نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۷، ص. ۳۷۴-۳۵۹

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 2, May.-Jan. 2018, p. 359-374

ارزیابی کیفیت خاک در بخشی از اراضی منطقه خشک و نیمه‌خشک دشت قزوین، ایران

سونا آذرنشان[۱]- فرهاد خرمالی[۲*]- فریدون سرمدیان[۳]- فرشاد کیانی[٤]-کامران افتخاری[٥]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۶

چکیده

ارزیابی کیفیت خاک اراضی کشاورزی امری ضروری برای موفقیت‌های اقتصادی و پایداری محیط‌زیست در مناطق درحال‌توسعه می‌باشد. در حال حاضر انواع بسیار زیادی از روش‌ها برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده می‌شوند که هر کدام معیارهای متفاوتی را به کار می‌گیرند. با توجه به اینکه قزوین یکی از مهم‌ترین قطب‌های تولید کننده در منطقه و نیز ایران می‌باشد و نظر به اهمیت ارزیابی کیفیت خاک به‌عنوان شاخصی از کشاورزی پایدار و بهره برداری بهینه از منابع طبیعی، در این تحقیق کیفیت خاک بخشی از اراضی دشت قزوین با استفاده از شاخص کیفیت خاک تجمعی (Integrated quality index) و شاخص کیفیت نمرو (Nemero quality index) در ترکیب با دو روش انتخاب معیار کل مجموعه داده‌ها (Total data set) و حداقل مجموعه داده‌ها (Minimum data set) ارزیابی شد. مجموعاً ۱۹ پارامتر خاک درروش TDS مورد استفاده قرار گرفتند. سپس این چهار ترکیب روش‌های ارزیابی کیفیت خاک به‌منظور تعیین بهترین روش در منطقه مورد مطالعه از طریق مقایسه با عملکرد آنالیز شدند. نتایج نشان داد روش TDS_{IQI} بیشترین همبستگی را در منطقه با میزان عملکرد دارد و نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت خاک طبق این روش به ترتیب: ۲/۸۲٪ اراضی دارای درجه کیفیت خیلی خوب (I)،۵۳/۵۶٪ اراضی دارای درجه کیفیت خوب (II)،۳۰/۶۵٪ اراضی دارای درجه کیفیت متوسط (III) و ۱۲/۹۷٪ اراضی دارای درجه ضعیف (IV). همچنین روش TDS_{IQI} بالاترین میزان همبستگی را با MDS_{IQI} (R^2 =۷۷/۹) نشان داد؛ بنابراین روش MDS جایگزین خوبی برای سایر روش‌های مطالعه کیفیت خاک می‌باشد و استفاده از آن می‌تواند موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه مطالعات گردد.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت خاک، GIS، MDS، TDS

مقدمه

از اوایل دهه ۱۹۹۰ کیفیت خاک مورد توجه بیشتری قرار گرفت و تلاش‌های زیادی برای توصیف مفهوم مبهم کیفیت خاک انجام شد (۳). کیفیت خاک معیاری از کیفیت محیط زیست (۳۷)، امنیت غذایی (۳۰) و توانمندی اقتصادی (۲۲) می‌باشد. رشد روزافزون جمعیت، لزوم استفاده بهینه از منابع زمینی را به‌منظور تأمین نیازهای اساسی به‌ویژه رفع نیازهای غذایی اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (۱۷)، بنابراین منابع طبیعی پایدار مناسب‌ترین و مهم‌ترین عامل جهت تأمین غذای کافی برای جمعیت روزافزون زمین بوده و در حقیقت ارزیابی کیفیت خاک و تغییرات آن بازمان، شاخص اولیه کشاورزی پایدار محسوب می‌گردد (۲۷). ازاین‌رو کیفیت خاک در اراضی کشاورزی کشورهای درحال‌توسعه از نظر اقتصادی بسیار مهم می‌باشد (۵۶)؛ زیرا با داشتن اطلاعات کافی از وضعیت کیفیت خاک می‌توان با سرعت بیشتری از روند تخریبی خاک‌ها مطلع شد و مناطق مسئله‌دار را مشخص نمود (۵). همچنین حفظ و بهبود کیفیت خاک از نظر حفظ امنیت زیست محیطی و تولیدات کشاورزی برای نسل‌های آینده نیز حائز اهمیت می‌باشد (۴۳). این دانش تنها از طریق ارزیابی مطمئن و دقیق کیفیت خاک قابل استنتاج است. در واقع ارزیابی کیفیت خاک اراضی کشاورزی برای بهبود میزان تولید و پایداری محیط‌زیست و همچنین کشاورزی پایدار ضروری بوده و خود به شرایط و ظرفیت اراضی کشاورزی شامل خاک، اقلیم و خصوصیات بیولوژیکی آن‌ها وابسته می‌باشد (۴۹ و ۳۸). روش‌های ارزیابی و معیارهای کیفیت خاک مناسب به دلیل تأثیر مهمی که بر روی نتایج کیفیت خاک دارند، از مهم‌ترین ملاحظات درزمینه ارزیابی کیفیت خاک محسوب می‌شوند (۸). از میان روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت خاک می‌توان طراحی کارت کیفیت خاک و کیت آزمایش (۸)، روش‌های شاخص کیفیت خاک (۱۰ و ۱۲)، روش‌های کریجینگ چندمتغیره (۳۶) و تغییرات پویای مدل‌های کیفیت خاک (۲۸) را نام برد که از میان آن‌ها روش

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: khormali@yahoo.com)
۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران
۵- استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور
DOI: 10.22067/jsw.v32i2.65408

شاخص‌های کیفیت خاک امروزه رایج‌ترین روش مورد استفاده می باشد (۱) زیرا به‌راحتی قابل استفاده بوده و از لحاظ کمی انعطاف‌پذیر هستند. با توجه به تنوع و تفاوت در خاک، اقلیم، تولیدات زراعی و فاکتورهای اجتماعی- اقتصادی وجود ابزارهای تصمیم‌گیری مدیریتی باقابلیت تلفیق و تفسیر اطلاعات مدیران کشاورزی بسیار ضروری می‌باشند (۶). شاخص‌ها ابزارهای تصمیم‌گیری هستند که اطلاعات پیچیده را برای تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران کشاورزی آسان‌تر و قابل‌دسترس‌تر می‌نمایند (۲). ارزیابی کیفیت خاک با استفاده از شاخص‌ها به‌طور موفقیت‌آمیزی هم در مقیاس منطقه‌ای و هم در مقیاس مزرعه مورد قبول می‌باشد (۱۹، ۲۶، ۳۳ و ۵۷).

به دلیل عملکردها و وظایف متفاوت و پیچیده خاک، ارزیابی کیفیت خاک به‌صورت مستقیم امکان‌پذیر نیست لذا از طریق اندازه گیری معیارهای کیفیت خاک می‌توان کیفیت خاک را ارزیابی نمود. معیارهای خاک ابزارهای ارزشمندی را برای کمی‌سازی درجه کیفیت خاک فراهم می‌آورند (۵۴). معیارهای کیفیت خاک باید فرآیندهای اکوسیستم را در بربگیرند، ویژگی‌ها و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تفسیر نمایند (۲۳ و ۴)، برای اکثر کاربرها قابل استفاده باشند، به تغییرات مدیریت و اقلیم حساس باشند و جزئی از پایگاه داده‌های خاک موجود باشند (۱۱).

ایجاد یک روش معیاری ساده، حساس و کاربردی برای ارزیابی کیفیت خاک مهم می‌باشد (۱۴). معیارهای مناسب با توجه به هدف ارزیابی کیفیت خاک (قضاوت در مورد پایداری مدیریت خاک، توسعه کشاورزی پایدار یا سیستم‌های کاربری اراضی) مشخص می‌گردند (۴۸ و ۵۸) و تعیین می‌کنند که آیا کیفیت خاک در حال بهبود، ثابت و یا در حال کاهش است (۵۲). محققان متعددی مجموعه‌ای از معیارهای کیفیت خاک را پیشنهاد داده‌اند (۲۸، ۱۱ و ۲۸) و کیفیت خاک را بر اساس روش معیاری مجموعه کل داده‌ها Total Data Set (TDS) ارزیابی نموده‌اند؛ اما از آنجایی که اندازه‌گیری تمام خصوصیات خاک برای ارزیابی کیفیت خاک مقرون به‌صرفه نبوده و مشکل می‌باشد، می‌توان از روش‌های انتخاب معیار جایگزین مثل مجموعه حداقل داده‌های مورد نیاز Minimum Data Set (MDS) بر اساس نظر کارشناسان و یا با استفاده از روش‌های ریاضی یا آماری استفاده نمود (۱، ۴۲ و ۱۸). مقبول بودن روش محاسبه غیرمستقیم شاخص خاک با استفاده از معیارهای مناسب به علت مزیت‌های این روش در تعیین پیچیدگی سیستماتیک حاصلخیزی خاک تحت شرایط طبیعی و اقدامات کشاورزی می‌باشد (۷، ۱۶، ۵۳، ۹، ۳۴ و ۵۰). زمانی که معیارهای کیفیت خاک در حد ایده آل یا اپتیمم باشند، تولید محصولات کشاورزی حداکثر خواهد بود و تخریب خاک و محیط زیست حداقل می‌باشد (۴۴ و ۱۳).

