نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۶۶-۲۵۱

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 251-266

مقاله پژوهشی

تعیین مؤثرترین ویژگی‌ها به منظور ارزیابی کیفیت خاک در اراضی کشاورزی دشت محمدشهر کرج

کورش کمالی[1*]- غلامرضا زهتابیان[2]- طیبه مصباح‌زاده[3]- محمود عرب‌خدری[4]- حسین شهاب آرخازلو[5]- علیرضا مقدم نیا[6]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶

چکیده

کیفیت خاک شاخصی ضروری برای مدیریت پایدار اراضی است که به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بستگی دارد. بسیاری از محققین ارزیابی کیفیت خاک را بر معدودی از ویژگی‌ها متمرکز کرده‌اند. در این تحقیق به منظور ارزیابی و انتخاب ویژگی‌های موثر در کیفیت خاکِ اراضی کشاورزی دشت محمدشهر کرج با مدیریت‌های مختلف آبیاری، از شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI) استفاده شد. با حفر و تشریح ۱۲خاکرخ در چهار مزرعه و باغ و نمونه‌برداری از افق‌های سطحی و متوسط عمقی، ۱۶ویژگی مؤثر در کیفیت خاک تعیین و شاخص‌های یاد شده محاسبه گردیدند. بررسی شاخص‌های IQI و NQI نشان داد که خاک‌های این منطقه در نمونه‌های سطحی عمدتاً دارای درجه کیفیت III و در نمونه‌های متوسط عمقی به دلیل عدم تکامل پروفیلی، کربن آلی پایین و سنگریزه بالا دارای درجه کیفیت IV با محدودیت زیاد هستند. بیشترین و کمترین میانگین شاخص کیفیت خاک لایه سطحی به‌ترتیب به مزرعه یونجه (آبیاری بارانی) با ۰/۶۴ و مزرعه گندم (آبیاری بارانی) با ۰/۵۸ اختصاص یافت. تأثیر مدیریت آبیاری بر شاخص‌های کیفیت خاک نشان داد که نوع سامانه آبیاری نتوانسته است تفاوت معنی‌داری در کیفیت خاک ایجاد نماید. به‌طوری‌که در مزرعه گندم با آبیاری‌های بارانی و غرقابی، تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های کیفیت خاک مشاهده نشد. شاخص IQI در مجموعه کل داده‌ها نسبت به شاخص NQI دارای دقت و حساسیت بیشتری برای ارزیابی کیفیت خاک بود؛ لیکن بررسی ضرایب تبیین، قابل اطمینان بودن استفاده از مجموعه حداقل داده‌ها به جای مجموعه کل داده‌ها در هر دو مدل IQI و NQI را نشان داد. در مجموعه حداقل داده‌ها ویژگی‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد سنگریزه دارای وزن بالاتری به ترتیب در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی بودند. استفاده از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک اثر تکرارپذیری حاصل از ویژگی‌های با همبستگی مشابه را کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، سامانه‌های آبیاری، شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نمرو

مقدمه

کیفیت خاک بیانگر ظرفیت نوع مشخصی از خاک برای کاربرد آن در زیست بوم‌های طبیعی یا مدیریت شده برای تولیدات پایدار گیاهی و حیوانی، حفظ یا ارتقاء کیفیت آب و هوا و حمایت از سلامت و مسکن است (۲۱، ۲۰ و ۲). شاخص کیفیت مطلوب خاک، شاخصی است که بیانگر حداقل یک عملکرد خاک بوده، به مدیریت خاک حساس و به راحتی قابل اندازه‌گیری باشد (۳). باریوس و همکاران (۵)

۱- دانش‌آموخته دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران و مربی پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
(*- نویسنده مسئول: Email: kamali_kourosh@yahoo.com)
۲، ۳ و ۶- به‌ترتیب استاد و دانشیاران گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۴- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۵- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

DOI: 10.22067/jsw.2021.15005.0

با استفاده از تعریف دوران و پارکین (۷) معتقدند کیفیت خاک عبارت است از "ظرفیت خاک به صورت تابعی از محدودیت‌های اکوسیستم و کاربری اراضی به منظور حفظ باروری بیولوژیکی و کیفیت زیست محیطی و افزایش رشد گیاه، حیوان و سلامت انسان." ارزیابی کیفیت خاک از طریق اندازه‌گیری برخی از خصوصیات خاک که به عنوان شاخص‌های کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شوند، صورت می‌پذیرد (۲۷). محدودیت منابع آب و خاک سبب شده که استفاده بهینه از اراضی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد؛ دسترسی به این بهینه‌سازی، تنها با اعمال برنامه‌ریزی اصولی و مدیریت صحیح امکان‌پذیر است. در این میان مدیریت صحیح آب و آبیاری نقش موثری در کیفیت خاک و توسعه پایدار کشاورزی دارد (۲۴).

در مطالعات تعیین کیفیت خاک هر کدام از شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، اما همیشه یک مجموعه کامل از داده‌ها در تجزیه و تحلیل‌ها به‌کار نمی‌رود، زیرا زمانی که تعداد زیادی متغیر را اندازه می‌گیریم، علاوه بر اینکه یکسری مشکلات عملی به‌وجود می‌آید، تعداد روابط نیز بیش از حد تصور خواهد بود. لذا نیاز به تکنیک‌هایی است که تعداد داده‌ها را کاهش دهد (۸، ۴۴ و ۱۰). تجزیه به مؤلفه‌های اصلی[1] (PCA) از جمله این روش‌ها می‌باشد. هدف اصلی این روش کاهش تعداد متغیرها به یک مجموعه کوچک‌تر است به نحوی که این مجموعه کوچک بیشتر تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه کند و اطلاعات موجود در متغیرها نیز حفظ شود (۱۸).

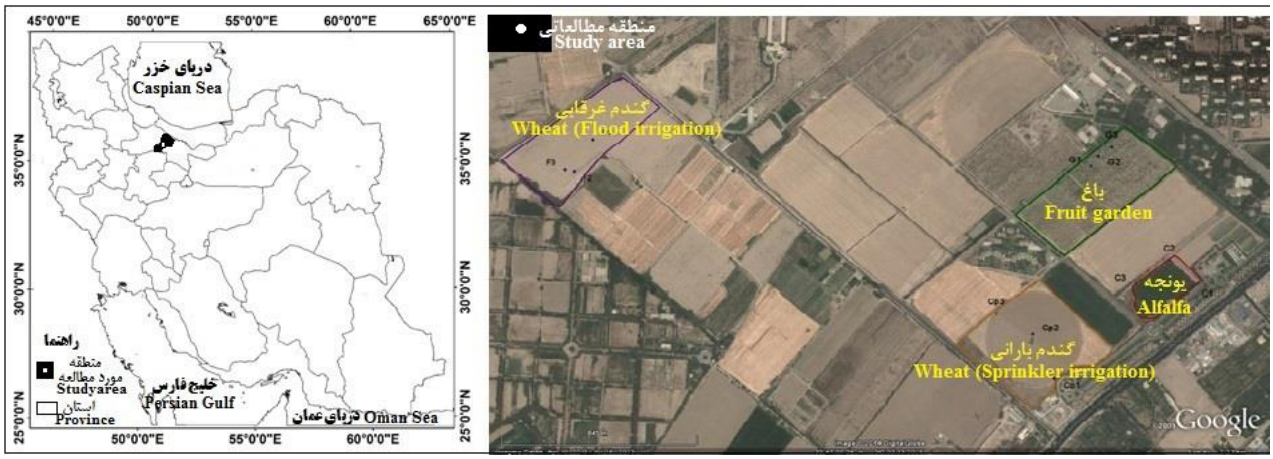
تجزیه مؤلفه‌های اصلی توسط محققان مختلف در توصیف تغییرپذیری ویژگی‌های خاک به‌کار رفته است. یاو و همکاران (۴۳) با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تغییرپذیری مکانی ۱۷ ویژگی خاک را مورد بررسی قرار دادند و از بین آنها پنج ویژگی کلر، سدیم، پتاسیم، قابلیت هدایت الکتریکی و مواد آلی را به عنوان مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر بر کیفیت خاک در اراضی کشاورزی مناطق شور کشور چین اعلام کردند. ژاو و همکاران (۱۵) کیفیت خاک را بر مبنای چهار روش کیفیت خاک تجمعی خطی و غیرخطی در دو دسته مجموعه کل داده‌ها[2] (TDS) و دسته حداقل داده‌ها[3] (MDS) بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در هر دو مدل شاخص کیفیت تجمعی و نمرو روش خطی از روش غیرخطی مناسب‌تر بود. حداقل شاخص‌های مؤثر برای تعیین کیفیت خاک در حوزه آبخیز دریاچه چغاخور توسط محقّق و همکاران (۲۶) تعیین شد.

