ارزیابی کیفیت شیمیایی چند خاک زیر کشت گندم- ذرت با استفاده از مدل‌های کیفیت خاک در بخشی از جنوب شرقی مشهد

مرجان قائمی[1]، علیرضا آستارایی، سیدحسین ثنایی نژاد، مهدی نصیری‌محلاتی و حجت امامی

دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مشهد؛ mghaemi270@gmail.com

دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد؛ astaraei@ferdowsi.um.ac.ir

دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد؛ sanaein@gmail.com

استاد دانشگاه فردوسی مشهد؛ mnassiri@ferdowsi.um.ac.ir

استادیار دانشگاه فردوسی مشهد؛ hojatemami@gmail.com

دریافت: 1391/12/26 و پذیرش: 1392/4/17

چکیده

ارزیابی جامع از کیفیت اراضی کشاورزی به دستیابی به کشاورزی پایدار کمک می نماید. لذا ارائه روش‌های مناسب ارزیابی کیفیت خاک برای بهبود راهکارهای مدیریتی و عملیات کشاورزی امری ضروری است. در این راستا مدل‌های مختلف کیفیت خاک و روش‌های انتخاب ویژگی‌های مؤثر برای ارزیابی کیفیت شیمیایی-بیولوژیکی خاک مورد مقایسه قرار گرفتند. دوازده پارامتر شیمیایی- بیولوژیکی را به عنوان مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر برکیفیت خاک (TDS) در نظر گرفته و با استفاده از روش تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر انتخاب گردید. چهار ترکیب حاصل از روش‌ها و مدل‌های کیفیت محاسبه و مناسبترین شاخص و ویژگی‌های مؤثر جهت ارزیابی کیفیت خاک انتخاب شدند. ضریب تبیین بین شاخص‌های IQI_{TDS} و IQI_{MDS} معادل R^2= 0/883 و بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} معادل R^2=0/818 نشان داد که شاخص کیفیت تجمعی (IQI) کارایی بهتری برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه دارد. شاخص IQI_{TDS} ارزیابی دقیق‌تر و جامع‌تری از کیفیت خاک را در اختیار قرار می‌دهد. با این وجود استفاده از مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) کاهش حجم کار و هزینه را همراه با دقت مناسب موجب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نمورو، کاربری کشاورزی، مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر

مقدمه

کیفیت خاک یک شاخص مهمی در کشاورزی پایدار است. در دهه‌های اخیرحفظ کیفیت خاک و آب و محیط زیست افزایش قابل توجهی در سیستم های تولید زراعی با دستیابی به عملکرد مطلوب به همراه داشته است. از این رو ارزیابی و پیش بینی پویای کیفیت خاک می تواند درک نسبتا جامعی از شرایط خاک را فراهم کند. همچنین می‌توان در زمینه تعیین اهداف و عملیات مدیریتی برای تولید و نگهداری خاک از آن استفاده کرد (زالیدیس و همکاران، 2002). عوامل فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و اکولوژیکی خاک همگی بر کیفیت آن تأثیر می‌گذارند (دروری و همکاران، 2003). یکی از روش-های پایش کیفیت خاک استفاده از شاخص های کیفیت خاک است (دوران و پارکین، 1994). به طورکلی، شاخص‌های کیفیت خاک به دلیل استفاده آسان،

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

انعطاف‌پذیری و کمی بودن آن ها از متداول ترین روش های ارزیابی کیفیت خاک می‌باشند

(اندروز و همکاران، 2002). محاسبه شاخص کیفیت خاک، هسته اصلی ارزیابی کیفیت خاک است که معمولاً بر مبنای ارزیابی تجمعی مشخصه‌های کیفیت و وزن های آن‌ها می‌باشد (سان و همکاران، 2003).

کارتر و همکاران (1997) اظهار داشتند که مفهوم کیفیت خاک به نوع کاربرد خاک وابسته است. خاک به عنوان بستری برای رشد گیاه، یک فیلتر و انتقال دهنده زیست محیطی و سکونتگاه جوامع گیاهی و جانوری و مکانی برای زندگی بشری از جمله این کاربردها می‌باشد (بردی و ویل، 2002). بیان کمی کیفیت خاک به طور مستقیم بسیار دشوار می‌باشد (سوجکا و آپچرچ، 1999) ولی کاربرد یک مجموعه حداقلی از شاخص‌ها که بیانگر توانایی خاک برای انجام وظایف اساسی آن باشد نیز پیشنهاد شده است (موسبچ و سیبولد، 1998). بنابراین این پارامترها باید حساس، انعطاف‌پذیر و مرتبط با عملیات مدیریتی بوده و نیز اندازه گیری اثر تغییرات محیطی باید آسان باشد (سیبولد و همکاران، 2001).

همچنین بهتر است این ویژگی‌ها ترکیبی از خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک باشد (آپاراسیو و کاستا، 2007). در مطالعات مختلف ارزیابی کیفیت خاک برمبنای مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر برکیفیت خاک (TDS)[1] انجام شده است (کارلن و همکاران، 1998). با این وجود انتخاب یک مجموعه حداقل از ویژگی‌ها (MDS)[2] بر اساس بیشترین همبستگی با مجموعه TDS می‌تواند کارایی بیشتری داشته باشد (گوارتز و همکاران، 2006).

