش ذخیره و انتقال آب و املاح و افزایش تلفات حاصل از فرسایش و رواناب شود (Gregorich et al, 2001; Yu et al, 2006). مدیریت خاک با روش خاک‌ورزی حفاظتی عموماً، دارای بقایای گیاهی فراوان در سطح خاک، مقدار رطوبت زیاد، ساختمان و خاکدانه‌سازی بهتر در مقایسه با خاک‌ورزی رایج می‌باشد (Locke et al, 2008).

مدت طولانی است که فرایندهای تخریب خاک از قبیل فرسایش، کاهش حاصلخیزی، شوری، اسیدی شدن، کاهش کربن آلی و تراکم گزارش شده و این عوامل به عنوان تهدیدات اساسی برای جوامع انسانی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. این عوامل نتایج زیان‌آوری را بر بهره‌وری کشاورزی، تأمین آب، افزایش گازهای گلخانه‌ای و کاهش تنوع زیستی اعمال می‌کنند. بدون وجود یک خاک ایمن، نمی‌توان از تأمین بودن امنیت غذا و ایفای آب پاک و تازه، یا تنوع در مناظر طبیعی مطمئن بود (Mc Bratney et al, 2014)، لذا حفاظت از خاک به عنوان یک منبع طبیعی غیرقابل تجدید در طول عمر انسان، در حال حاضر ضروری می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی اثر سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی و کم‌خاک‌ورزی بر کیفیت خاک و ارائه سامانه مناسب خاک‌ورزی برای کشاورزان منطقه مورد مطالعه جهت حفاظت از خاک و تولید محصول پایدار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

اراضی مطالعه شده قسمتی از مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشگاه تهران (کوهین) می‌باشد که در کیلومتر ۴۲ جاده قدیم قزوین-رشت در مجاورت روستای بکنندی واقع گردیده و مساحتی بالغ بر ۷۸ هکتار را داراست. طول و عرض جغرافیایی این مرکز به ترتیب عرض شمالی $36^{\circ} 25' - 36^{\circ} 18'$ و طول شرقی $49^{\circ} 38' - 49^{\circ} 28'$ و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۰۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه (میانگین ۸ سال اخیر) ۲۹۹ میلی‌متر می‌باشد. بافت خاک منطقه مورد مطالعه لوم

گیاهی به خاک (Pittelkow et al, 2014)، استفاده از تناوب زراعی (Abdollahi et al, 2015) و استفاده از سامانه‌های خاک-ورزی حفاظتی مانند بی‌خاک‌ورزی (Kahlon et al, 2013)، در راستای مدیریت و حفاظت خاک، برای افزایش تولید محصولات کشاورزی و حفظ کیفیت خاک در اراضی کشاورزی انجام گرفته است. اصول کشاورزی حفاظتی از قبیل حداقل تخریب و دست-خوردگی خاک، حفظ بقایای گیاهی به عنوان خاک‌پوش و استفاده منطقی از تناوب زراعی، همراه با سودآوری در سطح مزرعه، به عنوان یک ضرورت در شرایط حاضر برای کشاورزی پایدار شناخته شده است (Blanco-Canqui and Lal, 2008). همچنین حفاظت از خاک به عنوان یکی از اقدامات عمده برای پایداری زیست‌بوم‌ها می‌باشد (de Moraes et al, 2016). کیفیت خاک عبارت است از ظرفیت یک نوع خاصی از خاک برای عملکرد، در داخل محدوده‌های زیست‌بوم‌های طبیعی یا تحت مدیریت انسان، برای تولیدات پایدار گیاهی و حیوانی، حفظ یا ارتقاء کیفیت آب‌وهوا و حمایت از سلامت و مسکن انسانی (Karlen et al, 1997; Andrews et al, 2004). عملکرد خاک شامل تولید زیست‌توده، تنظیم آب و هوا، ذخیره‌سازی هیدرولوژیکی، کنترل آلودگی و حفظ میراث فرهنگی می‌باشد (Doran et al, 1996; Lal, 2009; Bouma, 2015). کیفیت خاک را نمی‌توان به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرد اما با استفاده از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک قابل استنتاج می‌باشد (Zornoza et al, 2015; Askari and Holden, 2014). شاخص‌های کیفیت خاک ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری خاک را به صورت ساده‌شده در اختیار قرار می‌دهند که می‌تواند تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌ای را در راستای رویه‌های زیست‌بوم کشاورزی پایدار ارائه دهد (Arshad and Martin, 2002). شاخص‌های کیفیت خاک در واقع مجموعه‌ای از خصوصیات فرایندهای خاک هستند که در محدوده کارکرد خاک در زیست‌بوم، حساس به تغییر می‌باشند (Aparicio and costa, 2007) و باید شامل ترکیبی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی باشند (Aparicio and Costa, 2007; Herrick et al, 2002). شاخص کیفیت مطلوب خاک، شاخصی است که باید الف- حساس به مدیریت خاک باشد، ب- بیانگر حداقل یک عملکرد خاک باشد و ج- به راحتی قابل‌اندازه‌گیری باشد (Armenise et al, 2013). کیفیت خاک در اثر ویژگی‌های ذاتی و چگونگی مدیریت حاکم بر آن تغییر می‌کند و یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت خاک، مدیریت خاک‌ورزی می‌باشد (Doran and Parkin, 1994; Armenise et al, 2013). خاک‌ورزی حفاظتی و مدیریت بقایای گیاهی یکی از روش‌های