گرجی و همکاران (۱۳) شاخص‌ها و روش‌های انتخاب ویژگی‌های مؤثر برای ارزیابی کیفیت خاک را در کاربری‌های مختلف مورد مقایسه قرار دادند. با انتخاب ۱۷ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در پنج کاربری و سه کلاس شیب به عنوان TDS، با استفاده از روش PCA هفت ویژگی به عنوان MDS انتخاب شدند. با استفاده از شاخص کیفیت تجمعی[4] (IQI) و شاخص کیفیت نمرو[5] (NQI) در این دو مجموعه داده، کیفیت خاک ارزیابی شد. نتایج نشان داد که کاربری‌های باغ و مرتع به ترتیب بیشترین مقدار شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو را داشتند اما کاربری‌های زراعت آبی، زراعت دیم و اراضی رها شده دارای کمترین کیفیت خاک بودند و تفاوت معنی‌داری با دو کاربری باغ و مرتع داشتند. ضریب تبیین بین دو مجموعه داده برای شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو بیانگر قابل اطمینان بودن استفاده از MDS به جای TDS و همچنین کارایی بهتر شاخص کیفیت تجمعی برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه بود. نتایج مطالعات آذرنشان و همکاران (۴) به منظور تعیین بهترین روش ارزیابی کیفیت خاک در اراضی خشک و نیمه خشک دشت قزوین نشان داد که روش IQI_{TDS} بیشترین همبستگی را در منطقه با میزان عملکرد دارد؛ به‌طوری‌که برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در قزوین مدل IQI_{TDS} مناسب‌تر عمل نمود. همچنین روش IQI_{TDS} بیشترین میزان همبستگی را با IQI_{MDS} (R^2=۷۷/۹) نشان داد.

ارزیابی کیفیت خاک توسط نوری و همکاران (۳۰) نشان داد که مدل‌های کیفیت خاک IQI و NQI در مجموعه‌های TDS و MDS برای ارزیابی کمّی کیفیت خاک از کارآیی بالایی برخوردار بودند. با وجود این که در این تحقیق نتایج مشابهی از هر دو مدل ارزیابی کیفیت خاک به دست آمد، اما مدل IQI_{TDS} عملکرد مناسب‌تری ارائه نمود. ضریب تبیین (R^2) برای نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی بین دو مجموعه TDS و MDS در دو مدل IQI و NQI نشان‌دهنده قابل اطمینان بودن استفاده از مجموعه MDS به جای TDS در هر دو مدل بود. در واقع کاربرد روش MDS می‌تواند اطلاعات موجود در سایر ویژگی‌ها را به عنوان مجموعه منتخب نشان دهد.

از آنجا که استفاده از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک زمینه صرفه اقتصادی در بحث پایش و بهره‌برداری پایدار از اراضی کشاورزی را فراهم می‌نماید، لذا در پژوهش حاضر مؤثرترین ویژگی‌ها به منظور ارزیابی کیفیت خاک در اراضی کشاورزی دشت محمدشهر کرج با سامانه‌های مختلف آبیاری بررسی شده است. توجه به این موضوع موجب برنامه‌ریزی بهتر و پیشگیری از روند نزولی کیفیت خاک خواهد شد.

1- Principle Component Analysis (PCA)
2- Total Data Set (TDS)
3- Minimum Data Set (MDS)
4- Integrated Quality Index (IQI)
5- Nemero Quality Index (NQI)



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط حفر خاکرخ در اراضی منتخب

Figure 1- Location of study area, selected farms and soil profiles

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه شرقی تا ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه و ۳۲ ثانیه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه و ۵۵ ثانیه شمالی تا ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه و ۱۴ ثانیه شمالی در محوطه معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی واقع در مسیر جاده کرج به محمدشهر قرار گرفته است (شکل ۱). در آبیاری مزارع و باغات این محوطه از سه نوع سامانه آبیاری بارانی، قطره‌ای و غرقابی استفاده می‌شود. نوع کشت در سامانه آبیاری بارانی، گندم و یونجه، در سامانه آبیاری قطره‌ای باغ آلو و در سامانه آبیاری غرقابی گندم است. با اتکا به داده‌های هواشناسی (۱۷)، متوسط درجه حرارت، بارندگی و تبخیر طی یک دوره پنج ساله منتهی به اجرای پژوهش به ترتیب ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد، ۲۸۲/۳ و ۲۰۶۵ میلی‌متر تعیین شد. در محدوده مطالعاتی مزارع و باغات با مدیریت‌های مختلف آبیاری و با سابقه بیش از ۵ سال از زمان اجرا و بهره‌برداری موجود بود. موقعیت خاکرخ‌ها با توجه به قرارگرفتن آن‌ها در شعاع تاثیر سامانه‌های آبیاری بارانی، قطره‌ای و غرقابی و با استفاده از روش تصادفی طبقه‌بندی شده با سه تکرار در هر مزرعه انتخاب گردید. خاکرخ‌ها بر اساس راهنمایی شناسایی خاک (۲۸) تشریح و مشخصات خاکرخ، نوع و نحوه قرار گرفتن افق‌های مختلف خاک تعیین شد. خاکرخ‌ها تا لایه محدودکننده و حداکثر به عمق ۱/۵متر حفر و پس از تشریح، از افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری شد. با توجه به وضعیت سالانه رطوبت در خاک‌ها و بر اساس مقادیر بارش و درجه حرارت متوسط سالانه، رژیم رطوبتی و حرارتی[1] حاکم بر خاک‌های منطقه اجرای پژوهش با استفاده از نرم‌افزار نیوهال[2] به ترتیب زریک[3] و ترمیک[4] تعیین شد. این خاک‌ها با ریخت‌شناسی، شیب و سنگ‌شناسی یکسان در رده خاک‌های بدون تکامل پروفیلی[5] و در تحت گروه Typic xerofluvents طبقه‌بندی گردیدند (۴۰).

به منظور ارزیابی کیفیت خاک، ویژگی‌های بافت خاک[6] به روش هیدرومتری (۱۱)، هدایت الکتریکی[7] عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج (۳۱)، پ‌هاش خاک به روش الکترومتریک با pH متر (۳۱)، آهک به روش تیتراسیون با سود نرمال (۳۱)، نسبت جذب سدیم[8] به روش پیج و همکاران (۳۱)، جرم مخصوص ظاهری[9] به روش استوانه در لایه سطحی و روش مخروط ماسه‌ای با شماره استاندارد آزمایش ASTM- D1556 در لایه‌های زیرسطحی با درصد قابل توجهی سنگ و سنگریزه، درصد کربن آلی[10] به روش والکی- بلاک (۴۲)، شاخص پایداری ساختمان خاک[11] ($SI=\frac{1.724OC}{(Silt+Clay)}*100$) به روش پیری (۳۲)، پتانسیل ماتریک (پتانسیل ماتریک بر حسب سانتی‌متر آب PF= -Log) در مکش‌های ۰، ۰/۱، ۰/۳۳، ۱، ۳، ۵ و ۱۵ بار با استفاده از دستگاه صفحات فشار[12]،

1- Soil Moisture & Temperature Regime

2- New Hall
3- Xeric
4- Thermic
5- Entisols
6- Soil Texture
7- Electrical Conductivity (EC)
8- Sodium Adsorption Ratio (SAR)
9- Bulk Density (BD)
10- Organic Carbon (OC)
11- Structural Index (SI)
12- Pressure Plate

شاخص دکستر یا شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (Sgi) با برنامه نرم‌افزاری RETC و بر اساس طبقه‌بندی دکستر (۶) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها[1] به روش الک تر و با استفاده از چهار الک با قطر ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌متر (۲۲)، اندازه‌گیری شدند. همچنین با استفاده از منحنی رطوبتی خاک ویژگی‌های رطوبت قابل استفاده گیاه[2] از تفاضل رطوبت در مکش‌های ۰/۳۳ بار (FC[3]) و ۱۵ بار (PWP[4])، تخلخل تهویه‌ای[5] از تفاضل رطوبت اشباع و رطوبت در مکش ۰/۱ بار و ظرفیت مزرعه نسبی[6] نیز از حاصل تقسیم رطوبت ظرفیت مزرعه بر رطوبت اشباع استخراج شدند (۳۶).