از میان مدل‌های کمی محاسبه شاخص کیفیت خاک می‌توان شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI) را نام برد. مدل IQI از شاخص کیفیت خاک (۱۱) توسعه‌یافته است و مجموع مقادیر وزنی تمامی معیارهای منتخب است که ترکیبی از معیارها را با استفاده از معادله به شاخص تبدیل می‌کند و از یک سیستم رتبه‌دهی ساده استفاده می‌کند. مدل NQI توسط نمرو توسعه یافته است (۳۹ و ۲۱) و بر اساس میانگین و حداقل رتبه معیار می باشد و اوزان معیارها در این مدل استفاده نمی‌شوند. نتایج از حداقل رتبه معیار متأثر می‌شوند و قانون حداقل در تولید محصول را منعکس می‌سازند (۵۵).

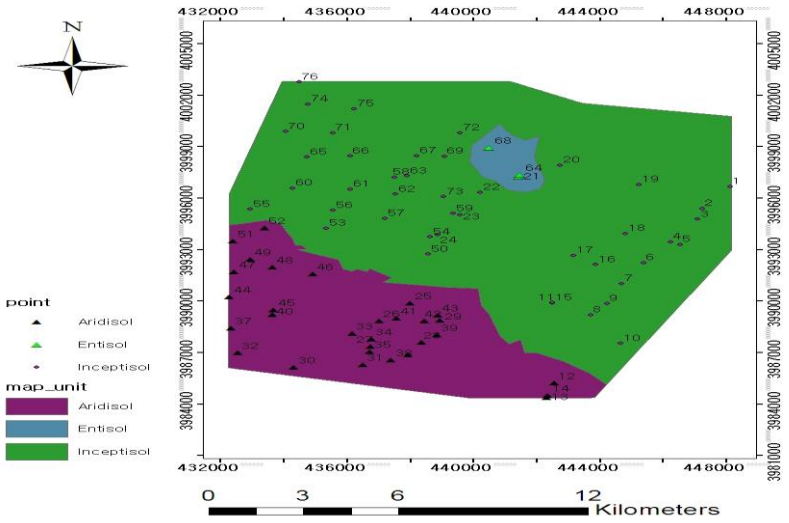
این پژوهش با لحاظ نمودن تحقیقات سایر محققین در این زمینه با هدف بررسی و مقایسه دو روش انتخاب معیار مناسب (TDS و MDS) و دو مدل شاخص کیفیت خاک (IQI و NQI) در بخشی از اراضی دشت قزوین انجام شده است. امید است نتایج این مطالعه منجر به ارائه نتایجی کاربردی و ارزیابی مناسبی از وضعیت کیفیت خاک‌های این منطقه گردد و در نهایت بتواند ضمن ارائه روش انتخاب معیار و مدل مناسب برای تعیین شاخص کیفیت در منطقه، مقدمات لازم را برای بهره‌برداری بهینه توسط مدیران اراضی فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت حدود ۲۵۲۲۰ هکتار در شرق استان قزوین و در محدوده شهرستان آبیک و بین ۳۶ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است. تغییرات ارتفاعی منطقه نسبت به سطح دریا از حدود ۸۰۰ متر در اطراف دریاچه نمک و اراضی شور شروع شده تا ۴۳۷۵ متر در ارتفاعات حوزه جاجرود می باشد (نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰).

میانگین بارندگی سالیانه در منطقه مطالعاتی ۲۷۵ میلی‌متر بوده و رژیم بارش، مدیترانه‌ای است. متوسط دمای سالیانه منطقه ۱۴/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی سالانه منطقه مورد مطالعه ۵۶ درصد می‌باشد. رژیم حرارتی و رطوبتی خاک‌های منطقه به ترتیب ترمیک، زریک خشک و اریدیک ضعیف می‌باشد. کاربری اراضی مورد مطالعه مرتع و اراضی کشاورزی تحت کشت دیم و آبی است. خاک منطقه در رده‌های اریدی‌سول (۶۶۸۳/۷ هکتار)، اینسپتی سول (۱۷۹۲۹/۹ هکتار) و انتی سول (۶۰۶/۶ هکتار) طبقه‌بندی شده است.



شکل ۱- نقشه خاک و نقاط نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه

Figure 1- The Soil map of the study area

نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل

مطالعات میدانی و جمع‌آوری نمونه‌ها در سال ۱۳۹۵ انجام شدند و مجموعاً ۷۶ نمونه از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر خاک سطحی (شکل ۱) منطقه مورد مطالعه و بر اساس یکنواختی، نوع خاک‌ها و کاربری اراضی برداشت گردید. نمونه‌ها در فصل پاییز و بعد از برداشت محصول و قبل از فصل کشت بعدی جمع‌آوری گردیدند تا از اثر مستقیم کوددهی طی فصل رشد محصولات جلوگیری به‌عمل آمده باشد. طول و عرض جغرافیایی هر نمونه به‌وسیله دستگاه GPS ثبت شد. عمق خاک در مطالعه میدانی بررسی شد. نمونه‌ها هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. از میان خصوصیات فیزیکی مورد نیاز بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری)، درصد سنگریزه (وزنی)، آب قابل دسترس (وزنی)، نفوذپذیری permeability، مقاومت به فروروی خاک (پنترومتری)، پایداری خاکدانه (الک تر) و جرم مخصوص ظاهری (استوانه فلزی)، از میان خصوصیات شیمیایی مقدار کربن آلی (والکی- بلک)، ازت کل (کجلدال)، درصد کربنات کلسیم (خنثی کردن مواد خنثی شونده با اسید کلریدریک)، درصد گچ (استون)، فسفر قابل‌جذب (اولسن)، پتاسیم قابل دسترس (استات آمونیوم نرمال pH=7)، pH (اسیدیته در گل اشباع)، EC (هدایت الکتریکی در عصاره اشباع) و CEC (باور در pH=8.2)، SAR و از میان خصوصیات بیولوژیکی تنفس پایه (تیتراسیون برگشتی با سود باقیمانده) اندازه‌گیری گردیدند.

روش ارزیابی کیفیت خاک

امتیازدهی معیارها

از آنجایی که خصوصیات اندازه‌گیری شده دارای واحدها و مقیاس‌های متفاوتی می‌باشند و قابل جمع یا ضرب نمودن نیستند، در این مرحله تبدیلاتی در خصوصیات اندازه‌گیری شده صورت گرفته و به داده‌هایی که قابلیت ترکیب دارند تبدیل می‌گردند. چهار نوع از معیارها بر طبق عملکردشان در کیفیت خاک مشخص می‌شوند که عبارت‌اند از: حد بالایی، حد پایینی، حد بهینه و تابع توصیفی. برای امتیازدهی (نرمال‌سازی) معیارهای حد بالایی، حد پایینی و حد پیک ازتوابع امتیازدهی استاندارد (Standard Scoring Function)(۱ و ۲۵) استفاده شد. معادلات SSF برای معیارها در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

تابع (۱): تابع امتیازدهی استاندارد برای حد بالایی (هر چه بیشتر، بهتر):

$$f(x)=\begin{cases}0.1 & x \le L \\ 0.9\times\dfrac{x-L}{u-L}+0.1 & L \le x \le U \\ 1 & x \ge U\end{cases}$$

تابع (۲): تابع امتیازدهی استاندارد برای حد پایینی (هر چه کمتر، بهتر):

$$f(x)=\begin{cases}1 & x \le L \\ 1-0.9\times\dfrac{x-L}{u-L} & L \le x \le U \\ 0.1 & x \ge U\end{cases}$$

تابع (۳): تابع امتیازدهی استاندارد برای حد بهینه: حد بهینه

$$f(x)=\begin{cases}0.1 \\ 0.9\times\dfrac{x-L1}{L2-L1}+0.1 \\ 1 \\ 0.9\times\dfrac{x-U1}{U2-U1}+0.1\end{cases} \quad x \le L1 \text{ or } x \ge U2$$

$$L1 \le x \le L2$$
$$L2 \le x \le U1$$
$$U1 \le x \le U2$$

لازم به ذکر است در معادلات فوق، x مقدار اندازه‌گیری شده برای هر معیار، f(x) امتیاز معیارها بین ۰/۱ تا ۱و L مقدار آستانه حداقل و U مقدار آستانه حداکثر می‌باشند. امتیازدهی معیارهای توصیفی بافت خاک و عمق خاک نیز بر اساس رتبه‌بندی‌های ارائه شده توسط کارشناسان انجام شد. در واقع کارشناسان خبره معیارهای کیفی را بر اساس دانش و تجربه خود امتیازدهی می‌نمایند.