در سال‌های اخیرمدل های کمی مختلفی از قبیل شاخص کیفیت تجمعی (IQI)[3] و شاخص کیفیت نمورو (NQI)[4] برای محاسبه شاخص کیفیت خاک ارائه شده‌اند. در مدل IQI کیفیت خاک بر اساس مجموع حاصلضرب مقادیر ویژگی‌های منتخب در وزن ویژگی‌ها در قالب یک رابطه خطی ساده محاسبه می‌شود (دوران و پارکین، 1994). در محاسبه مدل NQI از مقادیر میانگین و حداقل ویژگی‌ها استفاده می‌شود.

کارلن و همکاران (2001) پارامترهای متعددی را برای ارزیابی کیفیت خاک در مقیاس‌های مختلف پیشنهاد نمودند. اگرچه آن‌ها اظهار داشتند که یک شاخص جهانی ایده آل برای کیفیت خاک وجود ندارد. آن‌ها یک شاخص کیفیت خاک با روش وزن دهی به فاکتورهای مرتبط با میزان نفوذ آب (پایداری خاکدانه‌ها، تخلخل سطحی)، جذب آب (تخلخل، کربن آلی کل، کرم‌های خاکی)، مقاومت به تخریب (پایداری خاکدانه‌ها، فرآیندهای میکروبی)، pH خاک و رشد گیاه (عمق ریشه، روابط آب و عناصر غذایی) را ارائه کردند (کارلن و همکاران، 1994).

پیرس و همکاران (2002) ارزیابی خاک را با هدف تخمین کارایی شرایط خاک برای رشد ریشه انجام دادند و شاخص باروری خاک را به صورت ترکیبی از حدکفایت ظرفیت نگهداری آب قابل دسترس، چگالی ظاهری و pH تعریف کردند. پاپ و همکاران (2002) شاخص حاصل توسط پیرس و همکاران (2002) را با افزودن پارامتر ماده آلی اصلاح نمودند.

از این رو با توجه به کارایی شاخص‌های کیفیت خاک در ارزیابی اثرات عملیات مدیریتی بر کیفیت خاک، این پژوهش با هدف بررسی کیفیت خاک اراضی تحت تأثیر عملیات زراعی مرسوم با استفاده از دو مدل IQI و NQI در بخشی از اراضی کشاورزی مزرعه نمونه آستان قدس رضوی انجام شد. همچنین تفاوت بین روش‌ها و مدل‌های محاسبه شاخص کیفیت خاک در احتمال ارائه نتایج متفاوت بررسی شد. آن گاه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) انتخاب و کارایی این مجموعه با کل ویژگی‌های مورد مطالعه در مدل‌های کیفیت مورد سنجش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

برای اجرای پژوهش حاضر، بخشی از زمین-های مزرعه نمونه آستان قدس رضوی واقع در جنوب شرقی مشهد در محدوده 740460 تا 749280 UTM شرقی و 4005180 تا 4015680 UTM شمالی انتخاب شد (شکل 1).

این منطقه بر اساس طبقه بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و متوسط حرارت سالانه آن حدود 14 درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه حدود 250 میلی متر می‌باشد. زمین‌های کشاورزی این منطقه در برگیرنده انواع کشت آبی و دیم هستند که در آنها محصولاتی از قبیل یونجه، گندم، جو، ذرت، نخود و غیره به صورت مخلوط یا تک کشتی کاشته می‌شوند. به منظور انجام عملیات نمونه‌برداری بخشی از مزرعه‌ای به وسعت 18 هکتار با تناوب کشت ذرت- گندم- آیش

---

1. Total Data Set
2. Minimum Data Set
3. Integrated Quality Index
4. Nemoro Quality Index

مشخص گردید. سپس 125 نمونه مرکب خاک به روش نمونه برداری سیستماتیک در یک شبکه منظم (5 زیر نمونه درون شبکه‌های $400\ m^2$) از عمق سطحی 30-0 سانتی‌متر جمع آوری شد. برای انجام آنالیزهای آزمایشگاهی ابتدا نمونه‌های خاک هوا خشک گردیده و از الک دو میلیمتری عبور داده شدند و سپس دوازده پارامتر-شیمیایی و بیولوژیکی مؤثر بر کیفیت خاک براساس روش های استاندارد اندازه‌گیری شدند (جدول 1-1).

انتخاب ویژگی‌های مؤثر و محاسبه مدل‌های کیفیت خاک

در این پژوهش دوازده ویژگی شیمیایی و بیولوژیکی خاک که در منابع مختلف به عنوان پارامترهای مؤثر بر کیفیت خاک شناخته می‌شوند (کی و همکاران، 2009) برای مجموعه TDSدر نظر گرفته شدند. برای گزینش مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) از روش تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA)[1] استفاده شد (دوران و پارکین، 1994). به این ترتیب که مولفه‌ها با ارزش ویژه ≥ 1 استخراج شده و سپس ویژگی‌ها با وزن ها در محدوده 10% بیشترین وزن‌های موجود در هر مولفه به عنوان مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر (MDS) انتخاب شدند. با استفاده از آنالیز رگرسیون چندمتغیره ارزیابی کارایی MDS حاصل به عنوان نماینده ای از کل ویژگی‌ها (TDS) بررسی گردید.