با توجه به اهمیت کیفیت خاک در پایداری اراضی، در این پژوهش از دو مدل شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI) برای تعیین کیفیت خاک استفاده شده است (۷، ۱۶، ۳۴، ۲۹ و ۲۳). از جمله مزیت شاخص‌های IQI و NQI این است که چون اطلاعات را بر مبنای روش‌های ریاضی با هم ترکیب می‌نمایند در نتیجه منجر به افزایش اطمینان در نتایج نهایی می‌شوند. در این شاخص‌ها مجموعه‌ای از ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک در قالب یک مدل ریاضی با هم ترکیب و به صورت یک کمیت عددی ارائه می‌گردد که این عدد به عنوان یک شاخص کلی کیفیت خاک، منعکس کننده مجموعه‌ی ویژگی‌های مورد نظر می‌باشد (۳۳). هر یک از شاخص‌های IQI و NQI با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های خاک تعیین شدند. مجموعه اول شامل تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک بوده که به عنوان مجموعه کل داده‌ها (TDS) در نظر گرفته شده و مجموعه دوم نیز شامل مهم‌ترین ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک است که مجموعه حداقل داده‌ها (MDS) نامیده شدند (۳۳). برای گزینش مجموعه MDS، از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد (۷). روش PCA از میان کل ویژگی‌های مورد بررسی خاک، ویژگی‌هایی که بیشترین تاثیر را بر کیفیت خاک منطقه دارند انتخاب می‌کند (۳۳). به این صورت که داده‌ها در چندین مؤلفه (PC) دسته‌بندی شده و فقط مؤلفه‌هایی که ارزش ویژه بالاتر از یک داشتند برای قرار گرفتن در دسته حداقل داده‌ها انتخاب شدند (۱ و ۱۴). هر یک از مؤلفه‌ها، ویژگی‌هایی که دارای کمتر از ۱۰ درصد اختلاف با بیشترین مقدار وزن موجود در هر ویژگی بود، برای دسته حداقل داده‌ها گزینش شدند. برای محاسبه IQI و NQI لازم است ویژگی‌های خاک امتیازدهی شوند (۳۳). با توجه به آن که واحد سنجش ویژگی‌های مورد بررسی متفاوت هستند، برای ارائه آنها در قالب یک مقدار کلی واحد سنجش حذف شده که برای این منظور از توابع امتیازدهی استاندارد[7] عضویت فازی استفاده شد (۱۹، ۱، ۲۵ و ۳۹). در این روش برای هر ویژگی خاک، تابعی تعریف می‌شود که با استفاده از آن، مقادیر ویژگی مورد نظر بین صفر (کمترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) و یک (بیشترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) نمره‌دهی گردید. در این روش ویژگی‌های کیفیت خاک به سه دسته هر چه بیشتر بهتر[8] (خصوصیاتی که افزایش آنها موجب بهبود کیفیت خاک می‌گردد مانند کربن آلی)، هر چه کمتر بهتر[9] (خصوصیاتی که افزایش آنها موجب کاهش کیفیت خاک می‌گردد مانند جرم مخصوص ظاهری)، و تابع سطح بهینه[10] (در مورد خصوصیاتی از خاک است که افزایش یا کاهش آنها تا حد معینی موجب بهبود کیفیت خاک شده و افزایش یا کاهش آنها بیش از حد بهینه موجب کاهش کیفیت خاک می‌گردد مانند pH خاک) تقسیم شدند.

وزن دهی به ویژگی‌های مختلف کیفیت خاک نیز با استفاده از محاسبه واریانس مشترک متغیرها صورت گرفت که با استفاده از روش تجزیه عاملی[11] به دست آمد. در این روش از تقسیم واریانس مشترک هر متغیر به واریانس مشترک کل، وزن ویژگی به دست آمد (۳۷ و ۳۸). در نهایت با استفاده از روابط زیر مدل‌های IQI و NQI محاسبه شدند.

$$IQI = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{WiNi} \qquad (۱)$$

که در آن Wi وزن تعلق یافته به هر ویژگی خاک، و Ni نیز مقدار نمره تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی مورد نظر است.

$$NQI = \sqrt{(P^2ave + P^2\min)/2 \times (n-1)/n} \qquad (۲)$$

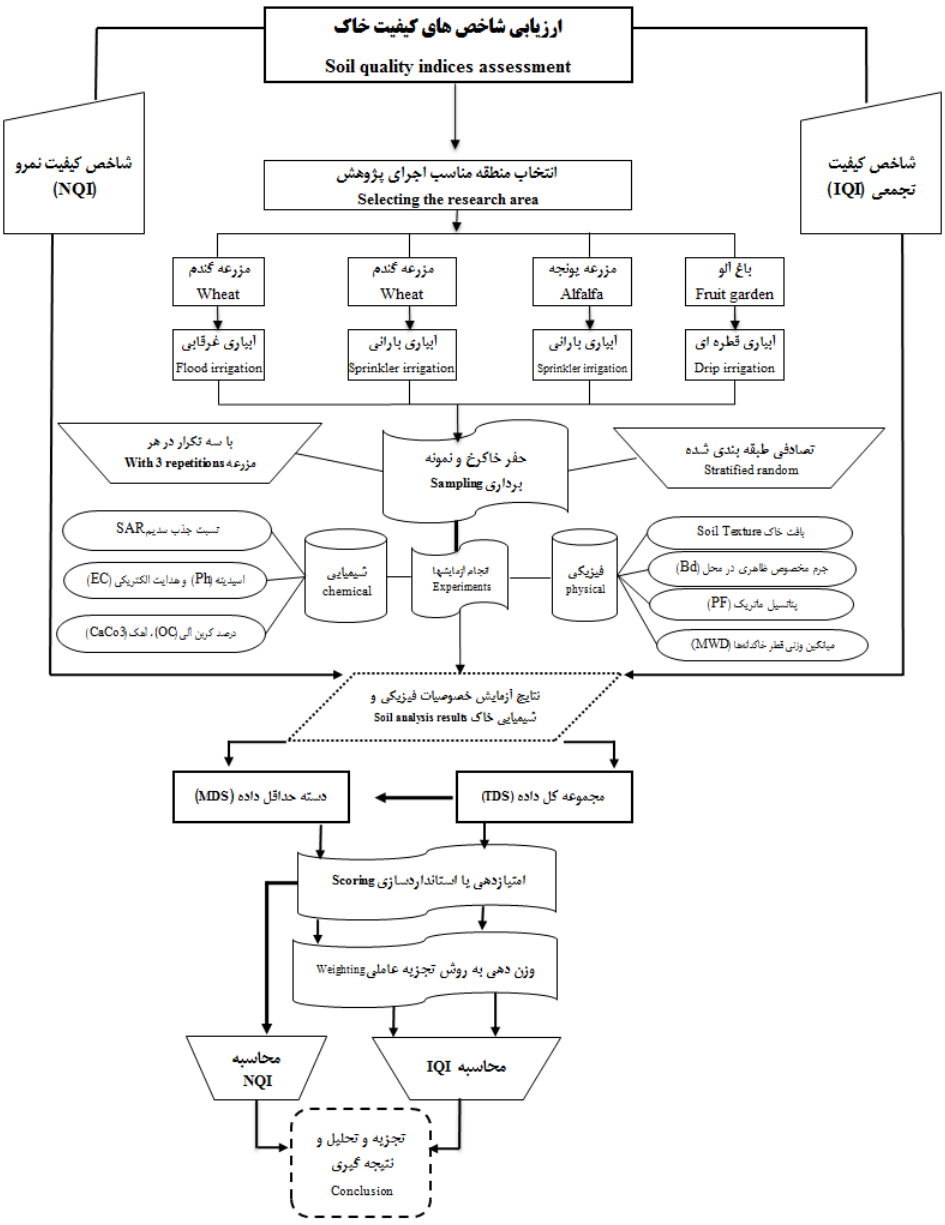
در این معادله pave میانگین نمره تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر نمونه خاک، pmin حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر برای محاسبه شاخص است. در نتیجه در پایان برای هر نمونه خاک، چهار مدل کلی کیفیت خاک شامل IQI_{MDS}، IQI_{TDS}، NQI_{MDS}، NQI_{TDS} محاسبه شد. شکل ۲ مراحل اجرای پژوهش را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی (کل واریانس تبیین شده

1- Mean Weight Diameter (MWD)
2- Plant Available Water Capacity (PAWC)
3- Field Capacity (FC)
4- Permanent Wilting Point (PWP)
5- Air Capacity (AC)
6- Relative Field Capacity (RFC)
7- Standard Scoring Functions (SSF)
8- More is better
9- Less is better
10- Optimum curve
11- Factor Analysis (FA)

