

تعیین مجموعه حداقل داده‌ها برای ارزیابی کیفیت خاک در گندم زارهای منطقه پیرانشهر

فاطمه کفه^۱، محمدرضا دلایان^{۲*}، سالار رضاپور^۳، الناز صباغ تازه^۴، امید رفیعیان^۵

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰)

(تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶)

چکیده

ارزیابی و تعیین مجموعه حداقل داده‌ها جهت بررسی کیفیت خاک به لحاظ صرفه‌جویی در هزینه و زمان بسیار با اهمیت و ارزشمند است. این تحقیق با اهداف اصلی ارزیابی شاخص کیفیت خاک‌های تحت کشت متوالی و دراز مدت گندم توسط یک مدل معتبر (Integrated quality index)، تعیین مجموعه حداقل داده برای ارزیابی کیفیت خاک‌های این منطقه و ارزیابی رابطه مابین شاخص کیفیت خاک و اجزای عملکردی گندم در اراضی کشاورزی منطقه پیرانشهر استان آذربایجان غربی انجام گرفت. ۱۸ ویژگی فیزیکی و شیمیایی و حاصلخیزی در خاک سطحی این اراضی که دارای سه رده خاک مالی سول، اینسپتی سول و ورتی سول می‌باشد با بررسی و مطالعه ۴۰ پروفیل اندازه‌گیری شد. کل متغیرهای مؤثر بر کیفیت خاک (TDS) تعیین و حداقل داده مؤثر (MDS) با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) مشخص شدند. شاخص کیفیت خاک با استفاده از تکنیک میان‌یابی، متناسب با رشد گیاه به پنج کلاس تقسیم بندی شد. بر اساس نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی، پنج ویژگی کربن آلی، رس، نسبت جذب سدیم، کربنات کلسیم معادل و سیلت دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک بوده و به‌عنوان شاخص‌های MDS انتخاب شدند. بیش‌ترین مقدار IQI_{TDS} و IQI_{MDS} در خاک رده‌ی اینسپتی‌سول‌ها سپس بترتیب در رده مالی‌سول و ورتی‌سول مشاهده شد. ارتباط معنی‌داری ($p < 0.05$) مابین اجزای عملکرد گندم (عملکرد دانه و بیولوژیک گندم) با مدل‌های IQI_{MDS} و IQI_{TDS} یافته شد که نشان دهنده‌ی تأثیر مثبت و معنی‌دار شاخص کیفیت خاک بر اجزای عملکرد گندم بود. همچنین مدل IQI_{TDS} نسبت به مدل IQI_{MDS} به علت ضریب اطمینان (R^2) بیشتر از دقت بیشتری برای پیش‌بینی عملکرد اجزای گندم برخوردار بود. با این وجود به علت همبستگی مثبت و معنی‌دار مابین IQI_{MDS} و IQI_{TDS} ($R^2 = 0.9$)، مدل IQI_{MDS} مدل اقتصادی و بهتری برای ارزیابی کیفیت خاک‌های این منطقه است.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت خاک، مجموعه کل داده‌ها، مجموعه حداقل داده‌ها، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی

کفه ف، دلایان م، رضاپور س، صباغ تازه الف، رفیعیان الف. ۱۴۰۲. تعیین مجموعه حداقل داده‌ها برای ارزیابی کیفیت خاک در گندمزارهای منطقه پیرانشهر. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۱، شماره ۴، صفحه: ۳۰-۴۲.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۵- استادیار گروه محیط زیست، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

* پست الکترونیک: mdalalian@iaut.ac.ir

مقدمه

خاک جزء بسیار مهم پایداری زیست‌بوم‌هاست که برای نیل به توسعه پایدار و استفاده بهینه از منابع طبیعی، مطالعه آن الزامی است، اما پیچیدگی‌های موجود در خاک به‌طور جدی اطلاعات ما را در چگونگی کارکردهای آن محدود کرده‌است (Karlen *et al.*, 2008). خاک وظایف یا کارکردهای مختلفی دارد که از آن جمله می‌توان به توانایی تولید محصول، ذخیره کربن، نگهداری آب، چرخه عناصر غذایی و تصفیه آب اشاره کرد. از این‌رو بسته به هدف استفاده از خاک، می‌توان کیفیت آن را مورد توجه قرار داد. در طی چند دهه اخیر تعاریف زیادی برای کیفیت خاک ارائه شده که در بیشتر آن‌ها، تأکید اصلی بر توانایی خاک در انجام وظایف مورد نظر است (Doran & Parkin, 1996).

کیفیت خاک عبارت است از ظرفیت خاک به‌صورت تابعی از محدودیت‌های اکوسیستم و کاربری اراضی به‌منظور حفظ باروری بیولوژیکی و کیفیت زیست‌محیطی و افزایش رشد گیاه، حیوان و سلامت انسان. یکی از روش‌های بررسی وضعیت خاک، ارزیابی کیفیت خاک است. با این وجود کیفیت خاک به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست و باید از شاخص‌های مربوطه استنتاج شود. ارزیابی کیفیت خاک از طریق اندازه‌گیری برخی از خصوصیات خاک که به‌عنوان شاخص‌های کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شود، صورت می‌پذیرد (Mohammadi *et al.* 2005). این شاخص‌ها، مجموعه‌ای از ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری هستند که ظرفیت آن را برای تولید محصول یا عملکرد زیست‌محیطی تحت تأثیر قرار می‌دهند و به تغییر کاربری اراضی، مدیریت یا عملیات حفاظتی حساس می‌باشند (Brejda *et al.* 2000; Aparicio & Costa, 2007).

نظر به افزایش فشارهای استفاده از اراضی و آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی از نظر تولیدات زیستی، زیست‌محیطی و سلامت انسان توسعه یک روش مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک به‌منظور دستیابی به مدیریت پایدار و پیش‌بینی خطرات تخریب خاک ضروری است (Armenise *et al.* 2013 ; Qi *et al.*, 2009). از میان روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت خاک می‌توان کیت آزمایش (Dexter, 2004)، روش‌های شاخص کیفیت خاک (Doberman & Oberthur, 1997)، روش‌های

کریجینگ چند متغیره (National Research Council, 1993) و تغییرات پویای مدل‌های کیفیت خاک (Karlen *et al.*, 2008) را نام برد که از بین آن‌ها رویکرد شاخص کیفیت خاک¹ (SQI) به دلیل انعطاف‌پذیری، کمی بودن و مناسب بودن آن برای انواع مختلف خاک (Biswas *et al.*, 2017) و همچنین امکان تلفیق ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بیش‌ترین کاربرد را دارد. گندم یکی از مهم‌ترین محصولات استراتژیک در جهان و به‌خصوص در ایران است و از زمان‌های قدیم به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تغذیه اصلی ایرانیان بوده‌است. با توجه به نقش قابل‌توجه گندم در تغذیه انسان حفظ و کنترل کیفیت خاک‌های تحت کشت گندم در نقاط مختلف جهان برای حفظ و پایداری خدمات اکوسیستم و دستیابی به مدیریت پایدار این گونه خاک‌ها حقیقتی انکارناپذیر است.