انتخاب معیارها

انتخاب معیارها به دیدگاه و هدف مورد نظر محقق کیفیت خاک وابسته است. در این تحقیق از روش‌های معیاری مجموعه کل داده‌ها Total Data Set (TDS) و مجموعه داده‌های حداقل Minimum data set (MDS) استفاده شد. در روش معیاری TDS تمامی خصوصیات اندازه‌گیری شده (مجموعاً ۱۹ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک) لحاظ شدند (جدول ۱).

در روش معیاری MDS، به‌منظور شناسایی و انتخاب معیارهای جایگزین از میان کل معیارها باید از تکنیک کاهش داده (Data Reduction) بهره برد که از پرکاربردترین آن‌ها روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principle component analysis) است (۱۱) که یک روش آماری چند متغیره بوده و در نرم‌افزار SAS قابل اجرا می‌باشد. درواقع روش PCA ابزاری کاهنده جهت انتخاب مناسب‌ترین معیارها در منطقه مورد مطالعه و از میان کل معیارهای بررسی شده می‌باشد (جدول ۲).

وزن‌دهی

در این مقاله، از روش تحلیل عاملی (Factor Analysis) جهت تعیین اوزان معیارها استفاده شد (۴۶ و ۴۵)(جدول ۳).

محاسبه شاخص کیفیت خاک

به دلیل اینکه تفسیر تعداد زیادی متغیر و نتیجه‌گیری از آن‌ها بسیار مشکل می‌باشد، توصیه شده است که مجموعه متغیرها در یک شاخص تلفیق و ترکیب گردند. ترکیب کردن و ایجاد شاخص به‌صورت جمع یا ضرب داده‌ها با یکدیگر با اعمال وزن مناسب برای هر متغیر می‌باشد. بعد از اینکه معیارها رتبه‌دهی و وزن‌دهی شدند، شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از معادله شاخص کیفیت تجمعی (IQI)(۱۱) و معادله شاخص کیفیت نمرو (NQI)(۳۵ و ۲۱) محاسبه شدند.

$$IQI=\sum_{i=1}^{n} W_i N_i \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن W_i وزن تعیین شده، N_i رتبه معیار و n تعداد معیارها می‌باشد.

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

که در آن P_{ave} میانگین رتبه‌های معیارهای منتخب در هر محل، P_{min} حداقل رتبه‌های معیارهای منتخب در هر محل و n تعداد معیارها می‌باشد.

درجات کیفیت خاک

شاخص‌های کیفیت خاک به چهار درجه تقسیم شدند (جدول ۴). درجه‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک به‌دست آمده از روش انتخاب معیاری TDS و مدل IQI بر اساس میزان عملکرد مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه انجام شد و سایر شاخص‌ها نیز بر اساس IQI_{TDS} از نظر ارزش واقعی شاخص درجه‌بندی شدند. درجه I نشان‌دهنده مناسب‌ترین کیفیت خاک می‌باشد، درجه II مناسب است اما دارای محدودیت‌هایی برای رشد گیاه می‌باشد، درجه III محدودیت‌های شدید بیشتری نسبت به درجه II داشته و خاک‌های درجه IV شدیدترین محدودیت‌ها را برای رشد گیاهان دارند. نقشه توزیع مکانی درجه کیفیت خاک با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و روش کریجینگ معمولی تهیه گردید.

نتایج و بحث

کیفیت خاک بر اساس روش معیاری TDS

در میان تمامی معیارها، معیار هدایت الکتریکی بیشترین وزن (۰/۰۶) و معیار درصد گچ کمترین وزن (۰/۰۳) را داشتند. طبق روش معیاری TDS و مدل IQI، کیفیت خاک اراضی مطالعه شده در دشت قزوین در سال ۱۳۹۵ به چهار گروه خیلی خوب (I)، خوب (II)، متوسط (III) و ضعیف (IV) قابل تفکیک می‌باشد (شکل ۳، جدول ۸).

جدول ۱- نوع توابع استاندارد به کار گرفته شده جهت امتیازدهی معیارهای خاک در اراضی مطالعه شده دشت قزوین

Table 1- Standard scoring functions and parameters for quantitative soil indicators in Qazvin plain lands

معیار Index	واحد Unit	نوع تابع امتیازدهی استاندارد	حد پایینی اندازه‌گیری شده	حد بالایی اندازه‌گیری شده
جرم مخصوص ظاهری (Bulk density)	gr.cm3-	کمتر، بهتر	1	1.59
درصد سنگریزه (Coarse fragment)	%	کمتر، بهتر	0	35
درصد آهک (TNV)	%	کمتر، بهتر	0.47	23.87
درصد گچ ($CaSo_4$)	%	کمتر، بهتر	0	28.02
شوری (Ec)	dS.m-1	کمتر، بهتر	0.2	54.7
سختی (Hardness)	-	کمتر، بهتر	15	6106
نسبت سدیم قابل جذب (SAR)	-	کمتر، بهتر	0.06	151.86
تنفس پایه (Bacterial respiration)	mg CO2/kg.soil.day^{-1}	بیشتر، بهتر	0.044	2.75
کربن آلی (Organic carbon)	%	بیشتر، بهتر	0.15	1.76
نیتروژن کل (Total N)	%	بیشتر، بهتر	0.013	0.87
پتاسیم قابل جذب (K)	PPM	بیشتر، بهتر	11.81	870
پایداری خاکدانه (Aggregate stability)	-	بیشتر، بهتر	2.48	74.56
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	Cmol+.kg^{-1}	بیشتر، بهتر	8.32	23.3
آب قابل دسترس (Available water)	cm	بیشتر، بهتر	6.5	17.17
عمق خاک (Depth)	cm	بیشتر، بهتر	12	180
واکنش خاک (pH)	-	اپتیمم، بهتر	7.3	8.74
فسفر قابل جذب (P)	PPM	اپتیمم، بهتر	0.07	70.26
نفوذپذیزی (Permeability)	mm.h^{-1}	اپتیمم، بهتر	0.88	35
بافت خاک (Soil texture)		معیار توصیفی		

جدول ۲- نتایج آنالیز اجزای اصولی (PCA) معیارهای کیفیت خاک اراضی مطالعه شده دشت قزوین

Table 2- Results of Principal components analysis (PCA) of soil quality indicators in Qazvin Plain