ویژگی‌های خاک با عوامل چرخش یافته) در نمونه‌های سطحی را نشان می‌دهد. مطابق این جدول چهار مولفه اصلی دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک می‌باشند. این مولفه‌ها در مجموع بیش از ۸۳ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. در مولفه اول رطوبت قابل استفاده گیاه بیشترین ارزش را به خود اختصاص داد. در مؤلفه دوم ماده آلی و شاخص پایداری ساختمان خاک بیشترین ارزش را داشتند که اختلاف آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد بود. از آنجا که بیش از یک ویژگی در این مؤلفه انتخاب شد، همبستگی بین آن‌ها محاسبه و ویژگی که بیشترین ضریب همبستگی را داشت در دسته حداقل داده‌ها قرار گرفت. لذا ویژگی ماده آلی به عنوان متغیر وابسته‌ی رابطه‌ای که علاوه بر معنی‌داری ($P<0.01$) دارای بیشترین ضریب رگرسیون و بیشترین ضریب تعیین بود، انتخاب شد. در جدول ۲ ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های سطحی آمده است. در مؤلفه سوم ویژگی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و در مولفه چهارم نیز درصد سیلت به دلیل داشتن بیشترین ارزش ویژه انتخاب گردیدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود از بین ۱۶ ویژگی مورد بررسی در TDS، چهار ویژگی رطوبت قابل استفاده گیاه، درصد ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد سیلت به عنوان MDS لایه سطحی خاک انتخاب شدند.



شکل ۲- مراحل اجرای پژوهش

Figure 2- Flowchart of the research

جدول ۱- نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های سطحی

Table 1- Principle Component Analysis results of the topsoils

	مؤلفه یک Component(1)	مؤلفه دو Component(2)	مؤلفه سه Component(3)	مؤلفه چهار Component(4)
ارزش ویژه Eigenvalue	6.504	3.339	2.149	1.304
درصد واریانس Percent of variance	40.651	20.886	13.432	8.148
درصد تجمعی واریانس Cumulative variance percent	40.651	61.517	74.949	83.096
ویژگی‌ها Properties				
AWC	0.905	0.008	-0.058	0.111
Sgi	0.795	0.418	-.242	0.183
EC	0.747	0.180	0.182	-0.001
BD	-0.649	-0.255	0.004	-0.002
Clay	0.589	0.390	0.439	0.251
Gravel	-0.502	-0.331	-0.431	0.269
OC	-0.266	-0.926	-0.150	-0.056
SI	-0.305	-0.898	-0.145	-0.168
SAR	-0.015	0.767	0.618	-0.017
pH	0.440	0.645	-0.408	-0.301
MWD	-0.208	-0.083	0.919	0.139
TNV	0.336	0.418	0.808	0.107
Silt	0.132	-0.134	-0.098	0.898
Sand	-0.520	-0.206	-0.265	-0.749
RFC	0.097	0.274	0.597	0.705
AC	0.505	-0.079	-0.165	-0.671

مطابق جدول ۳ که نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی در لایه‌های متوسط عمقی را نشان می‌دهد، شش مولفه اصلی دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک می‌باشند. این مولفه‌ها در مجموع ۹۲/۲ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. در مولفه اول ماده آلی، شاخص پایداری ساختمان خاک و آهک بیشترین ارزش را داشتند که اختلاف آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد بود. از آنجا که بیش از یک ویژگی در این مؤلفه انتخاب شد، همبستگی بین آن‌ها محاسبه و ویژگی شاخص پایداری ساختمان خاک به عنوان متغیر وابسته‌ی رابطه‌ای که علاوه بر معنی‌داری ($P<0.01$) بیشترین ضریب تعیین ($R2=0.66$) را داشت، در دسته حداقل داده‌ها قرار گرفت. این موضوع برای مولفه‌هایی که بیشتر از یک ویژگی داشتند، مورد توجه قرار گرفت. در مؤلفه دوم درصد شن و در مولفه سوم بین دو ویژگی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف، ویژگی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها انتخاب گردید. در مولفه چهارم تخلخل تهویه‌ای، در مولفه پنجم درصد سنگریزه و در مولفه ششم رطوبت قابل استفاده گیاه بیشترین ارزش را به خود اختصاص دادند. در جدول ۴ ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های متوسط عمقی آمده است.

مقادیر سهم هر ویژگی[1] حاصل از تجزیه عاملی در مجموعه TDS و MDS در نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی در جدول ۵ ارائه شده است. میزان تاثیرگذاری هر ویژگی در مدل‌های کیفیت خاک به وزن اختصاص یافته به آن ویژگی بستگی دارد. به عبارت دیگر ویژگی‌های دارای وزن بالاتر در مجموعه TDS و MDS دارای تاثیر بیشتر بر مدل کیفیت خاک بوده و با کاهش وزن آن، این تاثیر کمتر می‌شود (۱۴). نتایج حاصل از محاسبه وزن در مجموعه TDS نشان داد که ویژگی‌های نسبت جذب سدیم و ماده آلی دارای وزن بالاتری بودند، در حالی که جرم مخصوص ظاهری دارای کمترین تاثیر در کیفیت خاک لایه سطحی منطقه مورد مطالعه بود. در مجموعه‌ی MDS نیز میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دارای وزن بالاتری در لایه سطحی این منطقه است. تخلخل تهویه‌ای، درصد شن و رطوبت قابل استفاده گیاه در مجموعه‌ی TDS، و درصد سنگریزه در مجموعه‌ی MDS بیشترین تاثیر را در کیفیت خاک لایه متوسط عمقی دارند.

1- Communality

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های سطحی

Table 2- Pearson correlation coefficient between variables in surface samples

	AC	AWC	BD	RFC	SI	OC	MWD	Sand	Silt	Clay	Gravel	TNV	SAR	Sgi	EC	pH
AC	1	0.435	-0.199	-.494	0.038	-0.001	-0.268	0.216	-0.449	0.087	-0.210	-0.093	-0.120	0.220	0.194	0.540
AWC		1	-0.454	0.074	-0.361	-0.305	-0.148	-0.585*	0.186	0.631*	-0.251	0.245	-0.070	0.641*	0.651*	0.433
BD			1	-0.213	0.340	0.334	0.220	0.326	0.021	-0.457	0.446	-0.398	-0.168	-0.718**	-0.306	-0.393
RFC				1	-0.446	-0.376	0.588*	-0.789**	0.553	0.595*	-0.195	0.720**	0.587*	0.214	0.177	-0.226
SI					1	0.991**	-0.041	0.527	-0.056	-0.662*	0.463	-0.575	-0.745**	-0.556	-0.429	-0.586*
OC						1	-0.037	0.420	0.045	-0.602*	0.495	-0.572	-0.772**	-0.520	-0.421	-0.621*
MWD							1	-0.236	0.062	0.265	-0.123	0.665*	0.511	-0.463	-0.003	-0.477
Sand								1	-0.670*	-0.781**	0.190	-0.527	-0.306	-0.533	-0.387	-0.042
Silt									1	0.060	0.162	0.009	-0.163	0.228	0.139	-0.195
Clay										1	-0.392	0.701*	0.549	0.525	0.403	0.220
Gravel											1	-0.585*	-0.489	-0.454	-0.618*	-0.220
TNV												1	0.832**	0.298	0.486	0.095
SAR													1	0.178	0.241	0.280
Sgi														1	0.661*	0.626*
EC															1	0.373
pH																1

*معنی‌دار در سطح پنج درصد

*significant at P<0.05

**معنی‌دار در سطح یک درصد

**significant at P<0.01

برای تعیین امتیاز ویژگی‌های خاک از توابع امتیازدهی خطی استفاده شد. شاخص کیفیت تجمعی و نمرو نیز با استفاده از روابط موجود برای داده‌های سطحی و متوسط عمقی در دو مجموعه TDS و MDS محاسبه و نتایج در جدول ۶ ارائه شده است. مطابق طبقه‌بندی کیفیت خاک (جدول ۷) به روش کی و همکاران (۳۳)، IQI_{TDS} و NQI_{TDS} در لایه سطحی مزارع منتخب دارای درجه کیفیت III و در لایه متوسط عمقی دارای درجه کیفیت IV هستند (جدول ۸). همچنین IQI_{MDS} و NQI_{MDS} در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی دارای درجه کیفیت IV می‌باشند.