جهت یکسان نمودن واحدهای ویژگی‌های مؤثر برای محاسبه شاخص کلی کیفیت خاک از توابع عضویت فازی استفاده شد (توربرت و همکاران، 2008؛کی و همکاران،2009). به این ترتیب که محدوده مقادیر هر ویژگی در دو روش TDS و MDS با این توابع استاندارد نمره دهی شدند (اندروز و همکاران، 2002؛ کارلن و اسکات، 1994). با این روش مقادیر هر متغیر به درجه عضویت (بین صفر و 1) مطابق حدود بهینه تعیین شده توسط تحلیل گران بر مبنای تجربه یا تعاریف قراردادی تبدیل شدند (مک برتنی و اوده، 1997). به طوری که در هر تابع مقدار عضویت 1 به محدوده ای از مقادیر هر ویژگی با کیفیت خاک مطلوب و عضویت صفر به مقادیر با کمترین حد مطلوب بودن کیفیت خاک نسبت داده می‌شود (کی و همکاران،2009). سهم هر ویژگی (COM)[2] به وسیله روش تجزیه فاکتورها (FA)[3] جهت وزن دهی ویژگی‌های مؤثر در هر دو روش TDS و MDS محاسبه شد (سان و همکاران، 2003؛ شوکلا و همکاران، 2006). برای این منظور نسبت مقدار سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم کل ویژگی‌ها به عنوان وزن هر ویژگی در نظر گرفته شد (کی و همکاران، 2009). جهت بیان کمی کیفیت خاک، دو مدل شاخص کیفیت تجمعی (IQI) (دوران و پارکین، 1994) و شاخص کیفیت نمورو (NQI) (هان و وو، 1994؛ کین و ژائو، 2000) با استفاده از معادله های (1) و (2) برای ترکیب‌های مختلف شاخص‌ها و روش های انتخاب ویژگی‌ها محاسبه شدند.

در مدل IQI کیفیت خاک بر اساس مجموع حاصلضرب مقادیر ویژگی های منتخب در وزن ویژگی‌ها در قالب یک رابطه خطی ساده محاسبه می‌شود (رابطه 1) (دوران و پارکین، 1994). در محاسبه مدل NQI از مقادیر میانگین و حداقل ویژگی‌ها استفاده می‌شود (رابطه 2).

(1)

$$IQI = \sum_{i=1}^{n} W_i N_i$$

در این معادله W_i وزن تعلق یافته به هر ویژگی خاک، N_i مقدار تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است.

(2)

$$NQI = \sqrt{\frac{p_{ave}^2 + p_{\min}^2}{2}} \times \frac{n-1}{n}$$

در این رابطه p_{ave} میانگین مقادیر ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه خاک، $p_{\min}$ حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر برای محاسبه شاخص است.

هر کدام از این شاخص‌ها برای هر نمونه با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک شامل TDS و MDS تعیین شد. در ادامه درجه کیفیت خاک متناسب با تأثیر آن بر رشد گیاه جهت ارزیابی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه طبقه بندی شد (کی و همکاران، 2009). برآورد حاصل از هر شاخص و ترکیب حاصل از روش های انتخاب ویژگی های مؤثر برای هر نمونه خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین به منظور توصیف رابطه بین شاخص‌ها و کارایی MDS معرفی شده، همبستگی و رابطه رگرسیونی بین شاخص‌هایی که با استفاده از مجموعه‌ی کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (TDS) تعیین شدند با شاخص‌هایی که با استفاده از حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) بررسی شد.

---

1. Principle Component Analysis
2. Communality
3. Factor Analysis

نتایج و بحث

جهت انتخاب ویژگی‌های مؤثر شیمیایی-بیولیوژیکی مورد مطالعه از روش مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد (جدول 2-1). بر این اساس دو مولفه اصلی با ارزش ویژه ≤ 1 دربرگیرنده 62 درصد تغییرات داده-های اندازه‌گیری برای انتخاب ویژگی‌ها استخراج شدند. همان طور که مشاهده می‌شود از دو مولفه با ارزش ویژه بزرگتر از یک، سه پارامتر نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس و پتانسیل معدنی شدن نیتروژن به عنوان مجموعه MDS در نظر گرفته شدند. بنابراین روش PCA با کاهش حجم داده ها امکان گزینش ویژگی‌ها با بیشترین تأثیر بر کیفیت خاک را از کل پارامترهای مورد مطالعه فراهم می‌آورد (گوارتز و همکاران، 2006).