PCs	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
مقدار ویژه (Eigenvalue)	4.5372	2.8011	1.9086	1.5097	1.4491	1.2494	1.1860
درصد (Percent)	0.216	0.133	0.091	0.072	0.069	0.059	0.056
درصد تجمعی (Cumulative percentage)	0.216	0.349	0.440	0.512	0.581	0.641	0.697
سختی (Hardness)	-0.137	-0.171	0.102	-0.156	-0.034	0.44	-0.26
تنفس میکروبی (Bacterial respiration)	0.114	0.111	-0.023	-0.308	0.054	-0.408	-0.285
جرم مخصوص ظاهری Bulk density	-0.165	-0.181	-0.205	-0.013	-0.001	-0.369	0.340
پایداری خاکدانه (Aggregate stability)	-0.188	0.306	-0.228	0.299	0.076	-0.780	-0.129
شن (Sand)	-0.437	-0.012	-0.112	-0.113	-0.030	-0.035	-0.025
سیلت (Silt)	0.151	0.165	0.375	-0.277	0.007	-0.067	0.337
رس (Clay)	0.406	-0.061	-0.054	0.239	0.036	-0.009	-0.132
سنگریزه (Coarse fragment)	-0.294	-0.171	-0.046	-0.029	-0.147	0.050	-0.154
شوری (EC)	0.255	-0.351	-0.324	-0.175	0.020	0.006	0.037
واکنش خاک (pH)	-0.061	0.224	-0.304	-0.043	0.328	-0.114	0.373
کربن آلی (Organic carbon)	0.082	0.360	-0.333	-0.081	-0.003	0.336	-0.001
نیتروژن کل (N)	0.095	0.210	-0.034	-0.124	-0.169	-0.236	-0.557
فسفر قابل جذب (P)	0.168	-0.026	-0.066	-0.411	0.424	0.052	-0.196
پتاسیم قابل جذب (K)	0.171	-0.059	-0.278	-0.013	-0.558	0.120	0.111
کربنات کلسیم ($CaCO_3$)	0.181	0.078	0.008	0.409	0.363	0.029	-0.128
گچ ($CaSO_4$)	0.160	-0.180	-0.046	0.417	-0.120	0.018	-0.024
طرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	0.089	0.295	-0.242	-0.095	0.050	0.445	0.081
نسبت جذب سدیم (SAR)	0.241	-0.319	-0.358	-0.196	-0.002	-0.048	0.030
آب قابل دسترس (Available water)	0.141	0.281	0.220	-0.163	-0.341	-0.045	0.140
نفوذپزیری (Permeability)	-0.388	-0.122	-0.162	-0.066	0.078	0.066	-0.112
عمق خاک (Soil depth)	-0.054	0.299	-0.286	0.024	-0.259	-0.288	-0.077

جدول ۳- مقدار اشتراک و وزن برآورد شده هر معیار کیفیت خاک در روش های معیاری TDS و MDS

Table 3- Estimated communality and weight value of each soil quality indicator in TDS and MDSindicator methods

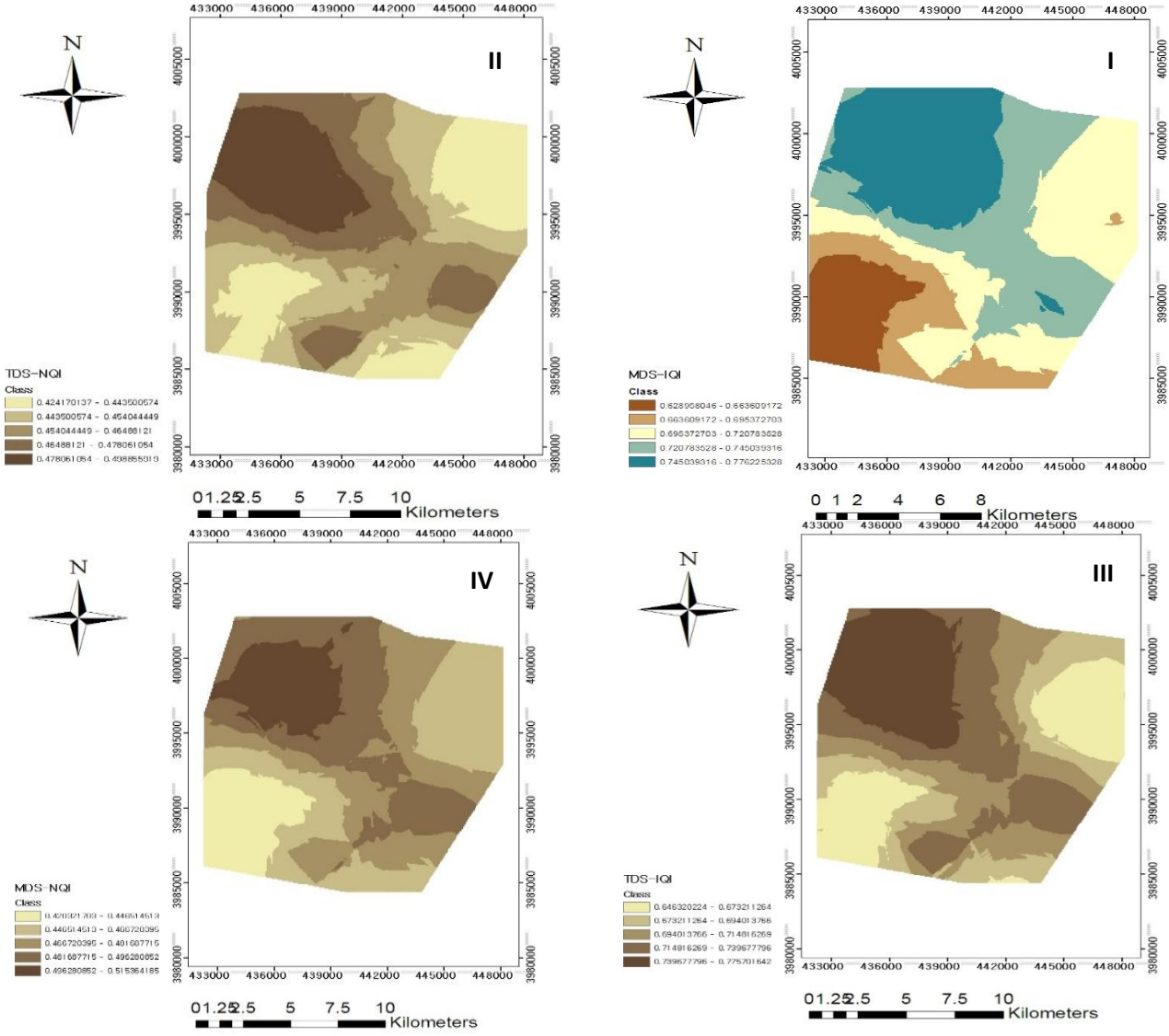
معیار (Index)	TDS		MDS		معیار (Index)	TDS		MDS	
	اشتراک هر معیار	وزن	اشتراک هر معیار	وزن		اشتراک هر معیار	وزن	اشتراک هر معیار	وزن
مقاومت به فروروی (penetration)		0.03	0.22	0.02	نیتروژن کل (N)		0.04	0.55	0.05
تنفس میکروبی (Bacterial respiration)		0.03	0.54	0.05	فسفر قابل جذب (P)		0.04	0.76	0.08
جرم مخصوص ظاهری Bulk density		0.04			پتاسیم قابل جذب (K)		0.05	0.75	0.08
پایداری خاکدانه (Aggregate stability)		0.04			کربنات کلسیم ($CaCO_3$)		0.04	0.62	0.06
شن (Sand)		0.06	0.88	0.09	گچ ($CaSO_4$)		0.03	0.51	0.05
سیلت (Silt)		0.04	0.38	0.04	طرفیت تبادل کاتیونی (CEC)		0.04	0.71	0.07
رس (Clay)		0.05	0.82	0.08	نسبت جذب سدیم (SAR)		0.05	0.91	0.09
سنگریزه (Coarse fragment)		0.03			آب قابل دسترس (Available water)		0.04		
شوری (EC)		0.06	0.88	0.09	نفوذپزیری (Permeability)		0.05		
واکنش خاک (pH)		0.04			عمق خاک (Soil depth)		0.04		
کربن آلی (Organic carbon)		0.05	0.78	0.08					

جدول ٤- تقسیم‌بندی‌های درجه کیفیت خاک در روش‌های مختلف معیاری و مدل‌ها (Qi et al., 2009)

Table 4- Criteria for soil quality grade divisions in different indicator methods and models (Qi et al., 2009)

مدل شاخص کیفیت خاک (Soil quality index model)	روش انتخاب معیار	درجه کیفیت خاک (Soil quality)			
		خیلی خوب (I) (Very good)	خوب (II) (Good)	متوسط (III) (Medium)	ضعیف (IV) (Weak)
شاخص کیفیت تجمعی (IQI)	TDS	0.8≤	0.7-0.8	0.6-0.7	0.6≥
	MDS	0.8≤	0.7-0.8	0.6-0.7	0.6≥
شاخص کیفیت نمرو (NQI)	TDS	0.5≤	0.4-0.5	0.3-0.4	0.3≥
	MDS	0.5≤	0.4-0.5	0.3-0.4	0.3≥

به طوری‌که ۲/۸۲٪ اراضی (معادل ۷۱۲/۳ هکتار) دارای درجه کیفیت خیلی خوب (I) و ۵۳/۵۶٪ اراضی (معادل ۱۳۵۰۸/۴ هکتار) دارای درجه کیفیت خوب (II)، ۳۰/۶۵٪ اراضی (معادل ۷۷۳۰/۳ هکتار) دارای درجه کیفیت متوسط (III)، ۱۲/۹۷٪ اراضی (معادل ۳۲۷۰/۶ هکتار) دارای درجه ضعیف (IV) بودند. در مقایسه انواع خاک موجود در منطقه مشاهده شد که اریدی سول‌ها دارای کیفیت خوب، متوسط و ضعیف (۱۹/۳۵٪ خاک با درجه کیفیت خوب، ۶۷/۷۶٪ با درجه کیفیت متوسط و ۱۲/۹۴٪ با درجه کیفیت ضعیف)، انتی سول‌ها دارای کیفیت خوب و متوسط (۵۳/۲۱٪ خاک با درجه کیفیت خوب و ۴۶/۷۹٪ با درجه کیفیت متوسط) و اینسپتی سول‌ها دارای کیفیت خیلی خوب، خوب، متوسط و ضعیف (۳/۹۶٪ خاک با درجه کیفیت خیلی خوب، ۶۶/۷۳٪ با درجه کیفیت خوب، ۱۵/۸۵٪ با درجه کیفیت متوسط و ۱۳/۴۴٪ با درجه کیفیت ضعیف) می‌باشند.