مقدار ماده آلی و به تبع آن شاخص پایداری ساختمان خاک اثرات تعیین‌کننده‌ای بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مانند چرخه عناصر غذایی، رشد ریشه گیاه، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و افزایش بهره وری آب کشاورزی و .... دارد. همچنین پایین بودن مقدار نسبت جذب سدیم لایه‌های سطحی و متوسط عمقی تمامی مزارع (کمتر از ۲) نقش موثری در درجه کیفیت خاک مزارع داشته است. در لایه‌های متوسط عمقی کم بودن مقدار کربن آلی و شاخص پایداری ساختمان خاک به همراه سایر خصوصیات فیزیکی بیشترین محدودیت را برای کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه داشتند. بطوری‌که میانگین درصد سنگریزه در لایه‌های سطحی بین ۲۰ تا ۳۰ و در لایه‌های متوسط عمقی بین ۴۰ تا ۶۰ درصد می‌باشد. رسوبات مخروط افکنه‌ای و رودخانه‌ای، مواد مادری خاک‌های منطقه را تشکیل داده و نظم چینه‌ای رسوبات و تناوب درشت‌دانه و ریزدانه بیانگر نوع رودخانه‌ای این نهشته‌هاست.

جدول ۳- نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های متوسط عمقی

Table 3- Principle Component Analysis results of the weighting average for the depths

	مؤلفه یک Component(1)	مؤلفه دو Component(2)	مؤلفه سه Component(3)	مؤلفه چهار Component(4)	مؤلفه پنج Component(5)	مؤلفه شش Component(6)
ارزش ویژه Eigenvalue	4.101	3.837	2.9.18	1.567	1.235	1.093
درصد واریانس Percent of variance	25.630	23.948	18.239	9.793	7.719	6.833
درصد تجمعی واریانس Cumulative variance percent	25.630	49.614	67.853	77.646	85.365	92.198
ویژگی‌ها Properties						
SI	0.886	-0.235	0.217	0.078	0.036	-0.154
OC	0.851	0.265	0.140	0.052	-0.223	-0.127
TNV	-0.819	0.002	0.066	0.251	0.247	-0.270
pH	-0.665	0.543	-0.090	-0.179	0.335	0.196
EC	0.545	0.149	-0.323	-0.327	0.332	-0.324
Sand	0.016	-0.965	0.148	-0.066	0.086	-0.147
Silt	0.181	0.856	-0.289	-0.089	-0.132	0.310
Clay	-0.434	0.710	0.233	0.369	0.056	-0.283
MWD	0.164	-0.146	0.929	0.226	0.007	0.099
Sgi	-0.148	0.072	-0.926	-0.237	-0.110	-0.088
SAR	0.222	0.411	-0.573	0.162	0.509	0.250
AC	0.063	0.073	-0.142	-0.978	-0.072	0.022
RFC	0.032	0.273	0.307	0.776	0.103	0.284
Gravel	0.382	0.254	0.043	-0.106	-0.820	-0.118
BD	-0.156	0.028	0.549	0.100	0.727	-0.227
AWC	-0.169	0.287	0.108	0.155	0.031	0.909

جدول ٤- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های متوسط عمقی

Table 4- Pearson correlation coefficient between variables in sublayers (weighting average for the depths)

	AC	AWC	BD	RFC	SI	OC	MWD	Sand	Silt	Clay	Gravel	TNV	SAR	Sgi	EC	pH
AC	1	-0.149	-0.226	-0.782**	-0.083	0.028	-0.350	-0.037	0.227	-0.393	0.200	-0.320	-0.049	0.368	0.356	0.156
AWC		1	-0.093	0.494	-0.312	-0.169	0.145	-0.403	0.436	0.126	-0.155	-0.064	0.244	-0.171	-0.376	0.428
BD			1	0.314	0.017	-0.193	0.457	0.142	-0.331	0.339	-0.580*	0.375	-0.026	-0.526	-0.006	0.235
RFC				1	-0.014	0.028	0.429	-0.271	0.120	0.460	-0.020	0.037	0.131	-0.463	-0.225	0.072
SI					1	0.793**	0.372	0.287	-0.171	-0.392	0.211	-0.635*	-0.035	-0.343	0.333	-0.729**
OC						1	0.230	-0.248	0.353	-0.108	0.508	-0.614*	0.111	-0.205	0.272	-0.558
MWD							1	0.250	-0.344	0.082	0.032	0.003	-0.447	-0.989**	-0.336	-0.304
Sand								1	-0.934**	-0.632*	-0.255	0.016	-0.491	-0.187	-0.052	-0.515
Silt									1	0.314	0.335	-0.263	0.583*	0.302	0.155	0.363
Clay										1	-0.049	0.528	0.041	-0.157	-0.199	0.582*
Gravel											1	-0.556	-0.288	0.042	0.112	-0.383
TNV												1	-0.041	-0.049	-0.454	0.476
SAR													1	0.372	0.322	0.297
Sgi														1	0.275	0.225
EC															1	-0.129
pH																1

**معنی‌دار در سطح یک درصد

**significant at P<0.01

* معنی‌دار در سطح پنج درصد

*significant at P<0.05

جدول ۵- جدول اشتراک ویژگی‌های مورد بررسی با عامل‌های مستخرج (واریانس مشترک) به همراه ضریب وزنی در نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی

Table 5- Table of Communality with extracted agents (common variance) with weight coefficient of surface and weighting average for the depths

ویژگی‌های خاک Soil properties	نمونه‌های سطحی Surface samples				نمونه‌های متوسط عمقی Subsurface samples			
	TDS		MDS		TDS		MDS	
	واریانس مشترک Common variance	ضریب وزنی Weight coefficient	واریانس مشترک Common variance	ضریب وزنی Weight coefficient	واریانس مشترک Common variance	ضریب وزنی Weight coefficient	واریانس مشترک Common variance	ضریب وزنی Weight coefficient
AC	0.739	0.056			0.992	0.067	0.604	0.134
AWC	0.835	0.063	0.747	0.218	0.974	0.066	0.759	0.168
BD	0.486	0.037			0.916	0.062		
RFC	0.938	0.071			0.864	0.059		
SI	0.948	0.071			0.919	0.062	0.725	0.160
OC	0.954	0.072	0.833	0.243	0.882	0.060		
MWD	0.914	0.069	0.937	0.273	0.972	0.066	0.765	0.169
Sand	0.944	0.071			0.987	0.067	0.810	0.179
Silt	0.850	0.064	0.913	0.266	0.970	0.066		
Clay	0.755	0.057			0.967	0.066		
Gravel	0.619	0.047			0.910	0.062	0.857	0.190
TNV	0.952	0.072			0.872	0.059		
SAR	0.972	0.073			0.894	0.061		
Sgi	0.898	0.068			0.960	0.065		
EC	0.624	0.047			0.746	0.051		
pH	0.867	0.065			0.928	0.063		

جدول ٦- مقادیر محاسبه شده شاخص‌های کیفیت خاک در مدل‌های IQI و NQI در دو مجموعه TDS و MDS در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی خاک

Table 6- Calculated values of soil quality indices of IQI and NQI models in TDS and MDS in surface and weighting average for the depths

اراضی و نوع محصول Lands and cultivation type	سامانه آبیاری Irrigation system	IQI_{TDS}		IQI_{MDS}		NQI_{TDS}		NQI_{MDS}	
		لایه سطحی Surface layer	لایه متوسط عمقی Subsurface layer	لایه سطحی Surface layer	لایه متوسط عمقی Subsurface layer	لایه سطحی Surface layer	لایه متوسط عمقی Subsurface layer	لایه سطحی Surface layer	لایه متوسط عمقی Subsurface layer
باغ میوه Fruit garden	قطره‌ای Drip irrigation	0.61	0.56	0.31	0.39	0.42	0.37	0.17	0.28
		0.57	0.48	0.32	0.32	0.39	0.32	0.17	0.22
		0.62	0.50	0.34	0.31	0.43	0.33	0.18	0.24
یونجه Alfalfa	بارانی Sprinkler irrigation (classic)	0.60	0.45	0.42	0.30	0.41	0.30	0.23	0.22
		0.60	0.48	0.42	0.33	0.39	0.32	0.26	0.23
		0.73	0.50	0.58	0.30	0.48	0.33	0.35	0.21
گندم Wheat	بارانی Sprinkler irrigation (center pivot)	0.60	0.53	0.42	0.40	0.40	0.35	0.22	0.26
		0.57	0.47	0.37	0.28	0.39	0.31	0.19	0.22
		0.56	0.47	0.40	0.33	0.38	0.31	0.21	0.27
گندم Wheat	غرقابی Flood irrigation	0.58	0.48	0.39	0.34	0.41	0.32	0.20	0.25
		0.61	0.46	0.43	0.32	0.42	0.30	0.22	0.25
		0.59	0.47	0.41	0.33	0.42	0.31	0.21	0.26

جدول ۷- درجه‌بندی کیفیت خاک در مدل‌های IQI و NQI در دو مجموعه TDS و MDS (۳۳)