رسی و لوم رسی سیلنتی می‌باشد.

نمونه‌برداری، طرح آزمایشی و اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

نمونه‌های خاک از تیمارهای مختلف در سه عمق ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری برداشته شد. نمونه‌ها هوا خشک شده و پس از کوبیدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها، نمونه‌برداری با حداقل دست‌خوردگی انجام شد. به‌علاوه برای انجام آزمایش‌های زیستی، ابتدا وسایل نمونه‌برداری ضدعفونی شد و از هر یک از تکرارها در سه عمق مورد نظر، نمونه‌های خاک برداشته شد. سپس نمونه‌ها کوبیده شده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری به یخچال منتقل شدند. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده و روش‌های آن شامل پایداری خاکدانه‌ها (الک تر)، جرم مخصوص ظاهری (استوانه)، مقاومت به فروری با استفاده از دستگاه فروسنج (Eijkelpenetrologger)، آب قابل‌دسترس (صفحات فشار)، تخلخل کل (منحنی رطوبتی)، کربن آلی (Walkley and Black, 1934)، نیتروژن کل (دستگاه کج‌دال)، فسفر قابل‌جذب (Olsen, 1954)، پتاسیم قابل‌جذب (جایگزینی یون آمونیوم)، ظرفیت تبادل کاتیونی (Bower et al., 1952)، واکنش شیمیایی خاک و قابلیت هدایت الکتریکی (عصاره اشباع)، شدت تنفس میکروبی (ظروف در بسته)، جمعیت میکروبی (محتمل‌ترین تعداد)، کربن زی‌توده میکروبی (تدخین) و فعالیت آنزیم دهیدروژناز (Ohlinger, 1996) بود. طرح آزمایشی مورد نظر در قالب کرت خردشده به صورت بلوک کامل تصادفی با ۴ تیمار و ۴ تکرار و در سه عمق ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری بود. تیمارها شامل: الف. بی‌خاک‌ورزی (کارنده دیسکی سماتو، ۱۱ ردیفه)، ب. خاک‌ورزی حفاظتی با عمق کار ۳۰ سانتیمتر (خاک‌ورز مرکب ۹ ردیفه با غلطک قفسی)، ج. کم خاک‌ورزی با عمق کار ۱۰ سانتیمتر (دیسک دو طرفه افست) و د. خاک‌ورزی مرسوم به عنوان شاهد با عمق کار ۳۰ سانتیمتر (گاواهن برگردان دار+ دیسک دو طرفه افست) بود که پنج سال در این مرکز تحقیقاتی اجرا شده و تحت کشت تناوب گندم و عدس بوده است.

امتیازدهی به نمایه‌ها

به دلیل اختلاف در واحد نمایه‌های کیفیت خاک از توابع امتیازدهی استاندارد^۴ برای امتیازدهی استفاده شد (Karlen and Scott, 1994; Andrews et al., 2002). در این روش نمایه‌های کیفیت خاک به سه دسته هرچه بیشتر بهتر، هرچه کمتر بهتر و تابع سطح بهینه تقسیم شدند. هر یک از این دسته‌ها دارای توابع امتیازدهی مخصوص می‌باشند. توابع امتیازدهی استاندارد برای نمایه‌های کیفیت خاک در جدول (۲) نشان داده شده است.

شاخص‌های کیفیت خاک

پس از امتیازدهی و وزن‌دهی به نمایه‌های کیفیت خاک، شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از شاخص کیفیت تلفیقی^۵ (رابطه ۱) (Doran and Parkin, 1994) و شاخص کیفیت نمره^۶ (رابطه ۲) (Han and Wu, 1994; Qin and Zhao, 2000)، محاسبه شدند.

$$IQI = \sum_{i=1}^n W_i N_i \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه W_i وزن تعلق یافته به هر ویژگی خاک، N_i مقدار نمره یا امتیاز تعلق یافته به هر ویژگی خاک و n تعداد ویژگی‌های خاک می‌باشد.