شکل ۲- توزیع کیفیت خاک بر اساس روش‌های معیاری و شاخص‌های متفاوت در اراضی دشت قزوین (I= MDS-IQI, II= TDS-NQI, III= TDS-IQI, IV=MDS-NQI)

Figure 2- Soil quality distribution based on different indicator methods and indices in Qazvin plain (I= MDS-IQI, II= TDS-NQI, III= TDS-IQI, IV=MDS-NQI)

طبق روش معیاری TDS و مدل NQI، خاک‌هایی با درجه کیفیت I، II و III به ترتیب ۳۰/۶۷٪، ۶۶/۸۶٪، ۲/۴۷٪ کل خاک های منطقه را شامل می‌شوند (اراضی با درجه کیفیت خاک ضعیف در روش TDS_{NQI} مشاهده نشد). طبق این روش اریدی سول‌ها دارای کیفیت خیلی خوب، خوب و متوسط (۱۳/۲۶٪ خاک با درجه کیفیت خیلی خوب، ۷۳/۸۸٪ با درجه کیفیت خوب و ۱۲/۸۴٪ با درجه کیفیت متوسط)، انتی سول‌ها دارای کیفیت خوب (۱۰۰٪ خاک با درجه کیفیت خوب) و اینسپتی سول‌ها دارای کیفیت خیلی خوب و خوب (۲۸/۱۱٪ خاک با درجه کیفیت خیلی خوب، ۷۱/۸۸٪ با درجه کیفیت خوب) می‌باشند.

کیفیت خاک بر اساس روش معیاری MDS

تعداد ۷ مؤلفه اصلی دارای Eigenvalue≤۱ در روش معیاری MDS بودند (جدول ۳). متغیرهای با وزن بالا برای اولین جز اصلی (PC1) شامل معیارهای (درصد شن و رس) می‌باشند. برای PC2، PC3 و PC4، به ترتیب معیارهای (هدایت الکتریکی و درصد کربن

آلی)، (درصد سیلت و SAR)، (فسفر قابل‌جذب، درصد آهک و گچ) بیشترین وزن و همبستگی را داشتند. پتاسیم قابل‌جذب، مقاومت به فروروی، تنفس،CEC و درصد نیتروژن کل نیز دارای بیشترین وزن در PC5، PC6 وPC7 بودند و در نتیجه معیارهای فوق برای MDS انتخاب شدند؛ بنابراین MDS نهایی شامل ۱۲ معیار از ۱۹ معیار اولیه می‌باشد.

کیفیت خاک با استفاده از روش معیاری MDS و مدل IQI ارزیابی کمی گردید. همان‌طور که در شکل ۳ و جدول ۸ ارائه شده است خاک‌هایی با درجه کیفیت خیلی خوب، خوب، متوسط و ضعیف به ترتیب ۲/۴۵، ۴۵/۱۶، ۴۸/۹۳ و ۳/۴۶ درصد از کل اراضی را تشکیل می‌دهند. نتایج حاصل از ترکیب روش معیاری MDS و مدل NQI هم نشان داد که خاک‌هایی با درجه کیفیت خیلی خوب، خوب و متوسط به ترتیب ۳۰/۶۷، ۶۶/۸۶ و ۲/۴۷ درصد از کل اراضی را تشکیل می‌دهند (جدول ۵).

جدول ۵- مساحت و درصد درجات کیفیت خاک درروش های معیاری و مدل‌های مختلف در قزوین، ۱۳۹۵

Table 5- Area and percentage of soil quality grades in different indicator methods and models in Qazvin, 1395

روش انتخاب معیار	درجه کیفیت خاک (Soil quality)	شاخص کیفیت تجمعی (IQI)				شاخص کیفیت نمرو (NQI)			
		اریدی سول (Aridisols)	اینسپتی سول (Inceptisols)	انتی سول (Entisols)	کل (Total)	اریدی سول (Aridisols)	اینسپتی سول (Inceptisols)	انتی سول (Entisols)	کل (Total)
		مساحت (ha)	مساحت (ha)	مساحت (ha)	مساحت (ha)	مساحت (ha)	مساحت (ha)	مساحت (ha)	مساحت (ha)
مجموعه کل داده ها (TDS)	خیلی خوب (Very good)	0	706.16	0	706.16	886.5	5042	0	5928.5
	خوب (Good)	1293.7	11888.80	322.81	13505.31	4938	12890	606.6	18434.6
	متوسط (Medium)	4529.54	2824.66	277.42	7631.62	858.6	0	0	858.6
	ضعیف (Weak)	865.46	2395.90	0	3261.36	0	0	0	0
مجموعه حداقل داده ها (MDS)	خیلی خوب (Very good)	0	610.4	0	610.4	1906	5830	0	7736
	خوب (Good)	741.6	10010	606.6	11358.2	4156	12100	606.6	16862.8
	متوسط (Medium)	5028	7307	0	12335	621.1	3.04	0	624.14
	ضعیف (Weak)	914.1	2.51	0	916.6	0	0	0	0

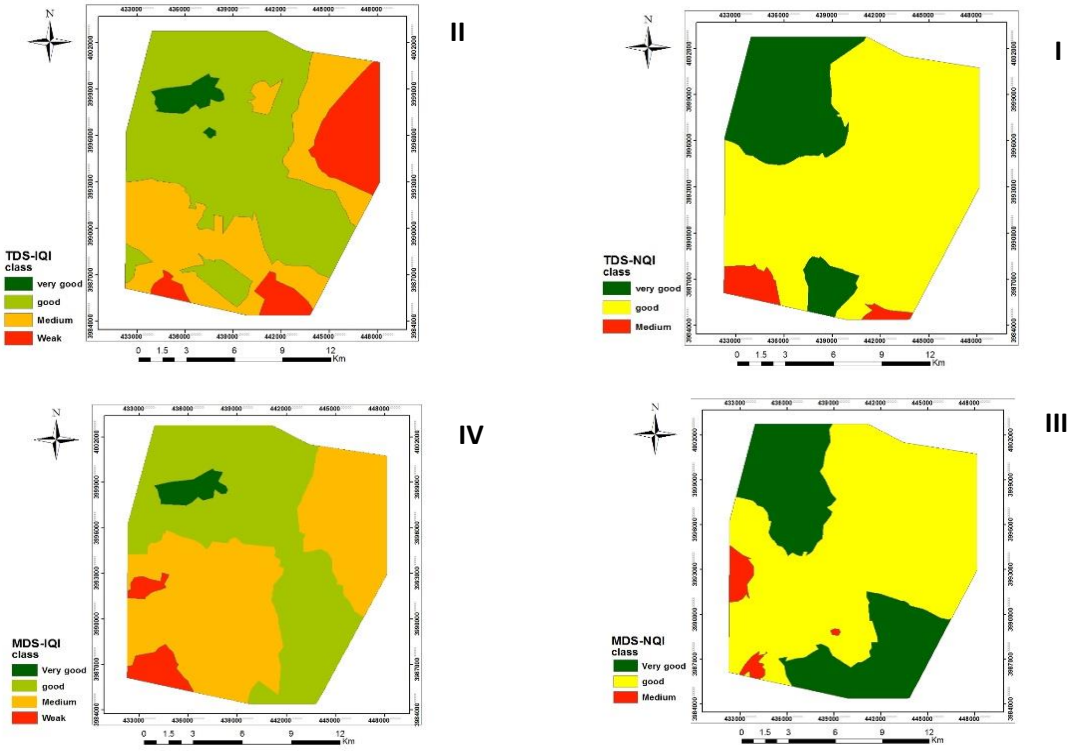
مقایسه توزیع درجات خاک

نتایج ارزیابی بر اساس ۴ شاخص همگی نشان دادند که کیفیت خوب (درجه II) در خاک‌های منطقه مورد مطالعه غالب بوده و تقریباً ۴۷ درصد از مساحت کل مطالعه شده در اراضی دشت قزوین را شامل می‌شود. از روی نقشه توزیع درجات کیفیت خاک (شکل ۳)، توزیع درجات خاک نسبتاً مشابه با هر چهار نوع روش ترکیبی انتخاب معیار و مدل مشاهده می‌شود.