در PC_1 پارامترهای کربن آلی، نیتروژن کل و عناصر کم مصرف مس، منگنز و روی وزن بیشتری داشتند. به دلیل وجود ضرایب همبستگی نسبتاً بالای بین این پنج متغیر، تنها نیتروژن کل خاک به عنوان نماینده این متغیرها از مولفه اول انتخاب شد. در PC_2 نیز فسفر و پتاسیم قابل دسترس و پتانسیل معدنی شدن نیتروژن از وزن های بالاتری برخوردار بوده که بر مبنای همبستگی بالای پتاسیم قابل دسترس با فسفر قابل دسترس ($r= 0/806^{**}$) پتاسیم از این مجموعه منتخب حذف شد. نتایج حاصل از محاسبه وزن مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر (TDS) نشان داد که پارامترهای کربن آلی و عناصر پر مصرف (N، P و K) نسبت به عناصر کم مصرف (Fe، Mn، Cu و Zn) و خصوصیات بیولوژیکی (کربن فعال و پتانسیل معدنی شدن نیتروژن) دارای وزن بالاتری هستند (جدول 2). در حالیکه اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک کمترین تأثیر را درکیفیت خاک منطقه موردمطالعه نشان دادند. سهم و وزن اختصاص یافته مشابه در دو ویژگی مؤثر فسفر قابل دسترس و پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در مجموعه (MDS) احتمالا نشان دهنده تأثیر یکسان این دو پارامتر در کیفیت خاک منطقه می‌باشد. جهت ارزیابی کیفیت خاک منطقه از درجه بندی کیفیت خاک کی و همکاران (2009) استفاده شد (جدول 3). بر این اساس آنها چهار درجه کیفیت خاک را متناسب با رشد گیاه تعیین کردند که در این طبقه‌بندی خاک ها با درجه I مناسب برای رشد گیاه، درجه II نسبتاً مطلوب برای رشد گیاه با مقداری محدودیت، درجه III دارای محدودیت بیشتر نسبت به درجه II و درجه IV دارای محدودیت زیاد جهت رشد گیاه می‌باشند.

با توجه به این درجه بندی، خاک های منطقه مورد مطالعه بر مبنای مدل کیفیت IQI و NQI برای مجموعه (TDS) در کلاس‌های II، III و IV قرار می‌گیرند. در مدل کیفیت IQI، 10% نمونه خاک ها در کلاس با محدودیت کم (II)، در مجموع 90% در کلاس با محدودیت زیاد (III) و محدودیت خیلی زیاد (IV) قرار می‌گیرند. همچنین در مدل کیفیت NQI، 5% در کلاس با محدودیت کم (II) و 95% در کلاس‌های III و IV قرار می گیرند. نتایج ژانگ و همکاران (2004) نشان داد که به دلیل عدم یکنواختی خاک، یک منطقه به نواحی با درجات متفاوت کیفیت خاک می‌تواند تقسیم شود. بنابراین خاک‌های مزرعه مورد مطالعه بر مبنای دو مدل کیفیت خاک در محدوده خاک‌ها با کیفیت پایین قرار دارند.

عملیات مدیریتی در سیستم‌های مرسوم با کاربرد مقادیر زیاد کود و حشره کش‌ها، کاهش استفاده از اصلاح کننده‌های آلی، شخم و آبیاری مکرر و برداشت مکانیزه همراه است (اندروز و همکاران، 2002؛ هوانگ و همکاران، 2007) این امر موجب کاهش کیفیت خاک در اراضی با عملیات کشت متراکم می‌گردد (اندروز و همکاران، 2002). بنابراین اجرای برخی از راهکارهای مدیریتی مناسب از قبیل کاربرد پسماندهای آلی، کاهش عملیات خاکورزی، تناوب محصول با گیاهان لگومینه می‌تواند تا حدی پایداری و کیفیت خاک را بهبود بخشد. به طوری که استفاده از بقایای گیاهی با اثر مستقیم بر تجمع کربن و نیتروژن موجب افزایش نیتروژن کل و ماده آلی خاک می‌شود (هوانگ و همکاران، 2007).

رابطه خطی بین شاخص‌های IQI_{TDS} و IQI_{MDS} با $R^2= 0/883$ و بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} با $R^2=0/818$ نشان داد که شاخص IQI کارایی بهتری برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه دارد. ضریب تبیین حاصل از رابطه خطی این شاخص‌ها بین دو مجموعه MDS و TDS نیز قابلیت مجموعه MDS در ارزیابی کیفیت خاک منطقه را تأیید می‌کند (شکل 2). کی و همکاران (2009) وجود $R^2= 0/625$ بین IQI_{TDS} و IQI_{MDS} و $R^2= 0/57$ بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} در مقیاس منطقه‌ای با 431 نمونه خاک را گزارش کردند.

بنابراین با استفاده از مدل‌های کیفیت خاک حاصل از مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر برکیفیت خاک (MDS) با اطمینان قابل قبولی می‌توان کیفیت خاک را ارزیابی نمود. به طوری که درنظرگرفتن مجموعه MDS با سه ویژگی مؤثر نسبت به مجموعه TDS با دوازده ویژگی مؤثر موجب صرفه‌جویی در هزینه و زمان مورد نیاز برای تعیین کیفیت خاک می‌شود.

نتایج حاصل از برآورد کیفیت خاک حاصل از ترکیب روش های انتخاب ویژگی‌ها و مدل های کیفیت در هر نمونه خاک از مزرعه مورد مطالعه در شکل (3) نشان داد که شاخص IQI نسبت به NQI از کارایی بالاتر در تخمین کیفیت خاک منطقه برخوردار بوده که با نتایج کی و همکاران (2009) مطابقت دارد. نتایج ژانگ و همکاران (2004) نشان داد که به دلیل عدم یکنواختی خاک، یک منطقه به نواحی با درجات متفاوت کیفیت خاک می‌تواند تقسیم شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از شاخص های کیفیت خاک می‌توان نواحی با درجات متفاوت کیفیت خاک را در مقیاس مزرعه‌ای شناسایی نمود (شکل 4).