ارزیابی کیفیت خاک

دسته‌بندی نمایه‌های کیفیت خاک

دسته‌بندی نمایه‌های کیفیت خاک از بین خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی به دو روش صورت گرفت: الف. دسته کل داده‌ها^۱: شامل تمام خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک است که

1. Total Data Set (TDS)

2. Minimum Data Set (MDS)

3. Principal Component Analysis (PCA)

4. Standard Scoring Functions (SSF)

5. Integrated Quality Index (IQI)

6. Nemer Quality Index (NQI)

ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر می‌باشد.

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{min}^2}{2}} \times \frac{n-1}{n} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این معادله P_{ave} میانگین نمره تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر نمونه خاک، P_{min} حداقل نمره موجود در بین

جدول ۱. تجزیه مؤلفه‌های اصلی

مؤلفه یک	مؤلفه دو	مؤلفه سه	مؤلفه چهار	
۷/۸۷	۳/۰۸	۱/۳۶	۱/۰۷	ارزش ویژه
۴۹/۲	۱۹/۳	۸/۵	۶/۷	درصد واریانس
۴۹/۲	۶۸/۵	۷۷	۸۳/۷	درصد تجمعی واریانس
				متغیرها
-۰/۰۵۴	۰/۴۸۷	-۰/۰۹۹	-۰/۲۱۷	Bd
۰/۱۸۱	۰/۲۴۳	-۰/۱۳۲	۰/۵۳۰	WSA
۰/۰۹۶	-۰/۴۵۲	۰/۰۶۱	۰/۲۲۳	Pros
-۰/۱۶۱	۰/۴۲۳	۰/۲۵۹	-۰/۱۵۱	Sr
۰/۱۵۱	۰/۰۴۴	-۰/۶۴۱	۰/۳۷۰	AW
-۰/۳۰۱	-۰/۱۲۴	۰/۱۵۷	۰/۱۵۸	EC
-۰/۲۳۹	۰/۱۲۰	۰/۳۰۳	۰/۲۸۹	pH
۰/۳۱۲	۰/۱۸۳	-۰/۰۱۷	-۰/۴۲۴	OC
۰/۲۶۸	-۰/۰۰۹	-۰/۱۹۸	-۰/۳۸۶	CEC
۰/۳۲۶	۰/۰۵۹	۰/۱۰۸	-۰/۱۰۳	N
۰/۲۷۳	۰/۲۶۵	۰/۱۸۱	-۰/۰۶۰	P
۰/۲۹۶	-۰/۱۶۶	۰/۳۲۰	۰/۰۲۱	K
۰/۲۳۲	۰/۳۰۴	۰/۲۸۱	۰/۲۷۱	DHY
۰/۲۸۱	-۰/۲۱۵	۰/۲۲۶	۰/۰۱۵	Res
۰/۳۱۸	۰/۰۵۷	-۰/۰۳۹	-۰/۲۳۵	MPN
۰/۲۸۹	۰/۰۹۸	-۰/۲۲۰	۰/۰۸۵	MCB

Bd: جرم مخصوص ظاهری، WSA: پایداری خاکدانه‌ها، Pros: تخلخل کل، Sr: مقاومت به فروروی، AW: آب قابل استفاده، EC: قابلیت هدایت الکتریکی، pH: واکنش شیمیایی، OC: کربن آلی، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، N: نیتروژن کل، P: فسفر قابل جذب توسط گیاه، K: پتاسیم قابل جذب توسط گیاه، DHY: فعالیت آنزیم دهیدروژناز، Res: شدت تنفس میکروبی، MPN: جمعیت میکروبی و MCB: کربن بیومس میکروبی

نرم افزار Excel استفاده شد.

وزن دهی به نمایه‌ها

وزن دهی به نمایه‌های کیفیت خاک با استفاده از محاسبه واریانس مشترک متغیرها صورت گرفت که با استفاده از روش آماری تجزیه عامل^۱ بدست آمد. در این روش از تقسیم واریانس مشترک هر متغیر به واریانس مشترک کل، وزن نمایه به دست می‌آید (Sun et al, 2003; Shukla et al, 2006). وزن نمایه‌ها در جدول (۳) نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و همچنین Minitab انجام شد و برای رسم نمودارها از

نتایج و بحث

انتخاب دسته حداقل داده‌ها

نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی نشان داد که چهار مؤلفه دارای ارزش ویژه^۲ بیشتر از یک می‌باشند (جدول ۲) که این مؤلفه‌ها در مجموع ۸۳/۷ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. در مؤلفه اول قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل دسترس و جمعیت میکروبی بیشترین ارزش را داشتند که اختلاف آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد با بیشترین مقدار ارزش در این مؤلفه بود. رگرسیون چندگانه بین این ویژگی‌ها نشان داد که نیتروژن کل دارای بیشترین ضریب همبستگی

1. Factor analysis

2. Eigen value

پایداری خاکدانه‌ها بیشترین ارزش را به خود اختصاص دادند. به طور کلی نیتروژن کل خاک، جرم مخصوص ظاهری، آب قابل‌دسترس و پایداری خاکدانه‌ها، دسته حداقل داده‌ها را شامل شدند.