Table 7- Soil quality grade for IQI and NQI models based on TDS and MDS (33)

نوع مدل Soil quality index model	روش Indicator method	درجه کیفیت خاک Soil quality grade			
		I	II	III	IV
IQI	TDS	$IQI_{TDS} \geq 0.76$	$0.76 > IQI_{TDS} \geq 0.66$	$0.66 > IQI_{TDS} \geq 0.56$	$0.56 > IQI_{TDS}$
	MDS	$IQI_{MDS} \geq 0.78$	$0.78 > IQI_{MDS} \geq 0.68$	$0.68 > IQI_{MDS} \geq 0.58$	$0.58 > IQI_{MDS}$
NQI	TDS	$NQI_{TDS} \geq 0.55$	$0.55 > NQI_{TDS} \geq 0.45$	$0.45 > NQI_{TDS} \geq 0.35$	$0.35 > NQI_{TDS}$
	MDS	$NQI_{MDS} \geq 0.80$	$0.80 > NQI_{MDS} \geq 0.70$	$0.70 > NQI_{MDS} \geq 0.60$	$0.60 > NQI_{MDS}$

جدول ۸- مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت خاک و درجه بندی آن

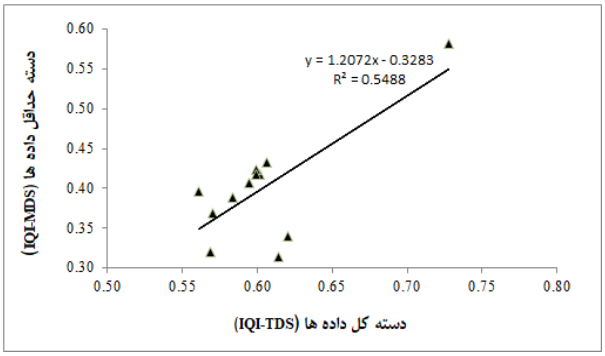
Table 8- Average values and classification of soil quality indices

اراضی Lands (Cultivation type)	سامانه آبیاری Irrigation system	IQI_{TDS}		IQI_{MDS}		NQI_{TDS}		NQI_{MDS}	
		سطحی Surface	متوسط عمقی Subsurface	سطحی Surface	متوسط عمقی Subsurface	سطحی Surface	متوسط عمقی Subsurface	سطحی Surface	متوسط عمقی Subsurface
باغ Fruit garden	قطره‌ای Drip irrigation	0.60 (III)	0.51 (IV)	0.32 (IV)	0.34 (IV)	0.41 (III)	0.34 (IV)	0.17 (IV)	0.24 (IV)
یونجه Alfalfa	بارانی Sprinkler irrigation (classic)	0.64 (III)	0.48 (IV)	0.47 (IV)	0.31 (IV)	0.43 (III)	0.32 (IV)	0.28 (IV)	0.22 (IV)
گندم Wheat	بارانی Sprinkler irrigation (center pivot)	0.58 (III)	0.51 (IV)	0.39 (IV)	0.34 (IV)	0.39 (III)	0.33 (IV)	0.21 (IV)	0.25 (IV)
گندم Wheat	غرقابی Flood irrigation	0.59 (III)	0.47 (IV)	0.41 (IV)	0.33 (IV)	0.42 (III)	0.31 (IV)	0.21 (IV)	0.25 (IV)

همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل و حداقل داده‌ها

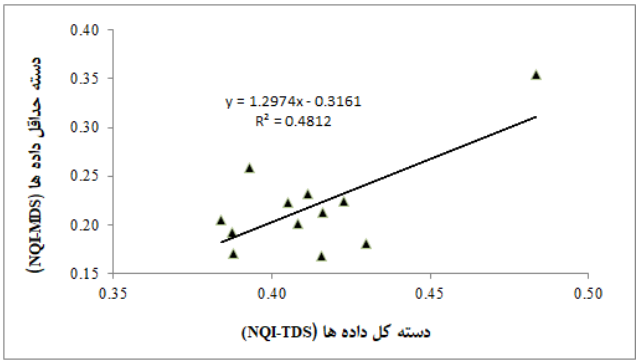
بررسی همبستگی خطی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل و حداقل داده‌ها نشان داد که شاخص IQI ضریب همبستگی بالاتری نسبت به شاخص NQI در نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی دارد (شکل‌های ۳ الی ۶). استفاده از شاخص IQI نتایج بهتری نسبت به شاخص کیفیت نمرو می‌دهد. محققین مختلف نیز از شاخص IQI برای ارزیابی کمّی کیفیت خاک استفاده کردند (۳۵ و ۱۲). 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 (۳۳). به عبارت دیگر شاخص IQI در مجموعه TDS دارای دقت و حساسیت بیشتری برای ارزیابی کیفیت خاک بود که این امر را می‌توان به ویژگی‌های بیشتر در محاسبه این شاخص نسبت داد. در شاخص IQI هم وزن ویژگی‌ها و هم امتیاز آن‌ها اثرگذار است در صورتی که در شاخص NQI تنها امتیاز ویژگی‌ها در نظر گرفته می‌شود.

از سوی دیگر ضریب تبیین بین دو مجموعه TDS و MDS برای نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی در مدل IQI به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۵۶ درصد و در مدل NQI به ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۱۶ درصد بود. این ضرایب نشان می‌دهند که با اطمینان ۰/۵۵ در مدل IQI و ۰/۴۸ در مدل NQI می‌توان از مجموعه MDS به جای مجموعه TDS برای نمونه‌های سطحی استفاده نمود. این کار علاوه بر صرفه‌جویی در زمان موجب کاهش هزینه در انجام مطالعات می‌شود. در واقع به رغم آن که روش انتخاب معیار TDS تمامی پارامترهای خاک را لحاظ نموده و در نتیجه نتایج بسیار قابل قبولی را ارائه می‌نماید، لیکن برای اینکه یک روش در پژوهشی استاندارد شده و نتیجه‌گیری را تسهیل نماید؛ روش انتخاب معیار MDS مناسب‌تر از روش TDS پیشنهاد می‌شود؛ زیرا ضمن بهره‌گیری از ویژگی‌های کمتر، نتایجی مشابه روش TDS را نشان می‌دهد. ذکر این نکته ضروری است یک روش استاندارد باید سریع، قابل اطمینان و از نظر اقتصادی منعطف باشد. در واقع کاربرد روش MDS و بهره‌گیری از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک، ضمن کاهش زمان انجام مطالعات، زمینه صرفه اقتصادی در بحث پایش و بهره‌برداری پایدار از اراضی کشاورزی را فراهم می‌نماید (۱۳، ۴، ۳۰ و ۳۳).



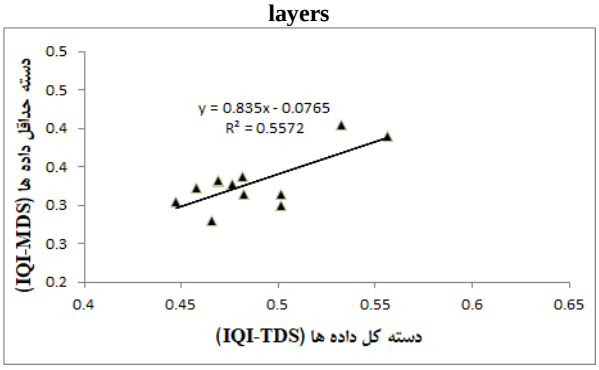
شکل ۳- رابطه خطی IQI_{TDS}-IQI_{MDS} در نمونه‌های سطحی

Figure 3- IQI_{TDS}-IQI_{MDS} linear relationship for surface layers



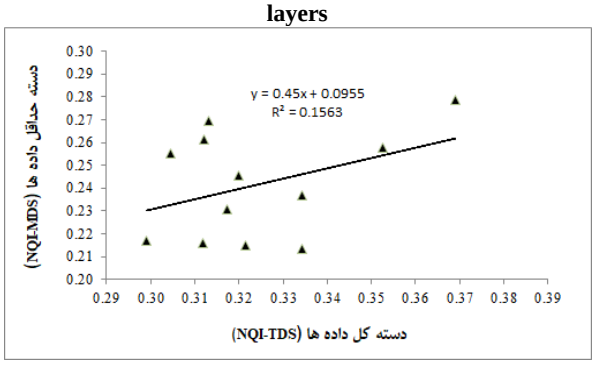
شکل ٤- رابطه خطی NQI_{TDS}-NQI_{MDS} در نمونه‌های سطحی