همچنین اختلاف حاصل از برآورد کیفیت بین دو مجموعه MDS و TDS نشان می‌دهدکه مجموعه TDS دقت و صحت بیشتری نسبت به مجموعه MDS دارد. این امر را می‌توان به وجود پارامتر های مؤثر بیشتر در محاسبه مدل کیفیت خاک نسبت داد. به طوری که وانگ و گانگ (1998) اظهار داشتند که ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک باید طوری انتخاب شوند که دربرگیرنده محدوده گسترده‌ای از خصوصیات خاک بوده و به طور مستقیم بر کیفیت خاک اثرگذار باشند. دوران و همکاران (1996) نیز شاخص IQI_{TDS} را به عنوان جامع‌ترین و بهترین ترکیب برای ارزیابی کیفیت خاک معرفی کردند. با این وجود استفاده از مجموعه MDS کاهش حجم کار و هزینه را همراه با دقت مناسب موجب می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل های کیفیت خاک جهت ارزیابی کمی کیفیت اراضی کشاورزی از کارایی بالایی برخوردار هستند. ترکیب روش های مختلف گزینش ویژگی های مؤثر با شاخص های کیفیت خاک نیز تأثیر چندانی در نتایج ارزیابی کیفیت خاک نداشت. با این وجود شاخص IQI_{TDS} دقت و حساسیت بیشتری جهت ارزیابی کیفیت خاک نشان داد که این امر را می‌توان به وجود ویژگی‌های مؤثر بیشتر در محاسبه این شاخص نسبت داد. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از روش MDS به عنوان راهکاری قابل اطمینان، سریع و مناسب از نظر اقتصادی برای انتخاب حداقل ویژگی‌های مؤثر خاک در منطقه موردمطالعه می‌تواند مفید باشد. به طوری که با کاربرد روش MDS اثر تکرارپذیری حاصل از ویژگی‌های با همبستگی مشابه کاهش می‌یابد و اطلاعات موجود در سایر پارامترها را به عنوان مجموعه منتخب می‌توان نشان داد.

جدول 1-1- خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی مورد مطالعه و روش اندازه‌گیری آن‌ها

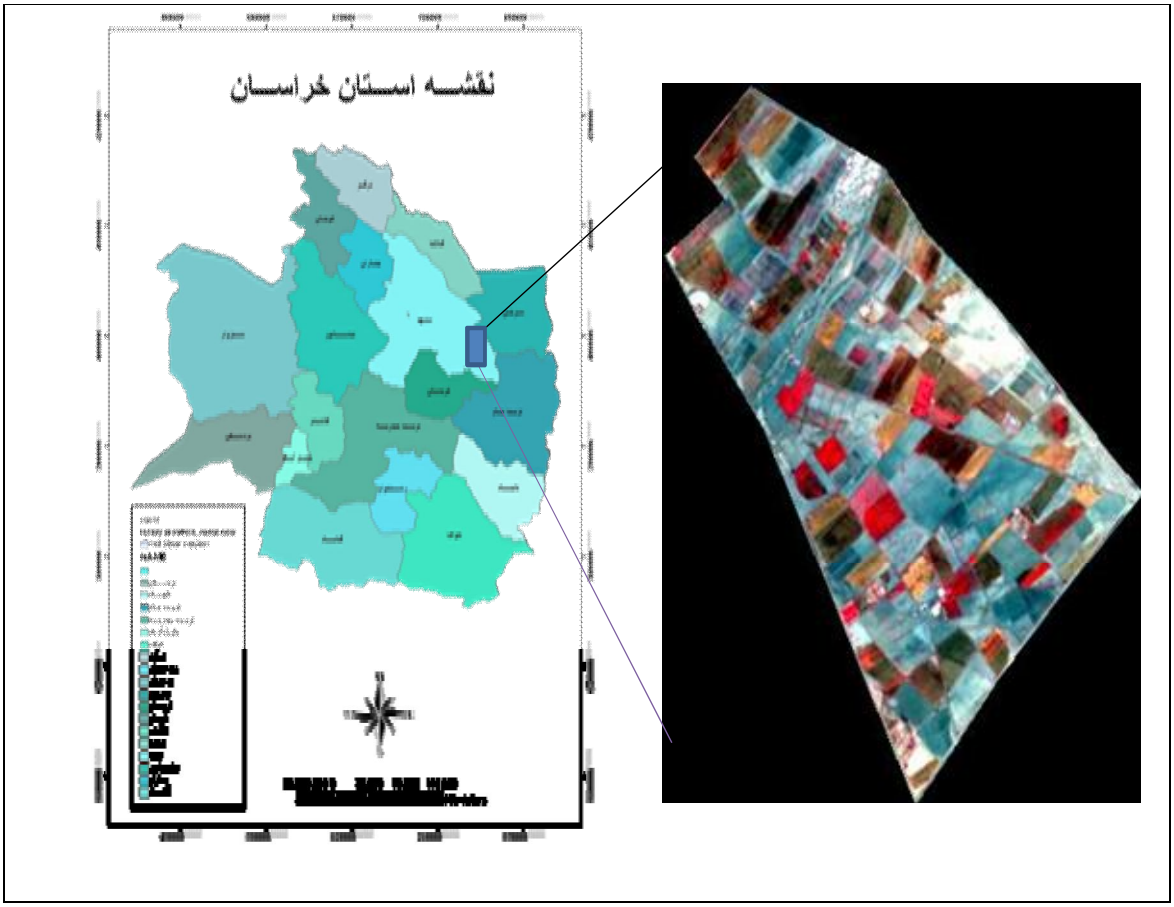
پارامترها	روش اندازه گیری	منبع مورداستفاده
اسیدیته	گل اشباع	پیج و همکاران (1982)
هدایت الکتریکی	عصاره گل اشباع	پیج و همکاران (1982)
فسفر قابل دسترس	استخراج با بیکربنات سدیم	اولسن و همکاران (1954)
پتاسیم قابل دسترس	استخراج با استات آمونیوم	پیج و همکاران (1982)
درصد کربن آلی	تیتراسیون با اسید کرومیک	والکلی و بلک (1934)
درصد نیتروژن کل	کجلدال	برمر و مولوانی (1982)
کربن فعال	اکسیداسیون با پرمنگنات	ویل و همکاران(2003)
پتانسیل معدنی شدن نیتروژن	استخراج با کلرید پتاسیم	کینی و برمر (1966)
DTPA-Fe, Cu, Zn, Mn	استخراج با DTPA	لیندزی ونورول (1978)