برای تعیین شاخص کیفیت خاک با استفاده از مدل‌های مختلف (مدل تجمعی، ساده و نمودار²) ارزیابی داده‌ها مطابق روش TDS زمان‌بر و پرهزینه است. لذا محققین طی دو دهه تلاش کردند تا مدل‌هایی که داده‌های کمتری را نیاز دارد (مانند مجموعه‌ی حداقل داده‌ها) پیدا کنند. روش مجموعه حداقل داده‌ها بر خلاف روش TDS باعث ایجاد داده‌هایی خواهد شد که حداکثر تأثیر را بر روی کیفیت خاک خواهند داشت، ضمن اینکه تعداد داده‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا خواهد کرد و در هزینه آنالیز و زمان اندازه‌گیری داده‌ها کاسته خواهد شد. با این وجود در ایران به‌خصوص شمال‌غرب کشور که دارای اراضی بسیار ارزشمندی هستند و درآمد اکثریت مردم از اراضی زراعی می‌باشد کمتر به این موضوع پرداخته شده است، لذا در این تحقیق تلاش شده‌است که مجموعه حداقل داده‌ها بر روی یکی از مرغوب‌ترین و مهم‌ترین اراضی استان آذربایجان غربی منطقه پیرانشهر با استفاده از روش‌های خطی و غیرخطی شاخص کیفیت خاک محاسبه و معرفی شود که در آینده نه تنها برای منطقه مورد استفاده قرار بگیرد بلکه برای بقیه نقاط استان نیز مورد استفاده قرار بگیرد.

اهداف اصلی این تحقیق عبارتند از (۱) ارزیابی شاخص کیفیت خاک‌های تحت کشت متوالی و طولانی گندم توسط مدل‌های معتبر، (۲) تعیین مجموعه حداقل داده

2. Nemoro quality index

1. Soil quality index

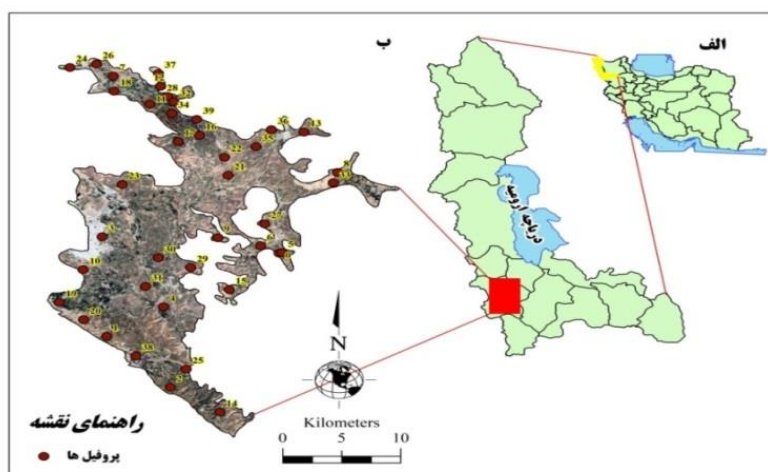
در عملیات میدانی براساس مطالعه نیمه تفصیلی خاک‌های این منطقه که قبلاً انجام شده (مهندسین مشاور آب و رزان، ۱۳۷۴)، تعداد ۴۰ پروفیل حفر، تشریح و مورد نمونه برداری، آنالیز و طبقه بندی قرار گرفته اند (شکل ۱) و نمونه های خاک سطحی برای محاسبه شاخص کیفیت مورد استفاده قرار گرفتند. این خاک‌ها در سه رده شامل مالی سول‌ها با مساحت ۲۱۱۸۴ هکتار، اینسپتی سول‌ها با مساحت ۸۸۷۷/۱ هکتار و ورتی سول‌ها با مساحت ۷۴۶۲/۹ قرار گرفته اند. داده های مربوط به شاخص عملکرد گندم از طریق گفتگو با بهره برداران اراضی و مراکز خدمات کشاورزی منطقه بدست آمد. بر این اساس حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم آبی به ترتیب ۳، ۹ و ۵/۱ تن در هکتار و ۳/۷، ۱۱ و ۵/۸ تن در هکتار تعیین شد. در اکثر این منطقه بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک این محصول در رده خاک مالی سول‌ها مشاهده شد و بعد از آن به ترتیب رده خاک های اینسپتی سول‌ها و ورتی سول‌ها قرار گرفتند. این نشان دهنده پتانسیل بالایی مالی سول‌ها برای تولید غلات است که در تایید مطالعات گذشته است (Brady & Weil, 2016).

برای ارزیابی کیفیت خاک های این منطقه، (۳) ارزیابی رابطه مابین شاخص کیفیت خاک و اجزای عملکردی گندم.

مواد و روش‌ها

عملیات میدانی و نمونه برداری

این مطالعه در منطقه پیرانشهر (۳۶° ۵۰' - ۳۶° ۳۰' عرض شمالی و ۴۵° ۲۵' - ۴۵° ۵' طول شرقی) واقع در استان آذربایجان غربی انجام شد. مساحت این منطقه ۳۷۵۲۴ هکتار است و شامل دشت‌های پیرانشهر، جلدیان و پسوه است. از نظر اقلیمی با دارا بودن متوسط دمای ۱۰/۵ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی متر تحت نفوذ یک شرایط نیمه مرطوب مدیترانه‌ای است. حداقل دمای منطقه نیز ۸/۵ درجه سلسیوس در دی ماه و میانگین حداکثر آن نیز ۳۱/۸ درجه سلسیوس در مرداد ماه اتفاق می افتد. خاک‌های این منطقه از پتانسیل زراعی بالایی برخوردار هستند و برای بیش از پنج دهه است تحت عملیات زراعی گسترده مخصوصاً کشت غلات قرار دارند و هر ساله مقادیر قابل توجهی کودهای شیمیایی و آلی برای حفظ باردهی آن‌ها مصرف می شود.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پروفیل‌های خاک
Figure 1. Location of the study area and soil profiles

استوانه فلزی (Blake & Hart age, 1986)، تخلخل (Danielson & Sutherland, 1986) و از میان خصوصیات شیمیایی pH خاک و هدایت الکتریکی (با استفاده از عصاره گل اشباع به ترتیب با دستگاه‌های pH متر و هدایت سنج الکتریکی) (Page et al., 1982)، کربن

آنالیزهای آزمایشگاهی

از میان خصوصیات فیزیکی مورد نیاز بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری) (Gee & Bauder, 1986)، جرم مخصوص ظاهری (با استفاده از