می‌باشد (جدول ۴). در مؤلفه دوم جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل دارای بیشترین ارزش بودند که جرم مخصوص ظاهری بیشترین ضریب همبستگی با سایر ویژگی‌های مؤلفه دوم را داشت. در مؤلفه سوم آب قابل‌دسترس و در مؤلفه چهارم

جدول ۲. امتیازدهی به متغیرها با استفاده از توابع استاندارد

متغیرها	نوع تابع	حد پایین (L)	حد بالا (U)	حد بهینه
Bd(gr/cm ³)	کمتر بهتر	۱/۱	۱/۶	
Sr(KPas)	کمتر بهتر	۱۰۰	۲۰۰	
EC(ds/m)	کمتر بهتر	۰/۲	۲	
WSA (%)	بیشتر بهتر	۷۵	۹۰	
AW (%)	بیشتر بهتر	۸	۱۶	
OC (%)	بیشتر بهتر	۰/۳	۱/۱	
CEC(cmol c/Kg)	بیشتر بهتر	۱۵	۳۵	
N (%)	بیشتر بهتر	۰/۰۵	۰/۱۵	
P(mg/Kg)	بیشتر بهتر	۵	۱۵	
K(mg/Kg)	بیشتر بهتر	۲۰۰	۵۰۰	
DHY(μgrTPF/gr.dm.day)	بیشتر بهتر	۱	۲۰	
Res(mgco ₂ /gr.day)	بیشتر بهتر	۰/۱	۰/۶	
MPN (10 ⁶)	بیشتر بهتر	۲	۱۵	
MCB(mg/Kg)	بیشتر بهتر	۵۰	۲۰۰	
Pros (%)	حد بهینه	L ₁ = 38 L ₂ = 50	U ₁ = 48 U ₂ = 65	۴۸-۵۰
pH	حد بهینه	L ₁ = 5.5 L ₂ = 7	U ₁ = 6.5 U ₂ = 8	۶/۵-۷

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x \leq L \\ 1 - 0.9 \frac{x-L}{U-L} & L \leq x \leq U \\ 0.1 & x \geq U \end{cases}$$

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq L \\ 0.9 \frac{x-L}{U-L} + 0.1 & L \leq x \leq U \\ 1 & x \geq U \end{cases}$$

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x < L_1 \text{ or } x \geq U_2 \\ 0.9 \frac{x-L_1}{L_2-L_1} + 0.1 & L_1 \leq x \leq L_2 \\ 1 & L_2 \leq x \leq U_1 \\ 1 - 0.9 \frac{x-U_1}{U_2-U_1} & U_1 \leq x \leq U_2 \end{cases}$$

جدول ۳. وزن تعلق یافته به متغیرهای اندازه‌گیری شده

نمایه	وزن در TDS	وزن در MDS	نمایه	وزن در TDS	وزن در MDS
WSA	۰/۰۵۷	۰/۲۶۶	N	۰/۰۶۵	۰/۲۱۹
Bd	۰/۰۶۱	۰/۳۲۳	P	۰/۰۶۴	
Sr	۰/۰۶۳		K	۰/۰۶۸	
AW	۰/۰۶۷	۰/۱۹۲	CEC	۰/۰۵۹	
Pros	۰/۰۵۷		Res	۰/۰۶۳	
EC	۰/۰۶۱		MPN	۰/۰۶۵	
PH	۰/۰۵۹		MCB	۰/۰۶۵	
OC	۰/۰۶۵		DHY	۰/۰۶۷	

عمق خاک نیز کیفیت آن کاهش یافت. در عمق ۱۰-۰ سانتی-متری به دلیل اینکه بی‌خاک‌ورزی تأثیر بیشتری نسبت به عمق‌های پایین‌تر بر کیفیت خاک گذاشته بود، در نتیجه تفاوت معنی‌داری با خاک‌ورز مرکب و کم‌خاک‌ورزی با دیسک نشان داد ولی در عمق ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متری تفاوت معنی‌دار بین این تیمارها مشاهده نشد. شاخص کیفیت تلفیقی با داده‌های حداقل نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها و شاهد (خاک‌ورزی مرسوم) و همه تیمارها اثر مثبتی بر کیفیت خاک دارند. همچنین با افزایش عمق خاک، شاخص کیفیت تلفیقی با داده‌های کل و حداقل، روند کاهشی داشت. De Paul Obade and Lal (۲۰۱۴) بیان کردند که عموماً کیفیت خاک در لایه بالایی (۱۰۰ سانتی‌متری) بهتر می‌باشد. محققین گذشته نیز بیان کردند که خاک‌ورزی حفاظتی باعث بهبود ویژگی‌های خاک شده و کیفیت آن را بهبود می‌بخشد. همچنین حفظ بقایای گیاهی در خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش ماده آلی خاک شده و حداقل دست‌خوردگی خاک در این خاک‌ورزی‌ها، اکثر ویژگی‌های خاک را بهبود می‌بخشد (Imaz *et al*, 2010; Bhaduri and Purakayasta, 2014; de Paul Obade *et al*, 2014).

