بررسی کیفیت خاک در بخشی از اراضی کوهین استان قزوین

فریدون سرمدیان[1] و سجاد تیموری بردیانی

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکداگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ fsarmad@ut.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکداگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ sajjad.temuri@ut.ac.ir

ص 427 - 438

دریافت: 1401/4/21 و پذیرش: 1401/12/9

چکیده

کیفیت خاک را می‌توان از دو بُعد کیفیت ذاتی و کیفیت پویا مورد مطالعه قرارداد. بُعد ذاتی کیفیت خاک به عوامل خاک‌سازی وابسته است، اما، بعد پویای کیفیت خاک، ویژگی‌هایی از خاک است که بسته به نوع مدیریت تغییر می‌کند و بیانگر وضعیت سلامت خاک است. در این تحقیق، کیفیت خاک بخشی از اراضی قزوین با استفاده از دو شاخص کیفیت تجمعی خاک و شاخص کیفیت "نمرو" محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص کیفیت تجمعی با مدل کروی و شاخص کیفیت نمرو با مدل نمایی منطبق بودند و ضریب تبیین هر دو شاخص 0/87 به دست آمد که بیانگر همبستگی خوب مدل برازش داده شده با نقاط مشاهده‌ای است. در مقایسه با روش وزن‌دهی معکوس‌فاصله، روش کریجینگ معمولی برای هر دو شاخص کیفیت خاک، مقدار میانگین خطای اریبی و ریشه دوم میانگین مربعات خطای کمتری داشت. نقشه‌های کیفیت خاک منطقه موردمطالعه به کمک دو شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو بر پایه روش‌های کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله ترسیم شد. الگوی کیفیت خاک برای هر دو شاخص تقریباً یکسان بود. بر اساس شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو، خاک قسمت‌های شمالی و شمال غربی منطقه موردمطالعه کمترین مقادیر کیفیت خاک (0/4 و 0/+28) و قسمت جنوب و جنوب شرقی بیشترین مقادیر کیفیت (0/7 و 0/5) را به ترتیب داشتند. دو شاخص کیفیت خاک با کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و نیتروژن و پتاسیم رابطه‌ای مثبت و معنی‌داری نشان دادند، اما این روابط با جرم مخصوص ظاهری و اسیدیته خاک رابطهٔ منفی و معنی‌دار بود. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کیفیت خاک منطقه متأثر از ویژگی‌های پویای خاک است و توجه به حفظ این ویژگی‌ها اهمیت خاص دارد.

واژه های کلیدی: شاخص کیفیت تجمعی، شاخص نمرو، کریجینگ، وزن‌دهی معکوس.

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: کرج، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکداگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

مقدمه

کشاورزی دقیق مبتنی بر استفاده از مجموعه‌ای از فنون و فناوری‌هایی است که برای ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و گیاه برای تسهیل و بهینه‌سازی مدیریت خاک ابداع شده‌اند که اغلب به استفاده از چندین متغیر برای اتخاذ تصمیم درست نیاز دارد (روی، 2020، محمد و همکاران، 2020). همچنین در سال‌های اخیر، استفاده پایدار از منابع طبیعی و ایجاد تعادل بین میزان تولید محصولات کشاورزی و بهبود کیفیت منابع طبیعی بسیار موردتوجه قرار گرفته است. خاک یکی از مهم‌ترین منابعی است که در صورت ارزیابی و مدیریت خوب می‌تواند به پرکردن شکاف تقاضای مواد غذایی برای دستیابی به امنیت غذایی کمک کند (شکُر و همکاران، 2021). پیچیدگی‌های موجود در خاک به‌طورجدی اطلاعات ما را در چگونگی کارکردهای آن محدود کرده است (کارلان و همکاران، 2008). دوران و پارکین کیفیت خاک را تابعی از ظرفیت‌های خاک برای رفع کمبودهای اکوسیستم و کاربری اراضی در راستای حفظ بهره‌وری و حاصلخیزی، عدم آلودگی زیست‌محیطی و ارتقای سلامت گیاه، حیوان و انسان تعریف کرده‌اند. (دوران و پارکین، 1994، دوران و پارکین، 1996). کیفیت خاک باعث افزایش ظرفیت خاک برای بالابردن عملکرد گیاهان، حفاظت از حوزه‌های آبخیز با بهبود نفوذ آب و توزیع درست روان آب و جلوگیری از آلودگی آب‌وهوا با آلاینده‌های بالقوه مانند مواد شیمیایی کشاورزی، ضایعات آلی و مواد شیمیایی صنعتی می‌شود. (سیمز و همکاران، 1997)