حداکثر مقدار اندازه‌گیری شده ویژگی‌های خاک استفاده شد. از آنجایی که اطلاعاتی از حد بالایی و پایینی در منطقه مورد مطالعه و کشور وجود نداشت، لذا حداقل و حداکثر مقدار مشاهده شده متغیرها در منطقه، به ترتیب به عنوان حد پایینی و بالایی در نظر گرفته شد. براساس این روش ویژگی‌های مختلف خاک از سه تابع پیروی می‌کنند؛ ۱- تابع هرچه بیشتر بهتر (Andrews *et al.*, 2002)، که برای خصوصیات از خاک به کار رفته که افزایش آن موجب بهبود کیفیت خاک شد (مانند کربن‌آلی)، ۲- تابع هر چه کمتر بهتر (Doran *et al.*, 1996)، که برای خصوصیات از خاک به کار رفته که افزایش آن موجب تنزل کیفیت خاک شد (مانند جرم مخصوص ظاهری) و ۳- تابع سطح بهینه (Fox & Metla, 2005)، در مورد خواصی از خاک استفاده شد که افزایش یا کاهش آنها بیش از حد بهینه، موجب کاهش کیفیت خاک شدند (مانند واکنش خاک). توابع امتیازدهی زیر به عنوان توابع هر چه بیشتر بهتر (معادله ۱) یا هر چه کمتر بهتر (معادله ۲) استفاده شد.

$$SL = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

$$SL = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \quad (2)$$

$$SL = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad X_i > O \quad (3)$$

$$SL = 1 - \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \quad X > O \quad (4)$$

که در آن SL امتیاز معیارها، X_i مقدار اندازه‌گیری شده برای هر معیار و X_{max} مقدار حداکثر متغیر خاک و X_{min} مقدار حداقل متغیر خاک می‌باشند.

وزن‌دهی به ویژگی‌های انتخاب شده

وزن ویژگی‌های خاک با استفاده از محاسبه واریانس مشترک صورت گرفت که با استفاده از روش آماری تجزیه عامل به دست آمد. در این روش نسبت مقدار سهم اشتراک‌پذیری هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم اشتراک‌پذیری کل ویژگی‌ها در هر دو مجموعه TDS و MDS، به عنوان وزن هر ویژگی برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در نظر گرفته شد (Sun *et al.*, 2003; Shukla *et al.*, 2006).

آلی خاک (والکی-بلک) (Nelson & Sommers, 1986)، ظرفیت تبادل کاتیونی (به روش باور) و کربنات کلسیم معادل (به روش حجم‌سنجی) (Page *et al.*, 1982)، پتاسیم قابل دسترس (با استفاده از جایگزین کردن استات آمونیوم نرمال) (Page *et al.*, 1982)، کربنات کلسیم فعال (ACC) به روش خنثی سازی به وسیله تیتراسیون با $KMNO_4$ یک دهم نرمال اندازه‌گیری شد (Drouiueb, 1942). نسبت جذب سدیم (SAR) با استفاده از غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم محلول به وسیله دستگاه فلیم فتومتر و درصد سدیم قابل تبادل (ESP) با استفاده از مقادیر سدیم و ظرفیت تبادل کاتیونی محاسبه شد (US Salinity Laboratory, 1954). نیتروژن کل با استفاده از روش کج‌دال (Bremner & Mulvaney, 1982) و فسفر قابل جذب نیز با روش اسپکتوفتومتری (Olsen & Sommers, 1982) اندازه‌گیری گردید.

شاخص‌های کیفیت خاک

در این تحقیق برای محاسبه شاخص کیفیت خاک ۱۸ ویژگی مختلف خاک (توزیع اندازه ذرات خاک، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، عمق خاک، pH، کربن آلی، CEC، کربنات کلسیم معادل، کربنات کلسیم فعال، EC، SAR، ESP، ازت کل و فسفر و پتاسیم قابل جذب) تعیین و اندازه‌گیری شدن و شاخص کیفیت خاک از طریق مجموعه کل داده‌ها محاسبه شد. در مرحله بعد بوسیله روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، مؤلفه‌های اصلی (PC) و ارزش ویژه آن‌ها (EV) مشخص شدند. در هر مؤلفه‌ای با ارزش ویژه بیش از یک، متغیرهای با بیشترین ضریب بارگذاری انتخاب و متغیرهای با اختلاف ۱۰٪ از بالاترین ضریب بارگذاری درون هر مؤلفه به عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک یا MDS انتخاب شدند.

امتیازدهی ویژگی‌های خاک

با توجه به این‌که ویژگی‌های انتخاب شده دارای واحدهای متفاوتی هستند و قابل جمع یا ضرب نمودن نیستند، به منظور این‌که بتوان آن‌ها را در قالب یک شاخص کلی بیان نمود، ویژگی‌ها به داده‌هایی که قابلیت ترکیب دارند تبدیل شده و بدون واحد شدند. برای این منظور از توابع امتیازدهی استاندارد خطی از حداقل

محاسبه شاخص کیفیت خاک

شاخص کیفیت تجمعی وزنی خاک (IQI_w) براساس مجموع حاصلضرب مقادیر ویژگی‌های منتخب در وزن ویژگی‌ها در قالب یک رابطه خطی ساده به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$IQI_w = \sum_{i=1}^n w_i N_i \quad (3)$$

که در رابطه‌ی ۳، N_i رتبه معیار، W_i وزن تعیین شده و n تعداد معیارها می‌باشد (Matlab R 2015b).

درجه‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک

در این تحقیق با استفاده از تکنیک میان‌بایی، شاخص کیفیت خاک کلاس بندی شد (De Paz *et al.*, 2006). براین اساس، پنج درجه کیفیت خاک متناسب با رشد گیاه تعیین شده‌است که کیفیت خاک را به صورت خیلی ضعیف V، ضعیف IV، متوسط III، خوب II و خیلی خوب I طبقه‌بندی می‌کنند که در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

اعتبارسنجی شاخص‌های کیفیت خاک

برای اعتبارسنجی شاخص‌های کیفیت خاک، از شاخص حساسیت و همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک استفاده شد.

بحث و نتایج

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک (Mamehpour *et al.*, 2021)

Table 1. Classification of soil quality indicators

(Index)	(Indicator method)	indicators soil quality				
		(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)
	TDS	>0.63	0.53-0.63	0.48-0.53	0.43-0.48	<0.43
IQI_w	MDS	>0.63	0.56-0.63	0.49-0.56	0.42-0.49	<0.42

با میانگین ۶/۹۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در حد متوسط (دامنه کمتر از ۴-۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) قرار داشت (Havlin *et al.*, 2005). همچنین یک میانگین ۱۴/۹۱ و ۰/۴۳۳ درصدی برای آب قابل دسترس و تخلخل مشاهده شد. اکثر ویژگی‌های خاک دارای ضریب تغییرات بالای ۳۵ درصد بودند که نشان‌دهنده‌ی تغییرات وسیع در خصوصیات خاک مورد مطالعه (Wilding & Dress, 1983) به تبعیت از فعالیت‌های مدیریتی و زراعی انسان است.