جدول ۴. ضریب همبستگی بین متغیرها

مؤلفه اول	EC	OC	N	K	MPN
ضریب همبستگی	۰/۹۰	۰/۸۳	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۳
مؤلفه دوم	Bd			Pros	
ضریب همبستگی	۰/۹۰			۰/۸۷	

نتایج تجزیه واریانس کیفیت خاک

با توجه به جدول تجزیه واریانس شاخص‌های کیفیت خاک (جدول ۵)، مشاهده شد که اثرات اصلی نوع خاک‌ورزی و عمق، همچنین اثر متقابل عمق و خاک‌ورزی بر شاخص‌های کیفیت خاک تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند، به جز شاخص کیفیت نمره با دسته حداقل داده‌ها که با اثر متقابل نوع خاک‌ورزی و عمق، تفاوت معنی‌دار فقط در سطح احتمال پنج درصد نشان داد.

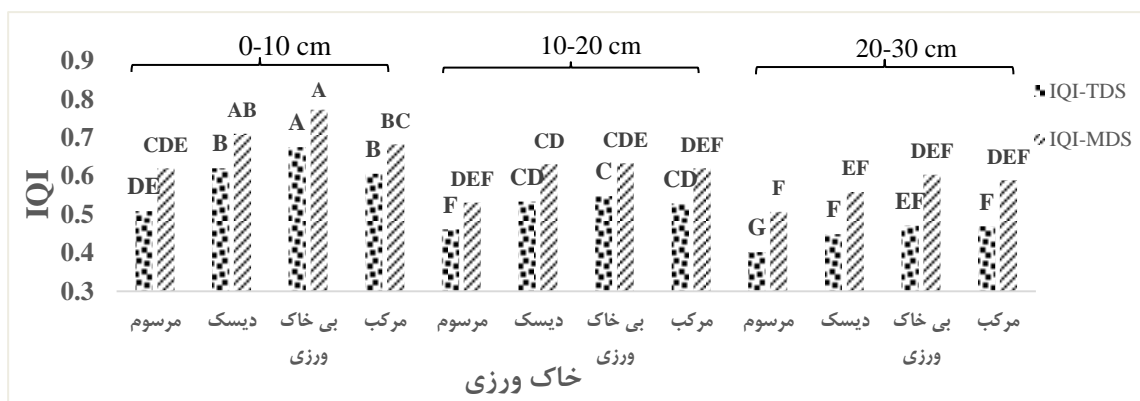
اثر خاک‌ورزی بر شاخص کیفیت خاک تلفیقی

شاخص کیفیت خاک تلفیقی با داده‌های کل و دسته حداقل داده‌ها نشان داد که در بین روش‌های خاک‌ورزی، بیشترین اثر مثبت بر کیفیت خاک، مربوط به بی‌خاک‌ورزی بود (شکل ۱). همچنین تفاوت معنی‌داری بین اثر خاک‌ورزی حفاظتی با خاک‌ورزی مرسوم بر کیفیت خاک وجود داشت و با افزایش

جدول ۵. تجزیه واریانس شاخص‌های کیفیت خاک

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
NQI-MDS	NQI-TDS	IQI-MDS	IQI-TDS		
۰/۰۱۴ **	۰/۰۲۷ **	۰/۰۱۶ **	۰/۰۲۵ **	۳	خاک‌ورزی
۰/۰۲۲ **	۰/۰۵۶ **	۰/۰۶۶ **	۰/۱۹۳ **	۲	عمق
۰/۰۰۱ *	۰/۰۰۲۵ **	۰/۰۰۲ **	۰/۰۱۲ **	۶	عمق × خاک‌ورزی
۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲	۱۸	خطا
-	-	-	-	۴۷	کل
۴/۸۴	۲/۷۲	۴/۲	۲/۷۹	-	ضریب تغییرات

** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد



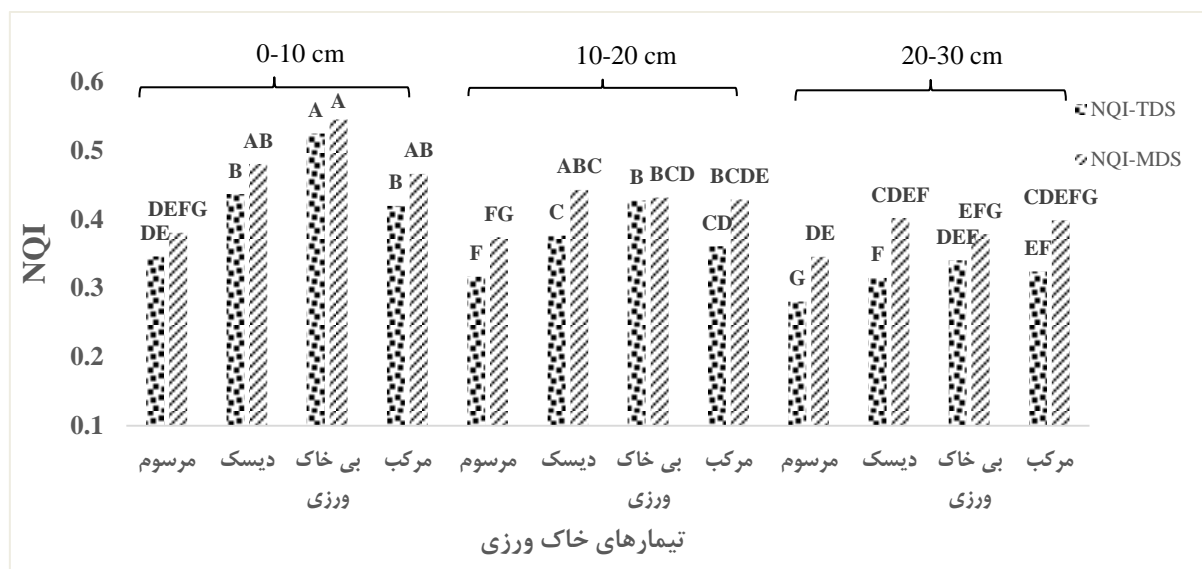
حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار باهم می‌باشد.

شکل ۱. اثر متقابل تیمارها بر شاخص کیفیت تلفیقی خاک در عمق‌های مختلف

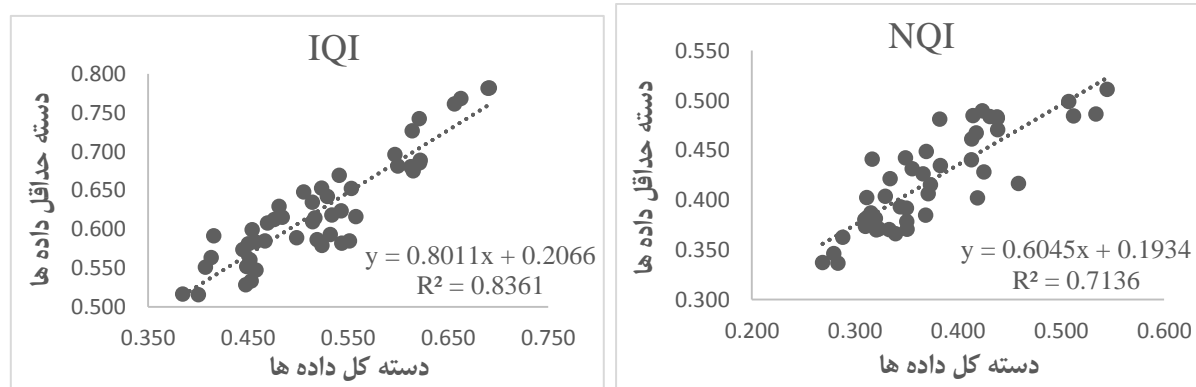
اراضی را آسان می‌کند (Sun *et al*, 2003; Wang and Gong, 1998). این مدل‌ها بر اساس روش‌های ریاضی، اطلاعات به دست آمده را منسجم می‌کند که به نتایج، قابلیت اطمینان بیشتری می‌دهد (Qi *et al*, 2009). همبستگی خطی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل داده‌ها و دسته حداقل داده‌ها نشان داد که شاخص کیفیت تلفیقی خاک ضریب همبستگی بالایی (۰/۸۴) با دو روش انتخاب نمایه‌های کیفیت خاک نسبت به شاخص کیفیت نمره (۰/۷۱) دارد (شکل ۳) و استفاده از شاخص کیفیت تلفیقی، نتایج بهتری نسبت به شاخص کیفیت نمره می‌دهد. محققین مختلف نیز از شاخص کیفیت تلفیقی برای ارزیابی کمی کیفیت خاک استفاده کردند (Rahmanipour *et al*, 2014). با توجه به اینکه در این مدل، برای هر پارامتری ضریب وزنی در نظر گرفته می‌شود در نتیجه دقت مناسب‌تری در ارزیابی کیفیت خاک دارد (Qi *et al*, 2009).