کیفیت خاک را می‌توان از دو بُعد کیفیت ذاتی و پویای خاک موردمطالعه قرارداد (واسو، 2016). بُعد ذاتی کیفیت خاک تحت‌تأثیر عوامل خاک‌سازی است که به‌وسیله دانشمند سویسی هَنس ینی معرفی شده‌اند؛ اما بعد پویای کیفیت خاک، ویژگی‌هایی از خاک است که بسته به نوع مدیریت تغییر می‌کنند و بیانگر وضعیت سلامت خاک است. (سمائی و همکاران، 2022). یکی از مؤلفه‌های مهم ارزیابی کیفیت خاک، شناسایی مجموعه‌ای از ویژگی‌های حساس خاک بوده که منعکس‌کننده ظرفیت خاک برای عملکرد است و می‌تواند به‌عنوان شاخص کیفیت خاک مورداستفاده قرار گیرد. ازآنجایی‌که مدیریت معمولاً فقط اثرات کوتاه‌مدت محدودی بر ویژگی‌های ذاتی مانند بافت و کانی‌شناسی دارد، شاخص‌های دیگری از جمله شاخص‌های بیولوژیکی موردنیاز است. تمایز بین ویژگی‌های ذاتی (ایستا) و قابل مدیریت (پویا)، مطلق نیست و همچنین وابسته به اراضی است (شویلچ و همکاران، 2016).

مفهوم کیفیت خاک شامل ارزیابی خواص خاک و فرایندهای مؤثر بر آن است؛ زیرا این دو مورد به توانایی خاک برای عملکرد مؤثر به‌عنوان یک اکوسیستم سالم مرتبط هستند (بونمان و همکاران، 2018). بااین‌وجود کیفیت خاک به طور مستقیم قابل‌اندازه‌گیری نیست و باید از شاخص‌های کیفیت خاک استنتاج شود (بی‌سواس و همکاران، 2017). شاخص‌های کیفیت خاک مجموعه‌ای از ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری خاک هستند که بر ظرفیت آن برای تولید محصولات زراعی یا عملکرد محیطی تأثیر می‌گذارند و نسبت به تغییر کاربری، مدیریت یا عملیات حفاظتی حساس هستند (تاکوتسینگ و همکاران، 2016). دستیابی به روش‌ها و شاخص‌های مناسب ارزیابی کیفیت خاک به علت تأثیر مهم آن بر نتیجه‌گیری و قضاوت نهایی در مورد وضعیت کیفیت و مدیریت خاک، از جمله مهم‌ترین مسائل موردتوجه است (بی‌سواس و همکاران، 2017). تابه‌حال روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری داده‌ها، تعیین و ارزیابی کیفیت خاک مورداستفاده قرار گرفته است. از روش‌های عمدتاً کیفی تا کاملاً کمی شامل کارت‌های نمره دهی[1]، ارزیابی بصری خاک[2]، محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک و روش‌های کریجینگ چندمتغیره (مسعود و همکاران، 2018) در تخمین و ارزیابی کیفیت خاک استفاده شده است.

1. Scorecards
2. Visual Soil Assessments

همچنین تمامی شاخص‌های خاک اعم شاخص تخریب خاک[1]، شاخص حاصلخیزی خاک[2]، شاخص کیفیت خاک[3] و شاخص انعطاف‌پذیری خاک[4] از شاخص پایداری خاک[5] مشتق شدند. نرخ تخریب خاک (SDR) و شاخص انعطاف‌پذیری خاک (SRR) عوامل مهمی هستند که ویژگی‌های ذاتی خاک را بررسی می‌کنند، درحالی‌که شاخص کیفیت خاک (SQI) و شاخص حاصلخیزی خاک (SFI) مهم‌ترین شاخص‌ها برای نشان‌دادن شرایط داخل خاک هستند (عبدالرحمن و همکاران، 2022).