یک میانگین ۰/۱۴۵، ۰/۱۸۶ درصدی و ۲۴/۶ سانتی‌مول برکیلوگرم به ترتیب برای کربن آلی، ازت کل و CEC خاک مشاهده شد که بیانگر کلاس ضعیف برای کربن آلی ($0/05 < N < 0/15$) و ازت کل ($0/6 < OC < 1$) و کلاس متوسط برای CEC ($12 < CEC < 25$) سانتی‌مول برکیلوگرم بود (Hazelton & Marphy, 2016). پتاسیم قابل جذب خاک با میانگین ۱۶۵/۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در حد خیلی زیاد (بیشتر از ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل جذب) و فسفر قابل جذب خاک نیز

جدول ۲- خصوصیات آماری ویژگی‌های اصلی خاک در منطقه مورد مطالعه

Table 2. Statistical characteristics of the main soil properties in the study area

Variable	Max	Min	Mean	SD	CV
Clay (%)	52.77	26.0	37.54	7.24	19.29
Silt (%)	63.2	10.04	29.66	11.36	38.29
Sand (%)	50.75	13.4	32.22	12/51	38.84
pH	8.04	6.56	7.32	0.334	4.57
EC (dS/m)	1.38	0.24	0.566	0.212	37.52
CCE (%)	26.89	0.893	11.66	6.66	57.14
ACC (%)	12.52	0.647	6.02	2.95	49.02
OC (%)	1.59	0.518	0.863	0.206	23.85
CEC (cmol/Kg)	37.78	15.64	24.57	6.28	25.58
AW (cm ³ /cm ³)	22.47	10.97	14.91	2.44	16.38
K (mg/Kg)	198.54	113.8	165.31	16.83	10.18
P (mg/Kg)	9.49	3.96	6.96	1.33	19.1
N (%)	0.282	0.077	0.145	0.036	24.72
SAR (mmol/l) ^{0/5}	5.57	1.57	2.63	0.82	31.18
ESP (%)	4.46	0.562	1.77	0.945	53.49
BD (g/cm ³)	1.57	1.33	1.41	0.036	2.51
Porosity(%)	0.505	0.41	0.433	0.0148	3.41

علائم استفاده شده عبارتند از: Clay: رس، Silt: سیلت، Sand: شن، pH: اسیدیته خاک، EC: هدایت الکتریکی، CCE: آهک کل، ACC: آهک فعال، OC: ماده آلی، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، AW: آب قابل استفاده، K: پتاسیم، P: فسفر، N: نیتروژن، SAR: نسبت جذب سدیم، ESP: درصد سدیم تبادلی، BD: جرم مخصوص ظاهری، Prosimy: تخلخل

کمتر از ۱۰ درصد بود. در مؤلفه دوم درصد رس و شن، در مؤلفه سوم SAR و ESP، در مؤلفه چهارم آهک کل و فعال و در مؤلفه پنجم درصد سیلت بیشترین ارزش ویژه را به خود اختصاص دادند. از آنجا که بیش از یک ویژگی در هر مؤلفه انتخاب شد، همبستگی بین شاخص‌های انتخاب شده در هر مؤلفه محاسبه و ویژگی دارای بیشترین ضریب واریانس در هر کدام از مؤلفه‌ها انتخاب و در دسته حداقل داده‌ها قرار گرفتند.

در نتیجه، پنج ویژگی کربن آلی (PC1)، درصد رس (PC2)، نسبت جذب سدیم (PC3)، آهک کل (PC4) و درصد سیلت (PC5) دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک بوده و به عنوان شاخص‌های (MDS) انتخاب شدند بنابراین MDS نهایی شامل پنج ویژگی از ۱۸ ویژگی اولیه می‌باشد. پنج عامل اصلی انتخاب شده مجموعاً ۷۴/۵۹ درصد از تغییرات ویژگی‌های خاک را بیان می‌کنند. آندرس و کارلن (Andrews et al., 2004; Karlen et al., 2008) معتقدند در صورتی که حداقل پنج پارامتر در MDS وجود داشته باشد شاخص کیفیت خاک می‌تواند به‌طور قابل قبولی براساس حداقل مجموع متغیرها مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد.

انتخاب مؤلفه‌های اصلی کیفیت خاک

در این مرحله ۱۸ ویژگی فیزیکی و شیمیایی و حاصلخیزی خاک که حساس به فعالیت‌های مدیریتی و زراعی انسان بوده و در باردهی خاک مؤثر هستند به عنوان مجموعه کل داده‌ها (TDS) انتخاب شدند. این ویژگی‌ها شامل توزیع اندازه ذرات خاک، آب قابل دسترس، تخلخل، وزن مخصوص ظاهری، ماده آلی، EC، CEC، pH، آهک کل و فعال، فسفر، ازت، SAR، ESP بودند. برای انتخاب حداقل ویژگی‌های مؤثر (MDS) بر کیفیت خاک همه ویژگی‌های خاک‌ها تحت آنالیز تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) قرار گرفتند و مؤلفه‌های اصلی (PC) تعیین شدند. با تعیین MDS تعداد ویژگی‌های خاک کاهش یافته و ویژگی‌های مؤثر و کلیدی در ارزیابی شاخص کیفیت خاک باقی می‌مانند.

جدول ۳ مقادیر ارزش ویژه (EV)، درصد تجمعی و واریانس (COM) ویژگی‌های انتخاب شده را در مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد. در مؤلفه اول ویژگی‌های کربن آلی، ازت کل، پتاسیم قابل جذب، وزن مخصوص ظاهری و فسفر بیشترین ارزش ویژه را داشتند که اختلاف آن‌ها

جدول ۳- نتایج آنالیز اجزاء اصلی (PCA) کیفیت معیارهای خاک منطقه

Table 3. Results of principal component analysis (PCA) of soil quality criteria in the region