رگرسیون و همبستگی

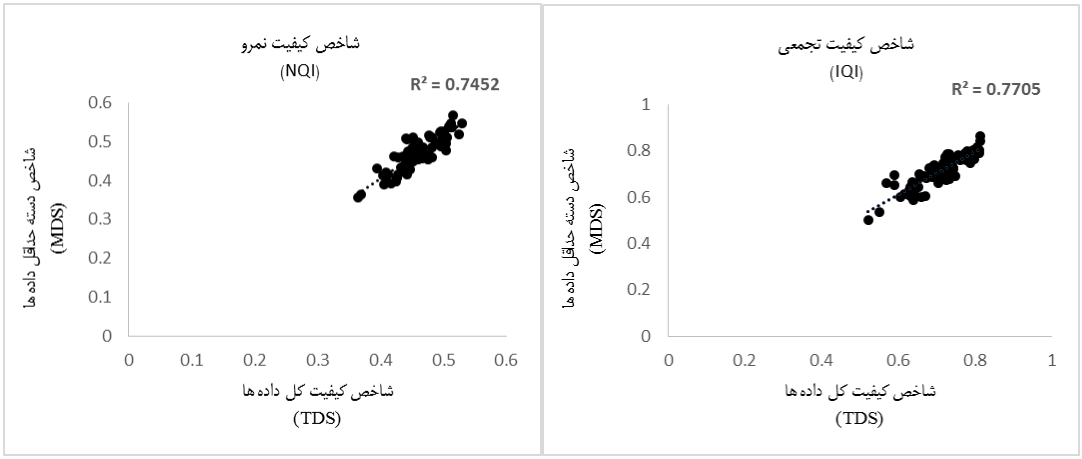
با بررسی رابطه خطی شاخص‌های به‌دست آمده از روش‌های انتخاب معیار TDS وMDS و مدل‌های شاخص‌سازی IQI و NQI، مشاهده می‌شود که ضریب همبستگی زمانی که مدل IQI استفاده می‌شود نسبت به مدل NQI بیشتر و قابل قبول‌تر می‌باشد (R^2=۰/۷۷)؛ بنابراین بیشترین مقدار ضریب همبستگی بین دو روش انتخاب معیار TDS و MDS را در زمان استفاده از مدل IQI مشاهده می‌کنیم.

کی و همکاران در سال ۲۰۰۹ تحقیقی را به‌منظور ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک بر روی اراضی کشاورزی منطقه Jiangsu چین انجام دادند. نتایج به‌دست آمده از روابط خطی بین شاخص‌های حاصل از روش‌ها و مدل‌های معیاری مختلف نشان دادند که ضرایب همبستگی در هنگام استفاده از مدل IQI بیشتر از مدل NQI بوده است و مدل IQI دارای مقادیر r^2 بیشتری بوده است (۴۰).



شکل ۳- تفکیک درجات کیفیت خاک بر اساس روش‌های معیاری و شاخص‌های متفاوت در اراضی دشت قزوین (I= TDS-NQI, II= TDS-IQI, III= MDS-NQI, IV=MDS-NQI)

Figure 3- Resolution map of soil quality grades based on different indicator methods and indices in Qazvin plain lands (I= TDS-NQI, II= TDS-IQI, III= MDS-NQI, IV=MDS-NQI)



شکل ٤- روابط خطی شاخص‌ها برای مقایسه روش معیاریTDS با روش معیاری MDS

Figure 4- Linear relationship of indices comparing the MDS indicator method with TDS indicator method

روش‌های معیاری

امروزه مطالعات زیادی در خصوص ارزیابی کیفیت خاک در جهان صورت گرفته است، اما طی ده سال گذشته کمتر از ۲۰ درصد این مطالعات بر ارزیابی سطح کیفیت خاک با حداقل داده و روش‌های دستیابی به آن معطوف بوده است (۱۵ و ۲۰). معیارها در روش MDS با استفاده از مجموعه معیارهای کل TDS انتخاب شدند و تعداد معیارها از ۱۹ در روش TDS به ۱۲ در روش MDS کاهش یافت. معیارهای حذف شده عبارت‌اند از عمق خاک، جرم مخصوص ظاهری، درصد سنگریزه، آب قابل دسترس، نفوذپذیری، پایداری خاکدانه و pH. تقریباً تمام ۱۲ معیار استفاده شده در روش MDS را می‌توان در

روش‌های انتخاب معیار MDS در مطالعات گذشته مشاهده نمود (۱۱، ۲۵، ۲۸، ۴۷ و ۸)؛ اما به‌هر حال لیست معیارهای منتخب در این تحقیق با توجه به شرایط اقلیمی و وضعیت خاک منطقه قابل قبول می‌باشد و شامل مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است. به‌عنوان مثال ویژگی‌هایی مثل درصد سنگریزه (۴۷) و یا جمعیت میکروبی (۱۷) در لیست معیارهای منتخب در این تحقیق نبودند زیرا برای مقایسه شاخص در مقیاس کوچک حائز اهمیت نمی باشند. نتایج نشان می‌دهند که در منطقه مطالعاتی دشت قزوین SAR, EC و شن خصوصیات دارای بیشترین وزن و مقاومت به فروروی دارای کمترین وزن در روش انتخاب معیار MDS می‌باشند. این در حالی است که در تحقیقات سایر محققان نتایج متفاوتی ارائه شده است که حاکی از تفاوت در معیارهای حائز اهمیت در خاک‌های متفاوت با سیستم‌های کشت مختلف، مدیریت کشت و اقلیم متفاوت و غیره می‌باشد (۳۶). Imaz و همکاران (۲۰۱۰)، مقدار کربن آلی خاک، فسفر قابل جذب، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوی شن خاک را به‌عنوان حداقل مجموع داده در ارزیابی کیفیت خاک اراضی تحت کشت معرفی نمودند (۲۴).

معمولاً معیارهای بیشتر کیفیت خاک را به‌طور جامع‌تری ارائه می‌دهند اما زمانی که همبستگی قابل توجهی بین ویژگی‌ها وجود داشته باشد، تکرار باعث بروز مشکلاتی می‌شود: مثلاً ماده آلی و ازت کل و آنالیزهای آزمایشگاهی با بسیاری از ویژگی‌های خاک تداخل دارند. از سویی دیگر، حذف برخی از ویژگی‌های خاک به معنی حذف شدن اطلاعات کیفیت خاک می‌باشد. به‌عنوان مثال در روش انتخاب معیاری MDS، تنها PC هایی با Eigenvalue≤۱ انتخاب شده و از میان آن‌ها معیارهایی با بیشترین وزن به‌علاوه معیارهایی که حداکثر ۱۰٪ اختلاف با آن‌ها دارند، انتخاب می‌شوند (جدول ۴). اگر که معیار با بیشترین وزن همبستگی قابل توجهی با سایر معیارها داشته باشد، معیار می‌تواند به‌اندازه کافی نشان دهنده معیار دیگری در PC باشد و به‌این ترتیب برخی از اطلاعات کیفیت خاک از بین می‌روند.