اثر خاک‌ورزی بر شاخص کیفیت خاک نمره
همانند شاخص کیفیت تلفیقی، خاک‌ورزی حفاظتی اثر مثبت معنی‌داری نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بر شاخص کیفیت نمره داشت. همان‌طور که قبلاً اشاره شد به دلیل اینکه در بی‌خاک‌ورزی، بیشتر لایه سطحی خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد در نتیجه تفاوت معنی‌دار با سایر خاک‌ورزی‌های حفاظتی فقط در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری مشاهده شده است و در عمق‌های پایین‌تر تأثیر انواع خاک‌ورزی‌های حفاظتی بر کیفیت خاک تفاوت چندانی با هم ندارند و اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها مشاهده نشده است (شکل ۲).

همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل داده‌ها و دسته حداقل داده‌ها
استفاده از مدل‌های ارزیابی کمی کیفیت خاک علاوه بر اینکه برای افراد قابل درک می‌باشد تصمیم‌گیری مدیریتی و کاربری



حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار باهم می‌باشد.
شکل ۲. اثر تیمارها بر شاخص کیفیت نمره در عمق‌های مختلف خاک



شکل ۳. ضریب همبستگی شاخص‌های کیفیت خاک با دو روش انتخاب نمایه‌ها

نتیجه‌گیری کلی

و کشاورزی پایدار از خاک‌ورزی حفاظتی به خصوص بی‌خاک-ورزی استفاده شود. علاوه بر این نیتروژن کل خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، آب قابل‌دسترس گیاه و پایداری خاکدانه‌ها به عنوان دسته حداقل داده‌ها می‌باشند و با استفاده از این چهار ویژگی برای محاسبه شاخص کیفیت تلفیقی می‌توان کیفیت خاک را تا ۸۴ درصد نسبت به دسته کل داده‌ها ارزیابی کرد. استفاده از دسته حداقل داده‌ها موجب کاهش هزینه و زمان مورد نیاز برای تعیین کیفیت خاک می‌گردد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و کم خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث بهبود کیفیت خاک شده‌اند که بی‌خاک‌ورزی بیشترین تأثیر مثبت در بهبود کیفیت خاک را داشت؛ همچنین با افزایش عمق خاک اثر نوع خاک‌ورزی بر کیفیت خاک کاهش می‌یابد، از این رو پیشنهاد می‌شود برای منطقه مورد مطالعه و مناطقی با شرایط مشابه، جهت اقدام مفید در راستای بهبود کیفیت خاک

REFERENCES

- Abdollahi, L., Hansen, E. M., Rickson, R. J., & Munkholm, L. J. (2015). Overall assessment of soil quality on humid sandy loams: Effects of location, rotation and tillage. *Soil and Tillage Research, 145*, 29-36.
- Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Cambardella, C. A. (2004). The soil management assessment framework. *Soil Science Society of America Journal, 68*(6), 1945-1962.
- Andrews, S. S., Mitchell, J. P., Mancinelli, R., Karlen, D. L., Hartz, T. K., Horwath, W. R., ... & Munk, D. S. (2002). On-farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agronomy Journal, 94*(1), 12-23.
- Aparicio, V., & Costa, J. L. (2007). Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research, 96*(1), 155-165.
- Armenise, E., Redmile-Gordon, M. A., Stellacci, A. M., Ciccicarese, A., & Rubino, P. (2013). Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research, 130*, 91-98.
- Arshad, M. A., & Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 88*(2), 153-160.
- Askari, M. S., & Holden, N. M. (2014). Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma, 230*, 131-142.
- Banwart, S. (2011). Save our soils. *Nature, 474*(7350), 151-152.
- Bower, C. A., Reitemeier, R. F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science, 73*(4), 251-262.
- Bhaduri, D., & Purakayastha, T. J. (2014). Long-term tillage, water and nutrient management in rice-wheat cropping system: Assessment and response of soil quality. *Soil and Tillage Research, 144*, 83-95.
- Blanco, H., & Lal, R. (2008). Principles of Soil Conservation and Management: Springer Science+ Business Media BV p 626.
- Bone, J., Barraclough, D., Eggleton, P., Head, M., Jones, D. T., & Voulvoulis, N. (2014). Prioritising soil quality assessment through the screening of sites: the use of publicly collected data. *Land Degradation & Development, 25*(3), 251-266.
- Bouma, J. (2015). Reaching out from the soil-box in pursuit of soil security. *Soil Science and Plant Nutrition, 61*(4), 556-565.
- Bouma, J., & McBratney, A. (2013). Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems. *Geoderma, 200*, 130-139.
- Brevik, E. C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J. N., Six, J., & Van Oost, K. (2015). The interdisciplinary nature of SOIL. *Soil, 1*(1), 117.
- De Moraes, M. T., De Biasi, H., Carlesso, R., Franchini, J. C., da Silva, V. R., & da Luz, F. B. (2016). Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. *Soil and Tillage Research, 155*, 351-362.
- De Paul Obade, V., & Lal, R. (2014). Soil quality evaluation under different land management practices. *Environmental earth sciences, 72*(11), 4531-4549..
- De Paul Obade, V., Lal, R., & Moore, R. (2014). Assessing the accuracy of soil and water quality characterization using remote sensing. *Water resources management, 28*(14), 5091-5109.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*, (definingsoilqua), 1-21.
- Doran, J. W., Sarrantonio, M., & Liebig, M. A. (1996). Soil health and sustainability.
- Glab, T., & Kulig, B. (2008). Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). *Soil and Tillage Research, 99*(2), 169-178.
- Govaerts, B., Sayre, K. D., & Deckers, J. (2006). A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research, 87*(2), 163-174.
- Gregorich, E. G., Drury, C. F., & Baldock, J. A. (2001). Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation. *Canadian Journal of Soil Science, 81*(1),