PCA	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Eigen value	5.73	2.98	1.9	1.46	1.35
Of Variance	31.84	16.56	10.55	8.11	7.51
Cumulative%	31.84	48.41	58.97	67.1	74.59
Clay	-0.069	<u>0.893</u>	-0.122	0.138	0.216
Sand	-0.028	<u>-0.906</u>	-0.044	-0.177	0.144
Silt	0.244	0.161	0.309	0.080	<u>-0.745</u>
Ph	-0.346	0.076	-0.219	0.256	-0.415
EC	0.212	0.030	0.456	0.221	0.472
SAR	0.133	-0.084	<u>0.891</u>	-0.037	0.111
ESP	0.147	-0.167	<u>0.874</u>	-0.121	-0.137
CEC	0.196	0.736	-0.254	-0.103	-0.129
OC	<u>0.919</u>	0.071	0.040	-0.097	-0.049
N	<u>0.879</u>	-0.012	0.058	-0.128	-0.059
P	<u>0.888</u>	0.037	0.222	-0.131	0.111
CCE	-0.191	0.078	-0.005	<u>0.941</u>	-0.025
ACE	-0.144	0.111	-0.125	<u>0.946</u>	0.014
AW	0.441	0.392	0.076	0.108	0.590
K	<u>0.901</u>	0.124	0.114	-0.147	0.089
BD	<u>-0.902</u>	-0.130	-0.134	-0.074	-0.087
Prosity	0.321	0.057	-0.342	0.104	0.129
Depth	-0.704	0.059	0.084	0.013	-0.046

Eigen value: ارزش ویژه، Of Variance: درصد واریانس، Cumulative%: درصد تجمعی واریانس

آن به ترتیب رده‌های مالی سول و ورتی سول قرار داشتند. با این وجود میانگین مقادیر این شاخص‌ها در بین این سه رده‌ی خاک اختلاف معنی‌داری نداشتند. براساس مقایسه جدول ۱ و ۵، کلاس مدل IQI_{TDS} در رده‌ی مالی سول‌ها و اینسپتی‌سول‌ها درجه‌ی خوب ($0/53 < IQI_{TDS} < 0/58$) نشان دادند اما کلاس این مدل برای رده‌ی ورتی سول‌ها درجه متوسط ($0/48 < IQI_{TDS} < 0/53$) بود.

در جدول ۵ بعضی خصوصیات آماری شاخص تجمعی همچنین کلاس مدل IQI_{MDS} برای رده‌های مالی سول و اینسپتی‌سول درجه متوسط ($0/49 < IQI_{MDS} < 0/56$) بود اما برای رده‌ی اینسپتی‌سول‌ها درجه‌ی ۲ یا کیفیت بالا ($0/56 < IQI_{MDS} < 0/63$) ملاحظه شد. این نتایج که قابل مقایسه هستند با مطالعات استیونسون و همکاران (Stevenson *et al.*, 2015) و مامه‌پور و همکاران (Mamehpour *et al.*, 2021) که نشان دادند تیپ خاک تأثیر قابل توجهی بر شاخص کیفیت خاک دارد.

مقادیر واریانس مشترک هر ویژگی حاصل از تجزیه عاملی و وزن تعیین شده در مجموعه‌های TDS و MDS در نمونه‌های خاک در جدول ۴ ارائه شده است. ویژگی‌های دارای وزن بالاتر در مجموعه‌های TDS و MDS دارای تأثیر بیشتری بر مدل کیفیت خاک بوده و با کاهش وزن آن، این تأثیر کمتر می‌شود. این امر بیانگر وابستگی میزان تأثیرپذیری هر ویژگی در مدل‌های کیفیت خاک به وزن تعیین شده برای آن است (Govaerts *et al.*, 2006). با توجه به نتایج محاسبه وزن در مجموعه TDS ویژگی‌های آهک کل و درصد رس دارای وزن بالاتری بودند و تخلخل خاک نیز دارای کمترین وزن و در نتیجه کمترین تأثیر در کیفیت خاک بود. در مجموعه MDS نیز ویژگی‌های آهک کل و نسبت جذب سدیم به ترتیب بیش‌ترین و کمترین وزن و تأثیر را روی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه داشتند.

با توجه به این نتایج بیش‌ترین مقدار IQI_{TDS} و IQI_{MDS} در خاک رده‌ی اینسپتی‌سول‌ها مشاهده شد و به دنبال

جدول ۴- واریانس مشترک و وزن هر ویژگی خاک در روش‌های TDS و MDS

Table 4. Common variance and weight of each soil feature in TDS and MDS methods

parameters	TDS		MDS	
	weight	Communality	weight	Communality
Clay	0.067	0.903	0.201	0.55
Sand	0.065	0.875	-	-
Silt	0.055	0.742	0.223	0.609
pH	0.032	0.424	-	-
EC	0.039	0.526	-	-
SAR	0.062	0.832	0.103	0.282
ESP	0.063	0.847	-	-
CEC	0.05	0.672	-	-
OC	0.064	0.864	0.192	0.525
N	0.059	0.797	-	-
P	0.065	0.869	-	-
CCE	0.069	0.928	0.233	0.636
ACE	0.07	0.943	-	-
AW	0.053	0.713	-	-
K	0.065	0.870	-	-
BD	0.064	0.862	-	-
prospity	0.018	0.251	-	-
Depth	0.038	0.509	-	-

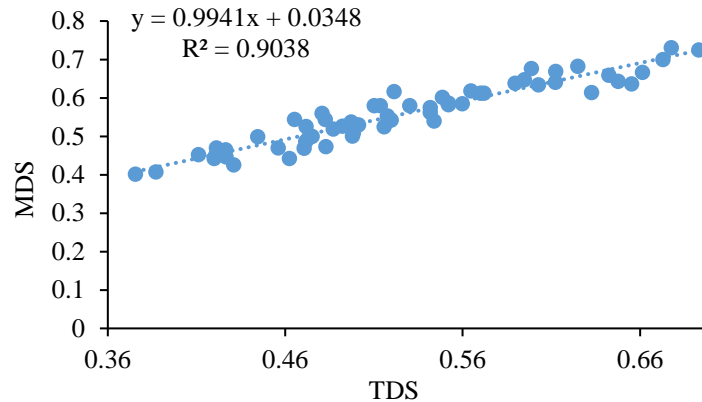
شاخص کیفیت خاک را به ترتیب برای الفی‌سول‌ها، انتی‌سول‌ها و اینسپتی‌سول‌ها مشاهده کردند. ارزیابی رابطه بین مدل‌های شاخص کیفیت مورد استفاده در این مطالعه نشان داد که بین مدل‌های IQI_{TDS} و IQI_{MDS} با ضریب تبیین بیش از ۰/۹۰ ارتباط معنی‌داری وجود دارد که بیانگر رابطه خوب و قابل اطمینان مابین دو مدل فوق است (شکل ۲).