نتیجه‌گیری

استفاده از مدل‌های IQI و NQI دارای مزیت‌هایی نسبت به سایر شاخص‌ها می‌باشد: ۱) محققان و مدیران خاک و همچنین کشاورزان هر دو نوع شاخص را به خاطر طبیعت قابل‌فهمشان (۵۳ و ۴۵) به‌راحتی درک می‌کنند، ۲) هر دو شاخص اطلاعات را بر اساس روش‌های ریاضی ترکیب می‌نمایند که منجر به افزایش اطمینان داده‌ها می‌شود و ۳) هر دو شاخص می‌توانند زمینه‌ای را برای برنامه ریزی سایر تحقیقات کشاورزی فراهم نمایند. اگرچه نتایج نسبتاً مشابهی از دو مدل ارزیابی کیفیت خاک به دست آمدند، مدل IQI_{TDS} برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در دشت قزوین مناسب‌تر عمل نمود. در مدل IQI_{TDS} کیفیت خاک با استفاده از تمامی معیارها تعیین می‌شود اما همیشه توسط معیارهای مهم متعددی هدایت می‌شود و وزن‌های بیشتر متعلق به معیارهای کلیدی می‌باشند. در مدل NQI با کل معیارها به‌جز معیاری با حداقل رتبه، به‌طور مشابهی رفتار می‌شود. معیار با حداقل رتبه به میانگین رتبه‌ها اضافه می‌شود و به‌طورمؤثری وزن بیشتری به آن اعطا می‌شود. به‌عبارتی‌دیگر، در حالی‌که مدل IQI رتبه هر معیار را به‌طور مستقلی ارائه می‌دهد، مدل NQI ترجیحا تنها به معیاری با حداقل رتبه اهمیت می‌دهد. این تحقیق پیشنهاد می‌نماید که استفاده از شاخص‌های کیفیت خاک برای ارزیابی کیفیت خاک اراضی کشاورزی می‌تواند نتایج مشابهی را ارائه بدهد حتی زمانی که روش‌های انتخاب معیار و مدل‌های متفاوت در منطقه مورد مطالعه استفاده شده باشند. در این مطالعه IQI_{TDS} دقیق‌ترین روش برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه تعیین گردید زیرا تمامی پارامترهای خاک را لحاظ نموده و درنتیجه نتایج بسیار قابل قبولی را ارائه می نماید. به هر طریق، برای اینکه یک روش برای تحقیق استاندارد شده و بحث و تعاون را تسهیل نماید، روش استاندارد باید سریع، قابل اطمینان و از نظر اقتصادی منعطف باشد. به همین دلیل، روش انتخاب معیار MDS مناسب‌تر از روش TDS می‌باشد زیرا به‌طور کافی نتایجی شبیه به روش TDS را نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه استفاده از مدل IQI با روش انتخاب معیار MDS را به‌عنوان نقطه شروع در مسیر استاندارد جهانی برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌نماید. البته باید به معیارهایی که در روش MDS انتخاب می‌شوند توجه ویژه‌ای داشت. به‌علاوه، انجام یکسری تحقیقات در آینده به‌منظور اصلاح مدل IQI_{MDS} می‌تواند آن را برای استانداردهای بین‌المللی مناسب‌تر نماید.

منابع

1- Andrews S.S., Flora C.B., Mitchell J.P., and Karlen D.L. 2003. Growers perceptions and acceptance of soil quality indices. Geoderma, 114:187-213.

2- Andrews S.S., Mitchell J.P., Mancinelli R., Karlen K.L., Hartz T.K., Horwath W.R., Pettygrove G.S., Scow K.M., and Munk D.S. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. Agronomy Journal, 94:12–23.

3- 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.
4- 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.
5- Beinat E., and Nijkamp P. 1998. Multicriteria Analysis for Land-Use Management. Kluwer Academic Publishing, Boston.
6- Bindraban P.S., Stoorvogel J.J., Jansen D.M., Vlaming J., and Groot J.J.R. 2000. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. Agriculture, Ecosystems & Environment, 81:103–112.
7- Burrough P.A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. European Journal of Soil Science, 40:477–492.
8- 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: 201–214.
9- Ditzler C.A., and Tugel A.J. 2002. Soil quality field tools of USDANRCS soil quality institute. Agronomy Journal 94:33–38.
10- Dobermann A., and Oberthur T. 1997. Fuzzy mapping of soil fertility — a case study onirrigated riceland in the Philippines. Geoderma, 77:317–339.
11- Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., and Stewart B.A. 1994. Defining soil quality for asustainable environment. SSSA Special Publication. 35. Soil Science Society ofAmerica, Madison, WI, USA.
12- Doran J.W., and Jones A.J. 1996. Methods for Assessing Soil Quality. Soil ScienceSociety of America Special Publication, vol. 49, Madison.
13- Doran J.W., and Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. P. 3-21. In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A. (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. 35. ASA and SSSA, Madison, WI.
14- Dumanski J., and Pieri C. 2000. Land quality indicators: research plan. Agriculture, Ecosystems & Environment, 81:93–102.
15- 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.
16- FAO. 1996. Agro-ecological zoning guidelines. FAO Rome.
17- Fu B. 1991. Theory and practice of land evaluation. China Science and Technology Press, Beijing.
18- Glover J.D., Reganold J.P., and Andrews P.K. 2000. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. Agriculture, Ecosystems and Environment, 80:29-45.
19- Govaerts B., Sayre K.D., and Deckers J. 2006. A minimum data set for soil quality assessmentof wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. Soil &Tillage Research, 87:163–174.
20- Gullin Li., Chen J., Sun Z., and Tan M. 2007. Establishing a minimum dataset for soil quality assessment based on soil properties and land-use changes. Acta Ecological Sinica, 27: 2715-2724.
21- Han W.J., and Wu Q.T. 1994. A primary approach on the quantitative assessment of soilquality. Chinese Journal of Soil Science, 25:245–247. (In Chinese with English Abstract).
22- Herrick J. E., Brown J. R., Tugel A. J., Shaver P. L., and Havstad K. M. 2002. Application of soil quality to monitoring and management: paradigms from rangeland ecology. Agronomy Journal, 94:3–11.
23- Hillel D. 1991. Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil. University of California Press, Berkeley.
24- Imaz M.J., Virto I., Bescansa P., Enrique A., Fernandez-Ugalde O., and Karlen D.L. 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. Soil and Tillage Research, 107:17-25.
25- Karlen D.L., Gardner J.C., and Rosek M.J. 1998. A soil quality framework for evaluating theimpact of CRP. Journal of Production Agriculture, 11:56–60.
26- Karlen D.L., M.J. Mausbach J.W., Doran R.G., Cline R.F., Harris G.E., and Schuman. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Science Society of America Journal, 61:4-10.
27- Karlen D.L., and Scott D.E. 1994. A framework for evaluating physical and chemicalindicators of soil quality. P. 53-72. In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A. (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. ASA and SSSA, Madison,WI.
28- Karlen D.L., Tomer M.D., Neppel J., and Cambardella C.A. 2008. A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central low a, USA. Soil and Tillage Research, 99:291-299.
29- Karlen D.l., Wollenhaupt N.C., Erbach D.C., Berry E.C., Swan J.B., Eash N.S., and Jordahl J.L. 1994. Long-term tillage effects on soil quality. Soil and Tillage Research, 32:313-327.