در بین این روش‌ها، محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک بیشتر متداول بوده است، زیرا به‌آسانی و با استفاده از نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی قابل تخمین بوده و از انعطاف بالائی برخوردار است، بدین معنی که وظایف و خصوصیات مختلفی از خاک را بسته به اهمیت آن‌ها و دردسترس‌بودن داده‌ها، می‌توان در مدل وارد نمود (کی و همکاران، 2009). همچنین شاخص‌های کیفی خاک برای ارزیابی کمی کیفیت خاک بسیار موثراند. شاخص‌های IQI و NQI اطلاعات را بر اساس روش‌های ریاضی ترکیب می‌کنند، بنابراین اطمینان نتایج نهایی را افزایش می‌دهند (سمائی و همکاران، 2022).

امروزه شاخص‌های کمی زیادی مانند شاخص کیفیت تجمعی[6] و شاخص کیفیت نمرو[7] برای محاسبه شاخص کیفیت خاک ابداع شده است (الرمادی، 2014). برای محاسبه شاخص کیفیت تجمعی، با استفاده از توابع امتیازدهی استاندارد، برای هر مشخصه یک امتیاز تعیین شده و از مجموع حاصل‌ضرب امتیاز هر مشخصه در ضریب وزنی آن، مقدار شاخص محاسبه می‌شود (دوران و جونز، 1996). همچنین شاخص کیفیت نمرو بر اساس میانگین و حداقل ویژگی‌ها محاسبه می‌شود و وزن ویژگی‌های خاک دخالتی ندارد (شین و ژائو، 2000).

همچنین شاخص‌های IQI و NQI اطلاعات را بر اساس روش‌های ریاضی ترکیب می‌کنند، بنابراین اطمینان نتایج نهایی را افزایش می‌دهند.

هر یک از خصوصیات خاک دارای مقیاس‌ها و واحدهای متفاوتی است، بنابراین لازم است که این خصوصیات خاک را به یک کمیت بدون بعد تبدیل کنیم؛ مثلاً خصوصیات را بین صفر تا یک امتیازدهی کنیم (عمر و همکاران،2020). طبق این روش، خصوصیات مختلف خاک از سه تابع پیروی می‌کنند (کارلن و همکاران، 2014). شیوه‌های مدیریتی و کاربری اراضی را می‌توان از عوامل اصلی تأثیرگذار بر کیفیت خاک در نتیجه تغییر خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک در نظر گرفت (داوری و همکاران، 2020). ازآنجایی‌که ویژگی‌های خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر دارای تغییرات هستند، آگاهی از تغییرات مکانی کیفیت خاک بر اساس شاخص‌های مختلف، اطلاعات مفیدی را در اختیار کاربر به‌منظور مدیریت صحیح اراضی قرار می‌دهد (عطائیان و همکاران، 2015).

میرخانی و همکاران در سال 1400 با مطالعه اراضی زراعی ساوجبلاغ به این نتیجه رسیدند که شاخص NQI با استفاده از کل ویژگی‌ها، دقت بالاتری بر اساس آماره‌های R برابر با 0/85 و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE =0.01) برای تهیه نقشه کیفیت خاک داشت. باتوجه‌به پایین بودن ماده آلی و پایداری ساختمان خاک منطقه، با انتخاب روش مدیریتی مناسب مانند افزودن ماده آلی و سیستم خاک‌ورزی حفاظتی، می‌توان کیفیت خاک را بالا برد. امامی و ریاحی‌نیا در 2021 گزارش کردند که ضرایب همبستگی بین IQITDS و IQIMDS برابر با 0.69 و بین NQITDS و NQIMDS برابر با 0.76 است که نشان می‌دهد که NQI شاخص بهتری برای ارزیابی کیفیت خاک است و NQITDS ارزیابی دقیق و جامع‌تری از کیفیت خاک ارائه کرد.