بیسواس و همکاران (۲۰۱۷) طی مطالعه شاخص کیفیت شالیزارهای جنوب آسیا بیش‌ترین مقدار شاخص کیفیت خاک (۰/۸۹ - ۰/۶۶) برای رده‌ی اینسپتی‌سول‌ها و سپس انتی‌سول‌ها (۰/۷۶ - ۰/۲۳) و کم‌ترین مقدار این شاخص را برای الفی‌سول‌ها (۰/۶ - ۰/۳۷) گزارش کردند. در مقابل سانتوس- فرانسیس و همکاران (2019) در خاک‌های نیمه‌خشک اسپانیا بیش‌ترین، کم‌ترین و مقدار متوسط

جدول ۵- برخی خصوصیات آماری شاخص کیفیت تجمعی خاک سطحی

Table 5. Some statistical characteristics of surface soil cumulative quality index

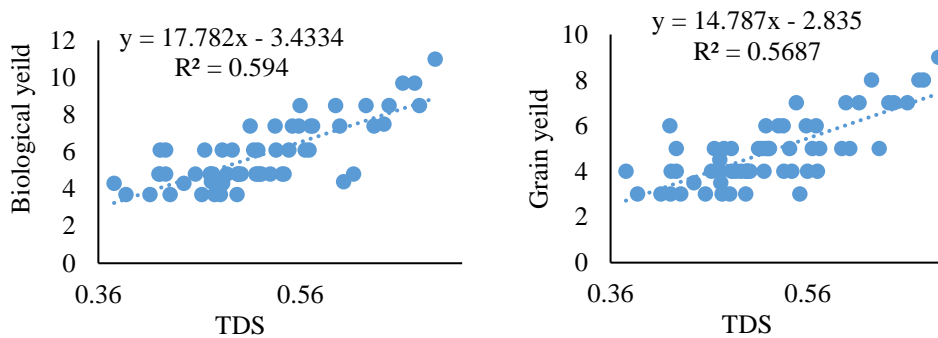
		IQI-TDS	IQI-MDS
Mollisols	Min	0.462	0.422
	Max	0.652	0.77
	Mean	0.54	0.558
	SD	0.04	0.081
	CV	7.41	14.5
Inceptisols	Min	0.525	0.567
	Max	0.578	0.602
	Mean	0.547	0.589
	SD	0.021	0.013
	CV	3.84	2.21
Vertisols	Min	0.447	0.438
	Max	0.538	0.60
	Mean	0.494	0.498
	SD	0.033	0.047
	CV	6.68	9.44



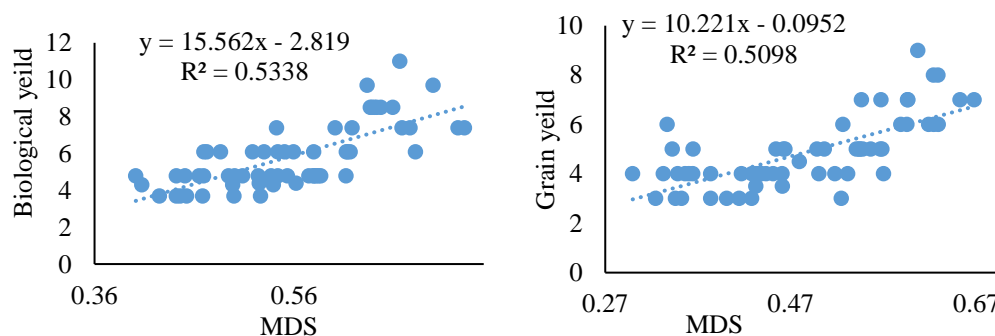
شکل ۲- رابطه خطی بین شاخص‌های IQI_w در مجموعه‌های TDS و MDS
Figure 2. Linear relationship between IQI_w indices in TDS and MDS sets

از سؤال‌های اصلی این تحقیق این بود که آیا شاخص کیفیت خاک تأثیری بر اجزای عملکرد گندم دارد یا خیر. برای پاسخ این پرسش رابطه‌ی بین مدل‌های شاخص کیفیت خاک و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم بررسی شد (شکل‌های ۳ و ۴).

بنابراین به جای تعیین و استفاده از مجموعه‌ی کل خصوصیات این منطقه (۱۸ ویژگی) می‌توان از مجموعه‌ی حداقل داده‌ها (۵ ویژگی) استفاده کرد و با ضریب اطمینان ۰/۹۰ درصد به همان نتایجی رسید که باعث کاهش معنی‌دار (۷۲ درصدی) زمان و هزینه‌های آنالیز نمونه‌ها و محاسبه شاخص کیفیت خاک خواهد شد. یکی



شکل ۳- رابطه خطی بین مجموعه TDS و عملکرد دانه و بیولوژیکی گندم
Figure 3. Linear relationship between TDS collection and grain and biological yield of wheat



شکل ۴- رابطه خطی بین مجموعه MDS و عملکرد دانه و بیولوژیکی گندم
Figure 4. Linear relationship between MDS collection and grain and biological yield of wheat

که محققان فوق یک رابطه‌ی معنی‌دار بین عملکرد غلات با ضریب تبیین در دامنه‌ی ۰/۴ تا ۰/۹۸ را گزارش کرده‌اند (Vasu *et al.*, 2016; Biswas *et al.*, 2017; Jahani & Rezapour, 2020; Nabiollahi *et al.*, 2020; Rezapour *et al.*, 2021). معادلات رگرسیونی مابین شاخص‌های کیفیت خاک و اجزای عملکرد گندم به شکل جدول (۶) است.

جدول ۶- معادلات رگرسیونی مابین شاخص‌های کیفیت خاک و اجزای عملکرد گندم

Table 6. Regression equations between soil quality indexes and wheat yield components

SQI	Wheat yield	IQI	R ²	P
TDS	Biological yield	17/78 (IQI _{TDS}) - 3/43	R ² = 0/59	P<0/01
	Grain yield	14/79 (IQI _{TDS}) - 2/84	R ² = 0/57	P<0/01
MDS	Biological yield	10/22 (IQI _{MDS}) - 0/095	R ² = 0/51	P<0/01
	Grain yield	15/56 (IQI _{MDS}) - 2/82	R ² = 0/53	P<0/01

نتیجه‌گیری کلی

گاهی از چگونگی کیفیت خاک در عرصه‌های کشاورزی برای مدیریت بهینه اراضی و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی امری ضروری است. شاخص کیفیت خاک برای اراضی زراعی منطقه مورد مطالعه که شامل سه رده مالی‌سول‌ها با مساحت ۲۱۱۸۴ هکتار، اینسپتی‌سول‌ها با مساحت ۸۸۷۷/۱ هکتار و ورته‌سول‌ها با مساحت ۷۴۶۲/۹ می‌باشند بر اساس کلاس‌بندی به پنج درجه کیفیت خاک که شامل کلاس خیلی ضعیف V، ضعیف IV، متوسط III، خوب II و خیلی خوب I طبقه‌بندی شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد اکثر ویژگی‌های خاک دارای ضریب تغییرات بالای ۳۵ درصد بودند که نشان‌دهنده‌ی یک تغییرات وسیع در خصوصیات خاک مورد مطالعه به تبعیت از فعالیت‌های مدیریتی و زراعی انسان است. از بین تمام ویژگی‌های تعیین شده خاک‌ها، کربن آلی (PC1)، درصد رس (PC2)، نسبت جذب سدیم (PC3)، آهک کل (PC4) و درصد سیلت (PC5) دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک بوده و بیش‌ترین تأثیر را بر کیفیت خاک اراضی زراعی مورد مطالعه داشتند. ارزیابی کیفیت خاک‌های اراضی زراعی نشان داد وابستگی میزان تأثیرپذیری هر ویژگی در مدل‌های کیفیت خاک (MDS و TDS) به وزن تعیین شده برای آن است و در مجموعه TDS ویژگی‌های آهک کل و درصد رس دارای بالاترین وزن و تخلخل خاک نیز دارای کمترین وزن و کمترین تأثیر در کیفیت خاک بود. در مجموعه MDS نیز ویژگی‌های آهک کل و نسبت جذب سدیم به ترتیب بیش‌ترین و کمترین وزن و تأثیر را روی