30- Lal R. 1999. Soil quality and food security: the global perspective. P. 3-16. In: Lal, R. (Ed.), Soil Quality and Soil Erosion. CRC Press, Boca Raton.
31- Larson W.E., and Pierce F.J. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainablemanagement. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
32- Masto R.E., Chhonkar P.K., Singh D., and Patra A.K. 2008. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilization and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. Environmental Monitoring and Assessment, 136:419-435.
33- McBratney A.B., and Odeh I.O.A. 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. Geoderma, 77:85–113.
34- Mohaghegh P., Naderi M., and Mohamadi. 2016. Determination of effective indicators for soil quality assessment in different land use typesof Chughakhor basin. Soil and Water Conservation Journal, 3:55-71. (In Persian with English abstract)
35- Monreal C.M., Dinel H., Schnitzer M., Gamble D.S., and Biederbeck V.O. 1998. Impact of carbon sequestration on functional indicators of soil quality as influenced by management in sustainable agriculture. P. 435-457. In: Lal R., Kimble J.M., Follett R.F., Stewart B.A. (Eds.), Soil Processes and the Carbon Cycle. CRC Press, Boca Raton.
36- National Research Council. 1993. Soil and Water Quality: an Agenda for Agriculture. National Academy Press, Washington, DC.
37- Nazzareno D., and Michele C. 2004. Multivariate indicator kriging approach using a GIS toclassify soil degradation for Mediterranean agricultural lands. Ecological Indicators, 3:177–187.
38- Pieri C., Dumanski J., Hamblin A., and Young A. 1995. Land Quality Indicators.World BankDiscussion Papers. Washington DC.
39- Qi Y., Darilek J., Huang B., Zhao Y., Sun W., and Gu Zh. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma, 149:325–334.
40- Qin M.Z., and Zhao J. 2000. Strategies for sustainable use and characteristics of soil qualitychanges in urban-rural marginal area: a case study of Kaifeng. Acta Geographica Sinica-Chinese edition, 55:545–554 (In Chinese with English abstract).
41- Rasouli M.H., Ghodrat K., Ashrafi S., Jafari M., and Khodaverdiloo H. 2016. Evaluation of soil quality indices in Northern Zagros Forests (case study:Oshnaviye-west Azirbaijan). Soil Management and Sustainable Production, 3:83-89. (In Persian with English abstract)
42- Reeves D.W. 1997. The role of organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Soil & Tillage Research, 43:131–167.
43- Reynolds W. D., Bowman B. T., Drury C. F., Tan C. S., and Lu X. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. Geoderma, 110:131–146.
44- 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.
45- Rezaei S.A., Gilkes R.J., and Andrews S.S. 2006. A minimum data set for assessing soilquality in rangelands. Geoderma, 136:229–234.
46- Shahab H., Emami H., Haghnia G.H., and Karimi A. 2013. Pore size distribution as a soil physical quality index for agricultural and pasture soils in northeastern Iran. Pedosphere, 23:312-320.
47- Shukla M.K., Lal R., and Ebinger M. 2006. Determining soil quality indicators by factoranalysis. Soil & Tillage Research, 87:194–204.
48- Singer M.J., and Ewing S. 2000. Soil quality. In: Sumner, M.E. (Ed.), Handbook of SoilScience. CRC Press, Boca Raton, FL.
49- Singh M. J., and Khera K. L. 2009. Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land uses. Arid Land Research and Management, 23:152–167.
50- Smith J.L., Halvaorson J.J., and Papendick R.I. 1994. Using multiple-variable indicatorkriging for evaluating soil quality. Soil Science Society of America Journal, 57:743–749.
51- Stamatiadis S., Doran J.W., and Kettler T. 1999. Field and laboratory evaluation of soilquality changes resulting from injection of liquid sewage sludge. Applied Soil Ecology, 12:263–272.
52- Sun B., Zhou S.L., and Zhao Q.G. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soilquality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. Geoderma, 115:85–99.
53- Tang X. 1997. Fuzzy comprehensive evaluation of the productivity of purple soil in SichuanProvince, China. The Advance in Soil Research, 28:107–109. (In Chinese with English abstract).
54- Topp G. C., Reynolds W. D., Cook F. J., Kirby J. M., and Carter M. R. 1997. Chapter 2: Physical attributes of soil quality. P. 21-58. In Gregorich E. G. and Carter M. R. (eds.) Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Elsevier, Amsterdam.

55- Van der Ploeg R.R., Böhm W., and Kirkham M.B. 1999. On the origin of the theory of mineralnutrition of plants and the law of the minimum. Soil Science Society of America Journal, 63:1055–1062.
56- Wander M.M., Walter G.L., Nissen T.M., Billero G.A., Andrews S.S., and Cavanaugh Grant D.A. 2002. Soil quality: science and process. Agronomy Journal, 94:23–32.
57- Wang X.J., and Gong Z.T. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after elevenyears of reclamation in subtropical China. Geoderma, 81:339–355.
58- Wienhold B.J., Pikul J., Liebig M.A., Mikha M.M., Varvel G.E., Doran J.W., and Andrews S.S. 2006. Cropping system effects on soil quality in the Great Plains: synthesis from a regional project. Renewable Agriculture and Food Systems, 21:49-59.
59- Yao R.J., Yang J.S., Zhao X.F., Li X.M., and Liu M.X. 2013. Dtermining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. Soil and Tillage Research, 128:137-148.
60- Zhang B., Zhang Y., Chen D., White R.E., and Li Y. 2004. A quantitative evaluation system ofsoil productivity for intensive agriculture in China. Geoderma, 123:319–331.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 2, May.-Jan. 2018, p. 359-374

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۷، ص. ۳۷۴-۳۵۹

Soil Quality Evaluation of Semi-arid and Arid Lands in Qazvin Plain, Iran

S. Azarneshan[1]- F. Khormali[2*]- F. Sarmadian[3]- F. Kiani[4]– K. Eftekhari[5]

Received: 08-11-2017
Accepted: 15-04-2018

Introduction: Assessing the soil quality of agricultural land is essential for the economic success and sustainability of the environment in developing countries. Recently, there are many types of methods for assessing soil quality, each of them uses different criteria. Considering that Qazvin plain is one of the most important regions of agricultural products in Iran as well as Middle East, so the assessment of the soil status using quantitative models of soil quality can be used as an indicator of the status of soils in relation to sustainable agriculture, optimal utilization of resources Natural and better land management. Among the quantitative models of soil quality index, cumulative model integrated quality index (IQI) and Nomero (NQI) index can be mentioned. Therefore, this study intends to evaluate the best quantitative and quality index model by examining and comparing two methods of selecting the appropriate criteria, Total data set (TDS) and Minimum (MDS) and the second order soil quality index, integrated quality index(IQI) and Nomero (NQI) index in Qazvin plain lands.

Material and Methods: The study area with 25220 hectares is located in east of Qazvin Province. The average annual precipitation is 275 mm and the soil moisture and temperature regimes are Thermic, Dry xeric and Weak Aridic, respectively. A total of 76 samples from the depth of 0-20 cm of the soil surface were studied and based on uniformity, soil type and land use. In this study, four types of criteria that affect the quality of soil in terms of their performance, including: upper limit, lower limit, optimal limit and descriptive function were selected. To qualify (normalize), the upper limit, lower limit and peak limit were selected. In the following, the Total Data Set (TDS) and the Minimum Data Set (MDS) set of data were used. In the TDS method, all of the measured characteristics (a total of 19 physicals, chemical and biological properties of the soil) were considered. Then, the degree of soil quality indices was determined based on the combination of TDS and MDS criteria and the final NQI and IQI quality indices.

Result and Discussion: Comparison of soil types in the region showed that the Aridisols had good, moderate and poor quality (19.35% of soil with good quality, 67.76% with moderate quality and 12.94% with poor quality), Entisols have good and medium quality (53.21% of the soil with good quality and 46.79% with moderate quality) and Inceptisols have very good, good, moderate and poor quality (96.9% Soils with very good quality, 66.73% with good quality, 15.85% with moderate quality and 13.44% with poor quality).

According to the TDS standard and the NQI model, the soils with qualities I, II and III were 30.67%, 66.86%, 47.2% of the total soils of the area (lands with poor quality soil quality were not observed in TDS_{NQI} method). Therefore, according to this method, Aridisols has a very good, good and medium quality (13.26% of the soil with a very good quality rating, 73.88% with a good quality and 12.84% with a moderate quality grade), Entisols with The good quality (100% of the soil with good quality degree) and Inceptisols have a very good and good quality (28.11% of the soil with a very good quality grade, 71.88% with a good quality grade). The results of quantitative soil quality by using the MDS standard method and IQI model were showed, soils with very good, good, moderate and poor degree are 2.45, 16.45, 48.93 and 46.3 percent of total land area respectively.

The results of the combination of the MDS and the NQI model also showed that the soils with a very good, good and average grade are 30.67%, 66.86% and 47.2% of the total land, respectively. Also, the results of the combination of the MDS and NQI model showed that the soils with very good, good and average quality are 30.67%, 66.86% and 47.2% of the total land area respectively. The results of the evaluation based on 4 indicators showed that good quality (II) was prevalent in the studied soils and accounted for about 47% of the total area studied in Qazvin plain lands. The map of distribution of soil quality degrees, the distribution of soil degrees is relatively similar to all of four combination methods, the choice of criteria and model. By examining the linear relationship between the indices obtained from TDS and MDS criteria and the IQI and NQI indexes, it is observed that the correlation coefficient is more and more reliable than the NQI model when used in the IQI model (R2 = 0.77). So the highest correlation coefficient we observed two methods for selecting the TDS and

1, 2 and 4– Ph.D. Student, Professor and Associate Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran, Respectively
(*- Corresponding Author Email: khormali@yahoo.com)
3- Professor, Department of Soil Scince, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
5- Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Karaj

MDS criteria when using the IQI model. In general, the results of this study indicate a better performance of the MDS criteria than TDS.

Conclusions: Therefore, the main results of this study suggest using the IQI model with the MDS selection method as the starting point in the global standard path for future studies. Special attention should be paid to the criteria chosen by the MDS. In addition, conducting a series of research into the future in order to modify the MDS_{IQI} model can make it more relevant to international standards.

Keywords: GIS, MDS, Soil quality index, TDS