Figure 4- NQI_{TDS}-NQI_{MDS} linear relationship for surface layers



شکل ٥- رابطه خطی IQI_{TDS}-IQI_{MDS} در نمونه‌های متوسط عمقی

Figure 5- IQI_{TDS}-IQI_{MDS} linear relationship for weighting average for the depths



شکل ٦- رابطه خطی NQI_{TDS}-NQI_{MDS} در نمونه‌های متوسط عمقی

Figure 6- NQI_{TDS}-NQI_{MDS} linear relationship for weighting average for the depths

بررسی تاثیر مدیریت آبیاری و الگوی کشت (نوع کاربری) بر شاخص‌های کیفیت خاک

نتایج تجزیه واریانس یک طرفه در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی مزارع منتخب نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص IQI_{TDS} و NQI_{TDS} و همچنین میانگین شاخص‌های IQI_{MDS} و NQI_{MDS} اراضی مختلف وجود ندارد. به عبارت دیگر مدیریت آبیاری و نوع کاربری، نتوانسته است تفاوتی در شاخص‌های کیفیت خاک منطقه مطالعاتی ایجاد کند. عدم تفاوت قابل توجه در مقادیر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کیفیت یکسان آب آبیاری مزارع (تیپ آب آبیاری در تمامی سامانه‌های آبیاری بیکربناته و رخساره آب کلسیک با EC کمتر از یک دسی‌زیمنس بر متر)، تاثیر مستقیمی در عدم اختلاف بین میانگین‌های شاخص کیفیت خاک این اراضی داشت. لیکن بررسی جدول ۹، مقدار کمّی شاخص کیفیت خاک در لایه سطحی مزرعه یونجه را بیشتر از سایر اراضی نشان می‌دهد. وجود ماده آلی در این اراضی و تاثیر آن در دیگر ویژگی‌های خاک دلیل عمده این تفاوت است. تحقیقات وحدت‌خواه و همکاران (۴۱) و فلاح‌زاده و حاج‌عباسی (۹) به نقش مواد آلی و پتانسیل بالای ترسیب کربن در زمین‌های زیر کشت یونجه در افزایش کیفیت خاک اشاره دارند. میانگین ماده آلی در لایه سطحی مزرعه یونجه، باغ، مزرعه گندم با آبیاری بارانی و مزرعه گندم با آبیاری غرقابی به ترتیب ۱/۴۳، ۰/۹۸، ۰/۷۷ و ۰/۴۸ درصد است.

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی منطقه مطالعاتی اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص IQI_{TDS} و NQI_{TDS} و میانگین شاخص‌های IQI_{MDS} و NQI_{MDS} اراضی مختلف نشان نداد. نتایج ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک از طریق تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تعیین سهم هر ویژگی حاصل از آنالیز تجزیه عامل در دو مجموعه TDS و MDS نشان داد که در مجموعه TDS ویژگی‌های کربن آلی و نسبت جذب سدیم و در مجموعه‌ی MDS، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دارای وزن بالاتری در لایه سطحی اراضی این منطقه هستند. تخلخل تهویه‌ای و درصد شن در مجموعه‌ی TDS، و درصد سنگریزه در مجموعه‌ی MDS بیشترین تاثیر را در کیفیت خاک لایه متوسط عمقی داشتند. استفاده از

مدل‌های IQI و NQI دارای مزیت‌هایی نسبت به سایر شاخص‌ها می‌باشد؛ به‌طوری‌که محققان، مدیران خاک و همچنین کشاورزان هر دو نوع شاخص را به راحتی درک می‌کنند، هر دو شاخص اطلاعات را بر اساس روش‌های ریاضی ترکیب می‌نمایند که منجر به افزایش اطمینان داده‌ها می‌شود و هر دو شاخص می‌توانند زمینه‌ای را برای برنامه‌ریزی سایر تحقیقات کشاورزی فراهم نمایند. بررسی همبستگی خطی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل داده‌ها و دسته حداقل داده‌ها نشان داد که شاخص IQI ضریب همبستگی نزدیک نسبت به شاخص NQI در نمونه‌های سطحی دارد. در نمونه‌های متوسط عمقی نیز شاخص IQI ضریب همبستگی بالاتری نسبت به شاخص NQI دارد. در مجموع می‌توان گفت که در مناطق مطالعاتی شاخص IQI برای محاسبه کیفیت خاک مناسب‌تر عمل نموده و نتایج بهتری نسبت به شاخص NQI داشته است. زیرا در شاخص IQI هم وزن ویژگی‌ها و هم امتیاز آنها اثرگذار است در صورتی که در شاخص NQI تنها امتیاز ویژگی‌ها در نظر گرفته می‌شود. بررسی ضریب تبیین (R^2) برای نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی بین دو مجموعه TDS و MDS در دو مدل IQI و NQI نشان‌دهنده قابل اطمینان بودن استفاده از مجموعه MDS به جای TDS در لایه سطحی می‌باشد. بنابراین استفاده از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک علاوه بر صرفه‌جویی در زمان، موجب کاهش هزینه در انجام مطالعات شده و اثر تکرارپذیری حاصل از ویژگی‌های با همبستگی مشابه را کاهش می‌دهد.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی خاتمه یافته با کد ۹۴۰۰۳-۹۴۵۳-۲۹-۲۹-۰۱۴ در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری می‌باشد که با حمایت مالی معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی اجرا شده است. لذا نگارندگان مقاله سپاسگزاری خود را از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی اعلام می‌دارند.

فهرست اختصارات مهم استفاده شده در این مقاله

معادل فارسی	معادل انگلیسی	علامت اختصاری	معادل فارسی	معادل انگلیسی	علامت اختصاری
رطوبت قابل استفاده گیاه	Plant Available Water Capacity	PAWC	تخلخل تهویه‌ای	Air Capacity	AC
پهاش	Power of Hydrogen	pH	جرم مخصوص ظاهری	Bulk Density	BD
ظرفیت زراعی نسبی	Relative Field Capacity	RFC	هدایت الکتریکی	Electrical Conductivity	EC
نسبت جذب سدیم	Sodium Adsorption Ratio	SAR	عاملی تجزیه	Factor Analysis	FA
شاخص پایداری ساختمان خاک	Structural Index	SI	شاخص کیفیت تجمعی	Integrated Quality Index	IQI
استاندارد توابع امتیازدهی	Standard Scoring Functions	SSF	مجموعه حداقل داده‌ها	Minimum Data Set	MDS
مجموعه کل داده‌ها	Total Data Set	TDS	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	Mean Weight Diameter	MWD
حجم کل مواد خنثی شونده	Total Neutralizing Value	TNV	شاخص کیفیت نمرو	Nemero Quality Index	NQI
ظرفیت نگهداری آب	Water Holding Capacity	WHC	کربن آلی	Organic Carbon	OC

منابع

1- Andrews S.S., Flora C.B., and Mitchell J.P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in northern California, Agriculture, Ecosystems and Environment 90: 25-45.
2- Andrews S.S., Karlen D.L., and Cambardella C.A. 2004. The soil management assessment framework. Soil Science Society of America Journal 68(6): 1945-1962.
3- Armenise E., Redmile-Gordon M.A., Stellacci A.M., Ciccarese 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.
4- Azarneshan S., Khormali F., Sarmadian F., Kiani F., and Eftekhari K. 2018. Soil quality evaluation of semi-arid and arid lands in Qazvin Plain, Iran, Journal of Water and Soil 32(2): 359-374. (In Persian with English abstract)
5- Barrios E., Delve R.J., Bekunda M., Mowo J., Agunda J., Ramisd J., Trejo M.T., and Thomas R.J. 2006. Indicators of soil quality: A south-south development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. Geoderma 135: 248-259.
6- Dexter A. 2004. Soil physical quality, Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about Stheory. Geoderma 120: 227-239.