همان‌طور که در شکل‌ها ملاحظه می‌شود هر دو مدل‌های IQI_{MDS} و IQI_{TDS} به طور مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه گندم (با یک ضریب تبیین از ۰/۵۳ تا ۰/۵۷) و عملکرد بیولوژیک (با یک ضریب تبیین ۰/۵۱ تا ۰/۵۹) رابطه دارند. این داده‌ها و نتایج با مطالعات مختلفی که در سراسر جهان انجام شده‌است مطابقت و هماهنگی دارد

این روابط نشان می‌دهد که شاخص تجمعی کیفیت خاک ۰/۵۱ تا ۰/۵۷ درصد عملکرد دانه و ۰/۵۳ تا ۰/۵۹ درصد عملکرد بیولوژیکی گندم را توجیه می‌کند که نشان دهنده‌ی تأثیر مثبت و معنی‌دار شاخص کیفیت خاک بر اجزای عملکرد گندم است. همچنین این روابط نشان می‌دهد که مدل IQI_{TDS} نسبت به مدل IQI_{MDS} به علت ضریب اطمینان بیشتر از دقت بیشتری برای پیش‌بینی عملکرد اجزای گندم برخوردار است. با این وجود به علت همبستگی مثبت و معنی‌دار مابین مدل‌های IQI_{TDS} و IQI_{MDS} (شکل ۲)، مدل IQI_{MDS} به عنوان مدل معتبر و اقتصادی (صرف زمان و هزینه‌ی کمتر) برای این منطقه پیشنهاد می‌شود. همچنین شاخص حساسیت (نسبت ماکزیمم به مینیمم شاخص کیفیت خاک) مستو و همکاران (Masto *et al.*, 2008) برای مدل IQI_{MDS} (یک میانگین معادل ۱/۸۳) نسبت به مدل IQI_{TDS} نسبتاً بالاتر (یک میانگین ۱/۸) بود که نشان‌دهنده‌ی حساسیت نسبتاً بیشتر شاخص کیفیت خاک بر مبنای حداقل داده‌ها در مقابل فرآیندهای طبیعی و غیرطبیعی دخیل در خصوصیات خاک است. از این شاخص در مطالعات گوناگون مربوط به کیفیت خاک برای بررسی دقت مدل‌های مختلف شاخص کیفیت خاک استفاده شده‌است که می‌توان به مطالعات (Karkaj *et al.*, 2019; Rezaee *et al.*, 2020; Mamehpour *et al.*, 2021; Yeilagi *et al.*, 2021) اشاره کرد.

در بررسی شاخص کیفیت خاک بر عملکرد دانه و بیولوژیک گندم می‌توان بیان نمود که هر دو مدل‌های IQIMDS و IQITDS به طور مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه گندم و عملکرد بیولوژیک رابطه دارند. برای اعتبار سنجی بیشتر، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده داده‌ها و مدل‌های بدست آمده در این تحقیق در خاک‌ها و شرایطی محیطی متفاوت از این منطقه نیز آزمایش شود.

کیفیت خاک منطقه داشتند. و نتایج بیش‌ترین مقدار IQITDS و IQIMDS در رده‌های خاک بصورت اینسپتی‌سول‌ها < مالی‌سول > ورتی‌سول مشاهده گردید و بین این دو مدل با ضریب تبیین ۰/۹۰ ارتباط معنی‌داری وجود دارد که بیانگر رابطه آماری مناسب و قابل اطمینان مابین آنها است. استفاده از روش IQIMDS بجای IQITDS باعث کاهش معنی‌دار (۷۲ درصدی) زمان آنالیز نمونه‌ها و محاسبه شاخص کیفیت خاک خواهد شد.

References

- Andrews S. S., Karlen D. L., and Mitchell J. P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture ecosystems and environment*, 90(1): 25-45.
- Andrews S. S., Karlen D. L., and Cambardella C. A. 2004. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method.
- Armenise E., Redmile-Gordon M. A., Stellacci A. M., Ciccicarese A., and 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.
- Aparicio V., and Costa J.L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. *Soil and Tillage Research*, 96: 155-165.
- Biswas S., Hazra G. C., Purakayastha T. J., Saha N., Mitran T., Roy S. S., ... and Mandal B. 2017. N., Hartemink A. E., and Brevik E.C. 2014. Soil-forming factors and Soil Taxonomy. *Geoderma*, 226, 231-237.
- Blake GR., Hart age KH, 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Ed. *Agronomy Monograph*, 9: 363-382.
- Brady N.C. and Weil, R.R., 2016. *The nature and properties of soils*. Pearson.
- Jahany M. and Rezapour S. 2020. Assessment of the quality indices of soils irrigated with treated wastewater in a calcareous semi-arid environment. *Ecological Indicators*, 109, p.105800.
- Brejda JJ., Moorman TB., Karlan DL. And Dao TH. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains, *Soil Science Society of America* . 64:2115-2124.
- Bremner J.M. and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen-total. p. 595-624. In: A.L. Page et al., (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Danielson R.E. and Sutherland, P.L. 1986. Porosity. *Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods*, (methodsofsoilan1), 443-461.
- De Paz J. M., Sánchez J., and Visconti F. 2006. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region. *Journal of environmental management*, 79(2): 150-162.
- Dexter A. R. 2004. Soil Physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120(3-4): 201-214.
- Dobermann A., and Oberthür T. 1997. Fuzzy mapping of soil fertility—a case study on irrigated riceland in the Philippines. *Geoderma*, 77(2-4): 317-339.
- Doran J. W. and Parkin T.B. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *Soil Science Society of America*, 49: 25-37.
- Drouineau G. 1942. Dosage rapide du calcaire actif du sol; Nouvelles donnees sur la separation et la nature des fractions calcaires. *Ann. Agron*, 12, pp.441-450.
- Fox G. A., and Metla R. 2005. Soil property analysis using principal components analysis, soil line, and regression models. *Soil Science Society of America Journal*, 69(6), 1782-1788.
- Gee G.W., and Bauder J.M. 1986. Partical-size Analysis. In *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. *Agronomy Monograph No. 9* (2nd Ed), American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp 383-411.
- Govaerts B., Sayre K. D., and 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.
- Jahany M. and Rezapour S. 2020. Assessment of the quality indices of soils irrigated with treated wastewater in a calcareous semi-arid environment. *Ecological Indicators*, 109, p.105800.

- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdal S.L. and Nelson, W.L. 2005. Soil Fertility and Fertilizers an Introduction to Nutrient Management. 7th Ed. 528 P.
- Hazelton P., and Murphy B. 2016. Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?. CSIRO publishing.
- Karkaj E. S., Sepehry A., Barani H., Motamedi J., and Shahbazi F. 2019. Establishing a suitable soil quality index for semi-arid rangeland ecosystems in northwest of Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(3), 648-658.
- Karlen D. L., Tomer M. D., Neppel J., and Cambardella C. A. 2008. A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA. *Soil and Tillage Research*, 99(2), 291-299.
- MATLAB R2015b. 2015. Software for technical computing and model-based design. The Math Works Ins, USA.
- Mamehpour N Rezapour S, Ghaemian N. 2021. Quantitative assessment of soil quality indices for urban croplands in a calcareous-semiarid ecosystem. *Geoderma*, 382:114781
- Masto R. E., Chhonkar P. K., Singh D., and Patra A. K. 2008. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. *Environmental monitoring and assessment*, 136(1), 419-435.
- Mohammadi J., Khademi H., and Nael M. 2005. Study the variability of soil quality in selected ecosystems of central Zagros. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 9(3), 105-120.
- Nabiollahi K., Heshmat E., Mosavi A., Kerry R., Zeraatpisheh M., and Taghizadeh-Mehrjardi R. 2020. Assessing the influence of soil quality on rainfed wheat yield. *Agriculture*, 10(10), 469.
- National Research Council. 1993. Soil and water quality: An agenda for agriculture. National Academies Press.
- Nelson BW and Sommers LE, 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp:539 - 577. In: Page L, Miller RH and Keeney DR (Eds) Methods of Soil Analysis. Part 2. Soil Science Society of America , Madison WI.
- Olsen SR., and Sommers L. 1982. phosphorus. In: AL. Page: Methods of Soil Analysis, Agron. No. 9 Part2: Chemical and Microbiological Properties, (Ed.) Am. Soc.Agron., Madison, WI, USA.: 403- 430.
- Page A.L. Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of Soil Analysis, part2, Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of Aamerica, Madison, WI.
- 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.
- Rezaee L., Moosavi A. A., Davatgar N., and Sepaskhah A. R. 2020. Soil quality indices of paddy soils in Guilan province of northern Iran: Spatial variability and their influential parameters. *Ecological Indicators*, 117, 106566.
- Rezapour S., Nouri A., Jalil H. M., Hawkins S. A., and Lukas S. B. 2021. Influence of treated wastewater irrigation on soil nutritional-chemical attributes using soil quality Index. *Sustainability*, 13(4), 1952.
- Shukla M. K., Lal R., and Ebinger M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 194-204.
- Sparks D.L., Helmke P.A., and Page.A.L.1996. Methods of Soil Analysis: Chemical Methods (No. 631.417/S736 V.3).
- Stevenson B. A., McNeill S., and Hewitt A. E. 2015. Characterising soil quality clusters in relation to land use and soil order in New Zealand: An application of the phenoform concept. *Geoderma*, 239, 135-142.
- Sun B., Zhou S., and 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(1-2), 85-99.
- US Salinity Laboratory. Saturated Soil Paste.1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agr. Handbook 60 .USDA.
- Vasu D., Singh S. K., Ray S. K., Duraisami V. P., Tiwary P., Chandran P., ... and Anantwar S. G. 2016. Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, 282, 70-79.
- Wilding L. P., and Dress L. R. 1983. Application of Geostatistics to Spatial Studies of Soil. *Advances in Agronomy*. Trangmar, BB RS Yost, and G. Uehara (Ed.), 38.
- Yeilagi S., Rezapour S., and Asadzadeh F. 2021. Degradation of soil quality by the waste leachate in a Mediterranean semi-arid ecosystem. *Scientific reports*, 11(1), 1-12.

Determination of Minimum Data Set to Evaluate Soil Quality in Piranshahr Region Wheat Fields

Fatemeh kafe ¹, Mohammad Reza Dalalian ^{2*}, Salar Rezapour ³, Elnaz Sabbaghtazeh ⁴, Omid Rafieyan ⁵

(Received: December , 2021 Accepted: December , 2022)

Abstract

Evaluating and determining the minimum data set to evaluate soil quality is very important, valuable in terms of cost, and time save. The aims of this study were to assess the quality index of soils under successive, and long-term cultivation of wheat by a valid model (Integrated quality index= IQI), determine the minimum data set to evaluate the quality of soils in this region, and evaluate the relationship between soil quality index and wheat yield components. For these purposes, 18 physical, chemical, and fertility properties of the surface soil belonging to 40 soil profiles were determined in the croplands from Piranshahr region of West Azerbaijan province. The soils were classified in the three order of Mollisols, Inceptisols, and Vertisols. Total variables affecting soil quality (TDS) were determined, and minimum effective data (MDS) were estimated using principal component analysis (PCA). The soil quality index was divided into five classes according to the growth of the plant using the interpolation technique. Based on the results of PCA, five properties of organic carbon, clay, sodium adsorption ratio, calcium carbonate equivalent and silt had a specific value greater than one and were selected as MDS indicators. The highest values of IQI_{TDS} , and IQI_{MDS} were observed in the Inceptisols, followed by Mollisols and Vertisols, respectively. A significant relationship ($p < 0.05$) was found between wheat yield components (grain yield, and biological yield of wheat) with IQI_{TDS} and IQI_{MDS} models, which showed a positive, and significant effect of soil quality index on wheat yield components. Moreover, the IQI_{TDS} model was more accurate than the IQI_{MDS} model in predicting the performance of wheat components due to its higher R^2 . However, due to the positive, and significant correlation between IQI_{TDS} and IQI_{MDS} ($R^2 = 0.9$), the IQI_{MDS} model is an economic and better model for evaluating the quality of soils in the region.

Keywords: Soil Quality Index, Total Data Set, Minimum Data Set, Grain Yield, Biological Yield

Kafe F., Dalalian M., Rezapour S., Sabbaghtazeh E. and Rafieyan O. 2024. Determining the minimum data set to evaluate soil quality in Piranshahr Region wheat fields. *Applied Soil Research*. 11(4): 30-42.

1. Ph.D. Student of Department of Soil Science, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
 2. Assistant Professor, Department of Soil Science, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
 3. Associate Professor, Soil Science Department, Urmia University, P.O. Box 165, Urmia 57134, Iran
 4. Assistant Professor, Department of Soil Science, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
 5. Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
- * Corresponding Author Email: mdalalian@iaut.ac.ir