- 21-31.
- Han, W. J., & Wu, Q. T. (1994). A primary approach on the quantitative assessment of soil quality. *Chin. J. Soil Sci*, 25, 245-247.
- Herrick, J. E., Brown, J. R., Tugel, A. J., Shaver, P. L., & Havstad, K. M. (2002). Application of soil quality to monitoring and management. *Agronomy Journal*, 94(1), 3-11.
- Hobbs, P. R., Sayre, K., & Gupta, R. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 363(1491), 543-555.
- Imaz, M. J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernandez-Ugalde, O., & Karlen, D. L. (2010). Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil and Tillage Research*, 107(1), 17-25.
- Kahlon, M. S., Lal, R., & Ann-Varughese, M. (2013). Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 126, 151-158.
- Karlen, D. L., & Stott, D. E. (1994). A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*, (definingsoilqua), 53-72.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.
- Lal, R. (2009). Ten tenets of sustainable soil management. *Journal of soil and water conservation*, 64(1), 20A-21A.
- Lal, R. (2013). Climate-strategic agriculture and the water-soil-waste nexus. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(4), 479-493.
- Locke, M. A., Zablotowicz, R. M., & Reddy, K. N. (2008). Integrating soil conservation practices and glyphosate-resistant crops: impacts on soil. *Pest management science*, 64(4), 457-469.
- Ohlinger, R., (1996). In: Schinner, F., Ohlinger, R., Kandeler, E., Margesin (Eds.), *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag, Heidelberg, New York, pp. 241-243.
- Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate.
- Pittelkow, C. M., Liang, X., Linquist, B. A., Van Groenigen, K. J., Lee, J., Lundy, M. E., ... & van Kessel, C. (2015). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534), 365-368.
- Qi, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., & Gu, Z. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149(3), 325-334.
- Qin, M. Z., & Zhao, J. (2000). Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area. *ACTA GEOGRAPHICA SINICA-CHINESE EDITION*, 55(5), 545-554.
- Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H. A., Fereidouni, Z., & Bandarabadi, S. R. (2014). Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indicators*, 40, 19-26.
- Shukla, M. K., Lal, R., & Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 194-204.
- Sun, B., Zhou, S., & Zhao, Q. (2003). Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, 115(1), 85-99.
- Yu, G., Fang, H., Gao, L., & Zhang, W. (2006). Soil organic carbon budget and fertility variation of black soils in Northeast China. *Ecological Research*, 21(6), 855-867.
- Van Leeuwen, J. P., Lehtinen, T., Lair, G. J., Bloem, J., Hemerik, L., Ragnarsdóttir, K. V., ... & de Ruiter, P. C. (2015). An ecosystem approach to assess soil quality in organically and conventionally managed farms in Iceland and Austria. *Soil*, 1(1), 83.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Wang, X., & Gong, Z. (1998). Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. *Geoderma*, 81(3), 339-355.
- World Health Organization, UNICEF. (2015). *Progress on Sanitation and Drinking Water: (2015) Update and Millenium Development Goals Assessment*. World Health Organization, UNICEF, Division of Communication, 3 United Nations Plaza, New York 10017, USA.
- Zhao, G., Mu, X., Wen, Z., Wang, F., & Gao, P. (2013). Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the loess plateau of China. *Land Degradation & Development*, 24(5), 499-510.
- Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M., & Faz, A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil*, 1(1), 173.