7- Doran J.W., and Parkin B.T. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., and et al.(Eds.), Defining soil quality for a sustainable Environment. Soil Science Society of American, Inc., Madison, WI, USA, pp. 3-21. Special Publication. Number 35.
8- Emami H., Neyshabouri M.R., and Shorafa M. 2012. Relationships between some soil quality indicators in different agricultural soils from Varamin, Iran. Agriculture Science and Technology 14: 951-959. (In Persian with English abstract)
9- Fallahzade J., and Hajabbasi M.A. 2011. Changes in Soil Quality Indicators by Reclamation of Salt–Affected Land in Abarkooh Plain, Central Iran, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 15(55): 139-150. (In Persian with English abstract)
10- Fox G.A., and Metla R. 2005. Soil property analysis using principle component analysis, soil line and regression models. Soil Science Society and American Journal 69: 1782-1788.
11- Gee G.W., and Bauder J.M. 1986. Partical-size analysis. Pp 383-411. In: Page, A. L., and et al (Eds), Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monogroph No. 9 (2nd edition), American Society of Agronomy, Madison, WI.
12- Ghahramanpoor R., Gorji M., Pourbabaee A.A., and Farahbakhsh M. 2018. Investigating the Effects of Conservation and Reduced Tillage Systems on Soil Quality Indices, Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR) 49(6): 1355-1364. (In Persian with English abstract)
13- Gorji M., Kakeh J., and AliMohammadi A. 2017. Quantitative soil quality assessment in different land uses at some Parts of south eastern of Qazvin, Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR) 48(5): 941-950. (In Persian with English abstract)
14- 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: 163–174.
15- Guo L., Sun Z., Ouyang Z., Han D., and Li F. 2017. A comparison of soil quality evaluation methods for Fluvisol along the lower Yellow River. Catena 152: 135-143.
16- Han W.J., and Wu Q.T. 1994. A primary approach on the quantitative assessment of soil quality. Chinese Journal of Soil Science 25: 245–247.
17- Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO). 2018. Meteorological Administration of Alborz province, Summary of statistics of Alborz province's meteorological station. (In Persian)
18- Jiang P., and Telen K.D. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north central cornsoybean cropping system. Agronomy Journal 96: 252-258.
19- Karlen D.L., and Scott D.E. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment, (definingsoilqua), 53-72.
20- Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., and 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.
21- Karlen D.L., Andrews S.S., and Doran J.W. 2001. Soil quality: current concepts and Lal, R, forest soils and carbon sequestration, Forest Ecology and Management 13: 317-333.
22- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part a: Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI:425–442.
23- Koohafkan P., Lantieri D., and Nachtergaele F. 2003. Land Degradation Assessment in Drylands (LADA): Guidelines for a Methodological Approach. Land and Water Development Division, FAO, Rome.
24- Kouchaki A., Hasheminia S.M., and Ghahraman N. 1997. Salt water utilization in sustainable agriculture, Mashhad University Jihad, 236p. (In Persian)
25- Liu Z., Zhou W., Shen J., Li S., He P., and Liang G. 2014. Soil quality assessment of Albic soils with different productivities for eastern China. Soil and Tillage Research 140: 74-81.
26- Mohaghegh P., Naderi M., and Mohammadi J. 2016. Determination of Minimum Data Set for Assessment of Soil Quality: A Case Study in Choghakhur Lake Basin, Journal of Water and Soil 30(4): 1232-1243. (In Persian with English abstract)
27- Mohammadi J., Khademi H., and Nael M. 2005. Study the variability of soil quality in selected ecosystems of Centeral Zagros. J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resourses, Isfahan University of Technology 9(3): 105-120. (In Persian with English abstract)
28- Motaghi M.M. 1998. Soil Survey Manual, Agricultural Research, Education and Extension Organization. (In Persian)
29- Mukherjee A., and Lal R. 2014. Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods. PLoS ONE 9(8): e105981. doi:10.1371/journal.pone.0105981.
30- Nori N., Rostaminia M., Keshavarzi A., and Rahmani A. 2019. Quantitative Evaluation and Zoning of Spatial Distribution of Soil Quality Index in Some Parts of Arid and Semi-Arid Lands of Western Iran (Case Study: Kane Sorkh Region, Ilam Province), Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR) 50(7): 1701-1719. (In Persian

with English abstract)
31- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part2- Chemical and Microbiological methods. Seconds edition. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA.
32- Pieri C.J.M.G. 1992. Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
33- 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.
34- Qin M.Z., and Zhao J. 2000. Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area: a case study of Kaifeng. Acta Geogr. Sin. 55: 545–554.
35- Rahmani poor F., Bahrami H., Rahimi Bandarabadi S., and Fereidooni Z. 2015. Quantitative Evaluation of Soil Quality and Its Spatial Distribution in Some Agricultural Regions of Qazvin Province, Iran, Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR) 43(1): 1-8. (In Persian with English abstract)
36- Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A., and Yang X.M. 2009. Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify soil physical quality. Geoderma 152: 252-263.
37- Shukla M.K., Lal R., and Ebinger M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil and Tillage Research 87: 194-204.
38- 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): 85-99.
39- Swanepoel P.A., Du Preez C.C., Botha P.R., Snyman H.A., and Habig J. 2014. Soil quality characteristics of kikuyu–ryegrass pastures in South Africa. Geoderma 232: 589-599.
40- USDA. 2014. Keys to soil Taxonomy, Soil Survey Staff. Twelfth Edition.
41- Vahdatkhah M., Farpoor M.H. and Sarcheshmehpoor M. 2013. Comparison of some Soil Quality Indicators in Different Land Uses/Covers in Mahan-Joopar Area,Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 17(64): 107-117. (In Persian with English abstract)
42- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and aproposed modification of chromic acid titration method. Soil Science 37(1): 29-38.
43- Yao R.J., Yang J.S., Zhao X.F., Li X.M., Liu M.X. 2013. Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area Soil and Tillage Research 128: 137–148.
44- Yemefack M., Jetten V.G., and Rossiter D.G. 2006. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems. Soil and Tillage Research 86: 84–98.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 251-266

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۶۶-۲۵۱

Determining the Most Effective Properties to Evaluate Soil Quality of Agriculture Lands in Mohammadshahr Plain of Karaj

K. Kamali[1*]- G.R. Zehtabian[2]- T. Mesbahzadeh[3]- M. Arabkhedri[4]- H. Shahab Arkhazloo[5]- A. Moghadamnia[6]

Received: 15-09-2020
Accepted: 06-03-2021

Introduction: Soil quality is an essential indicator for sustainable land management that generally depends on soil physical, chemical and biological properties. Due to the multiplicity of soil properties, the number of variables is usually reduced to a minimum set by statistical methods, which reduces study time, decreases monitoring cost for sustainable use of agricultural lands. The aim of this study was to introduce the most effective soil characteristics of agricultural lands in Mohammadshahr plain, Karaj, to prevent the descending trend of soil quality.

Materials and Methods: In this study, four farms and orchards which were different in terms of crop type and irrigation system were selected and evaluated with Integrated Quality Index (IQI) and Nemero Quality Index (NQI). In both indicators, the characteristics affecting soil quality are combined in the form of a mathematical model and presented as a numerical quantity. For this purpose, first 12 soil profiles were described, followed by sampling from topsoil (surface layer) and sublayers (weighting average for the depths) and testing 17 soil characteristics affecting its quality. In the next step, both indicators were calculated using two different sets of soil properties. The first category, the Total Data Set (TDS), included all measured soil characteristics, and the second group, the Minimum Data Set (MDS), included the most important properties affecting soil quality. The Principle Component Analysis was implemented to select the MDS. Soil properties were scored to calculate IQI and NQI. For this purpose, a function was defined for each soil feature to standardize all scores between zero and one. Weighting various soil quality properties was also performed by calculating the common variance of the variables, which was obtained by factor analysis method.

Results and Discussion: Calculation of IQI and NQI indices showed that the topsoil samples were in grade III and sublayer samples belonged to grade IV with major limitations due to lack of profile development, organic carbon deficiency, salinity and high gravel. Four and six items out of 16 variables were identified effective for topsoil and sublayers, respectively. The IQI index based on TDS was more accurate and sensitive than the NQI index for soil quality assessment, as more features are considered for TDS. In the IQI index, both the weight of attributes and their scores are effective, while in the NQI index, only the attribute score is considered. On the other hand, the coefficient of determination between the TDS and MDS for topsoil and sublayer samples was 0.55 and 0.56% for IQI model, respectively, and 0.48 and 0.16% for NQI model, respectively. In other words, the determination coefficients showed the reliability of using the MDS instead of TDS in both IQI and NQI models. In the MDS, mean weight diameter (MWD) showed the highest effect on the surface layer and percentage of gravel had the greatest impact on the soil quality of the sublayer.

Conclusion: Although TDS took into account all soil properties and showed a slightly higher coefficient of determinations with both soil quality indicators, the MDS obtained similar results to the TDS with only about half of the properties. In the MDS, the features with an internal correlation is eliminated rendering it more cost effective. The results of this study assist decision-makers to choose better quality management and soil sustainability strategies while decreasing the monitoring cost.

1- Graduated Ph.D. in Combating Desertification, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, and Member of Scientific Board, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran
(*- Corresponding Author Email: kamali_kourosh@yahoo.com)
2, 3 and 6- Professor and Associate Professors, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, respectively.
4- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran
5- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
DOI: 10.22067/jsw.2021.15005.0

Keywords: Irrigation systems, Integrated quality index, Karaj, Nemoro quality index, Principle component analysis