جدول 2-1- انتخاب حداقل ویژگی های مؤثر (MDS) با استفاده از آنالیز تجزیه مولفه‌های اصلی

مولفه‌ها	PC_1	PC_2	PC_3
Eigenvalue	6/28	1/14	0/94
Percent	52/39	9/51	7/82
Cumulative percent	52/39	61/90	69/72
Eigenvectors			
اسیدیته	0/252	0/086	
هدایت الکتریکی	0/205	0/045	
فسفر قابل دسترس	0/237	**0/520**	
پتاسیم قابل دسترس	0/245	0/517	
درصد کربن آلی	0/358	-0/233	
درصد نیتروژن کل	**0/368**	-0/116	
کربن فعال	0/282	-0/270	
پتانسیل معدنی شدن نیتروژن	0/242	**-0/471**	
DTPA-Fe	0/273	0/275	
DTPA-Mn	0/308	-0/017	
DTPA-Zn	0/330	-0/113	
DTPA-Cu	0/309	0/012	

جدول 2- وزن ویژگی‌های کیفیت خاک در دو مجموعه TDS و MDS با استفاده از تجزیه فاکتورها (FA)

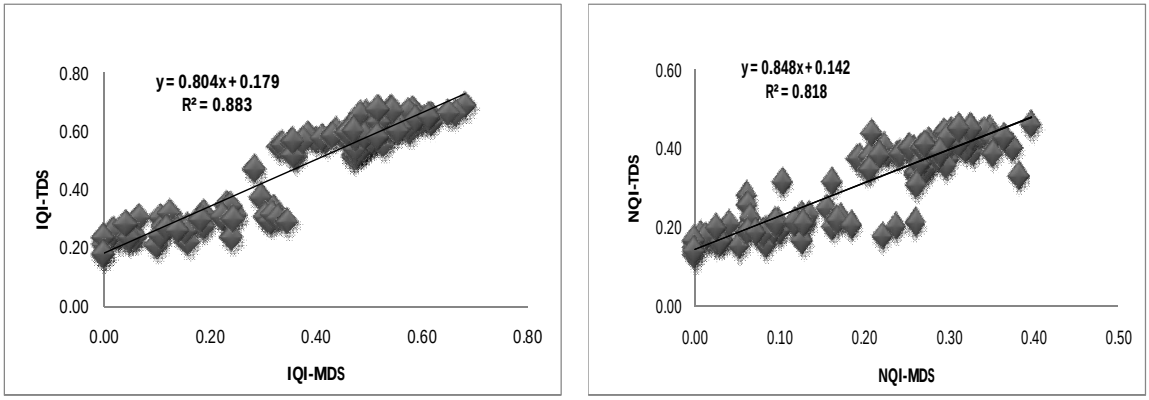
پارامترها	TDS		MDS	
	COM	Weight	COM	Weight
اسیدیته	0/409	0/055		
هدایت الکتریکی	0/268	0/036		
فسفر قابل دسترس	0/662	0/089	0/939	0/359
پتاسیم قابل دسترس	0/683	0/092		
درصد کربن آلی	0/868	0/117		
درصد نیتروژن کل	0/865	0/116	0/796	0/294
کربن فعال	0/585	0/079		
پتانسیل معدنی شدن نیتروژن	0/624	0/084	0/902	0/345
DTPA-Fe	0/555	0/075		
DTPA-Mn	0/599	0/081		
DTPA-Zn	0/701	0/094		
DTPA-Cu	0/604	0/081		



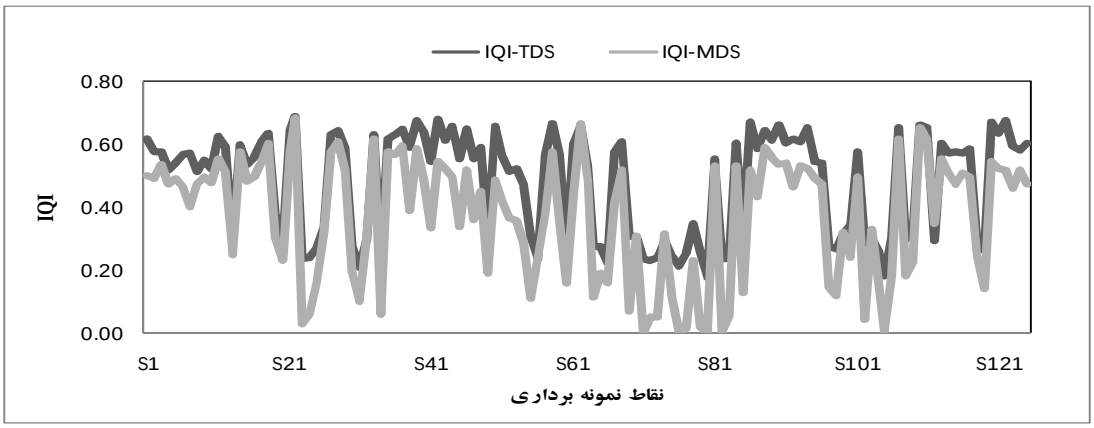
شکل 1- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

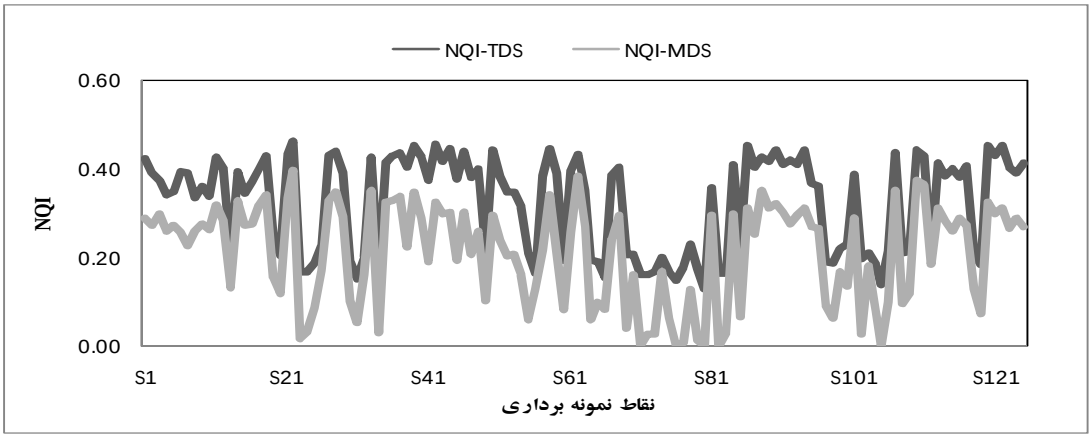
جدول 3- طبقه‌بندی کیفیت خاک برمبنای روش‌ها و شاخص‌های مختلف

مدل کیفیت خاک	روش انتخاب ویژگی‌ها	درجه کیفیت خاک			
		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	$NQI_{MDS} \geq 0/80$	$0/80 > NQI_{MDS} \geq 0/70$	$0/70 > NQI_{MDS} \geq 0/60$	$0/60 > NQI_{MDS}$

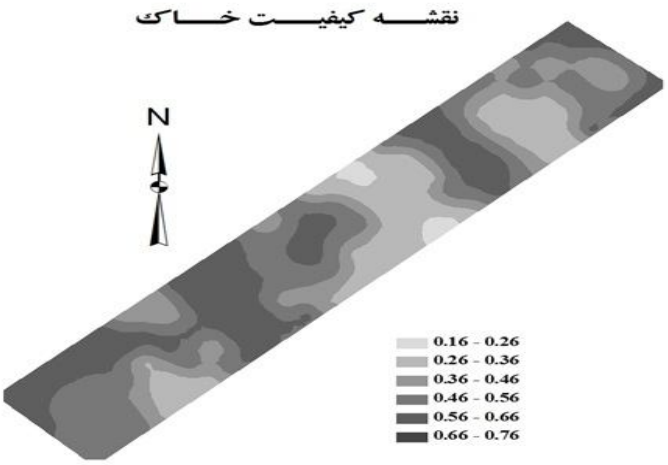


شکل 2- رگرسیون خطی بین IQI و NQI در دو مجموعه TDS و MDS





شکل 3- مقدار تخمین شاخص‌های کیفیت خاک IQI و NQI در دو مجموعه TDS و MDS در هر نمونه خاک



شکل 4- تغییرات مکانی مدل کیفیت خاک IQI بر مبنای روش TDS

فهرست منابع:

1. Andrews, S.S., J.P. Mitchell, R. Mancinelli, K.L. Karlen, T.K. Hartz, W.R. Horwath, G.S. Pettygrove, K.M.Scow, and D.S. Munk. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. Agron, 94:12–23.
2. Aparicio, V., J.L. Costa, 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. Soil Tillage Res, 96:155–165.
3. Brady, N. C., and R. R. Weil, 2002. The nature and properties of soils, 14th ed. Prentice-Hall, New Jersey.
4. Bremner, J.M., and C.S. Mulvaney, 1982. Nitrogen-total. In: Page, A.L., et al. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 595–624.
5. Carter, M. R., E. G. Gregorich, D. W. Anderson, J. W. Doran, H. H. Janzen, and F. J. Pierce, 1997. Concepts of soil quality and their significance.In: Gregorich, E. G., and M. R. Carter, (eds.), Soil quality for crop production and ecosystem health. Developments in Soil Science 25, Elsevier, Amsterdam, pp. 1–19.
6. Doran, J.W., and A.J. Jones, (Eds.), 1996. Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America Special Publication, vol. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI.
7. Doran, J.W., B.T. Parkin 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, B.A. Stewart, (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA, pp. 3–21. Special Publication. Number 35.
8. Drury, C.F., T.Q. Zhang, and B.D. Kay. 2003. The non-limiting and least limiting water range for soil nitrogen mineralization. Soil Science Society of America Journal, 67:1388-1404.
9. Govaerts, B., K.D. Sayre, and J. Deckers, 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. Soil & Tillage Research, 87:163–174.

10. Han, W.J., and Q.T. Wu, 1994. A primary approach on the quantitative assessment of soil quality. Chinese J. Soil Sci, 25:245–247.
11. Huang,B., W.X. Sun, Y.C. Zhao, J. Zhu, R.Q. Yang, Z. Zou, F. Ding, and J.P. Su, 2007. Temporal and spatial of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices. Geoderma, 139: 336–345.
12. Karlen, D. L., S. S. Andrews, and J. W. Doran, 2001. Soil quality: Current concepts and applications.Adv. Agron. 74:1–40.
13. Karlen, D.L., and D.E. Scott, 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W., D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, B.A. Stewart, (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. ASA and SSSA, Madison,WI, USA, pp. 53–72.
14. Karlen, D.L., J.C. Gardner and M.J. Rosek, 1998. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. J. Prod. Agric. 11: 56–60.
15. Karlen, D.L., N.C., Wollenhaupt, D.C., Erbach, E.C., Berry, J.B., Swan, N.S., Eash, and J.L., Jordahl, 1994.Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. Soil Till. Res., 31: 149-167.
16. Keeney, D.R. and Bremner, J.M. 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. Agron. J. 58: 498–503.
17. Lindsay, W.L., and W.A. Norvell, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421–428.
18. Mausbach, M. J., and C. A. Seybold, 1998. Assess-ment of soil quality.In: Soil quality and agricul-tural sustainability. L. Rattan (ed.). Sleeping Bear Press, Chelsea, pp. 33–43.
19. McBratney, A.B., and I.O.A. Odeh, 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic,fuzzy measurements and fuzzy decisions. Geoderma 77: 85–113.
20. Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanable, and L.A. Dean, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, Washington.
21. Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney, 1982. Methods of Soil Analysis, part2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy,Inc. Soil Science Society of Aamerica, Madison, WI.
22. Pierce, F.J., W.E., Larson, R.H., Dowdy, and W.A., Graham, 1983. Productivity of soils: assessing long term changes to erosion. J. Soil Water Conserv., 38: 39-44.
23. Popp, J., D., Hoag, and J.I., Ascough, 2002.Targeting soil conservation policies for sustainability: new empirical evidence. J. Soil Water Conserv., 57: 66-74.
24. Qi. Y., L.D. Jeremy, B. Huang, Y. Zhao, W. Sun, and Z. Gu, 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma, 149:325-334.
25. Qin, M.Z., and J. Zhao, 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.
26. Seybold, C. A., R. P. Dick, and F. J. Pierce, 2001. USDA soil quality test kit: Approaches for com-parative assessments. Soil Survey Horiz. 42:43–52.
27. Shukla, M. K., R. Lal, and M. Ebinger, 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil Tillage Res. 87: 194–204.
28. Sojka, R. E., and D. R. Upchurch, 1999. Reser-vations regarding the soil quality concept. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1039–1054.
29. Sun, B., S.L. Zhou, and Q.G. Zhao. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. Geoderma, 115:85–99.

30. Torbert, H.A., E., Krueger , and D. Kurtene, 2008. Soil quality assessment using fuzzy modeling. International Agrophysics, 22: 365-370.
31. Walkely, A., and I.A. Black, 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
32. Wang, X.J., and Z.T. Gong, 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma, 81: 339–355.
33. Weil, R. R., K. R. Islam, M. A. Stine, J. B. Gruver, and S. E. Samson-Liebig, 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use, Volume 18, Number 1.
34. Zalidis, G., S. Stamatiadis, V. Takavakoglou, K. Eskridge, and N. Misopolinos, 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology.Agr. Ecosyst. Environ, 88 (2):137-146.
35. Zhang, B., Y. Zhang, D. Chen, R.E. White, and Y. Li, 2004. A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. Geoderma, 123: 319–331.