---

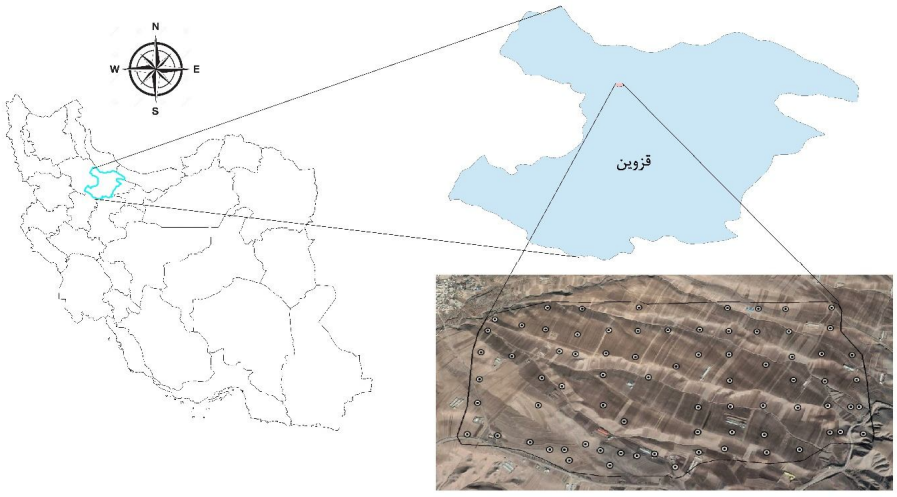
1. Soil Degradation Rate (SDR)
2. Soil Fertility Index (SFI)
3. Soil Quality Index (SQI)
4. Soil Resilience Rate (SRR)
5. Soil Sustainability Index(SSI)
6. Integrated Quality Index (IQI)
7. Nemero Quality Index (NQI)

ازآنجایی‌که کیفیت خاک بیانگر رابطه بین مقدار تولید محصول و باروری زمین است ما باتوجه‌به کارایی شاخص‌های کیفیت خاک در ارزیابی اثرات عملیات مدیریتی و کاربری اراضی مختلف بر کیفیت خاک، در این پژوهش دو شاخص نسبتاً سهل‌الوصول (کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو) برای ارزیابی کیفیت خاک مورد ارزیابی قرار دادیم و بر اساس این دو شاخص با دو روش زمین آماری، نقشه کیفیت خاک منطقه موردمطالعه نیز تهیه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه شامل بخشی از اراضی منطقه کوهین، واقع در محور قزوین – رشت در استان قزوین بوده که بین طول‌های جغرافیایی "58´34 °49 تا "13 ´37 °49 شرقی و عرض‌های جغرافیایی "14´22 °36 تا "51´22 °36 شمالی که در غرب استان قزوین قرار گرفته است (شکل 1). مساحت منطقه موردمطالعه حدود ده‌هزار هکتار و از نظر کاربری به دو نوع مرتع و دیم تقسیم می شود، بااین‌وجود بیشترین بخش منطقه را کاربری دیم تشکیل داده و تنها در بخش‌های کوچکی کاربری مرتع مشاهده می‌شود (2% کاربری مرتع و 98% کاربری دیم). این منطقه از لحاظ آب‌وهوایی دارای میانگین بارندگی سالیانه 327 میلی‌متر و متوسط دمای 11/20 درجه سانتی گراد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه مطالعاتی، به ترتیب، زریک و مزیک هستند. منطقه موردمطالعه از نظر ژئومورفولوژی به دو بخش فلات و دره تقسیم می‌شود.



شکل 1- موقعیت منطقه موردمطالعه و نقاط نمونه‌برداری
Fig 1: Location of the study area and position of the sampling points

منطقه موردمطالعه از لحاظ زمین‌شناسی دارای چندین سازند هست که قسمت عمده منطقه از سازند آبرفتی[1] و مارن آهکی[2] تشکیل شده است. با انطباق نقشه رقومی ارتفاع (شکل 1) با نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌توان دریافت که قسمت‌های مرتفع منطقه بیشتر از مارن تشکیل شده است.

امتیازدهی و وزن‌دهی ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک

انتخاب ویژگی‌هایی از خاک که به بهترین شکل نشان‌دهندهٔ وضعیت کیفیت خاک باشند، اهمیتی کلیدی در

1. Alluvial
2. Calcareous marl

ارزیابی کیفیت خاک دارد. ویژگی‌های انتخاب شده باید محدودهٔ گسترده‌ای از مشخصات خاک را پوشش دهند و با وجود این هر یک به طور مستقیم بر کیفیت خاک اثر داشته باشند (وانگ و گونگ، 1997). در این پژوهش 12 ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک که در منابع مختلف به‌عنوان ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک معرفی شده‌اند (کی و همکاران، 2009)، و به‌عنوان مجموعه کل داده‌ها[1] در نظر گرفته شدند. هر یک از خصوصیات خاک دارای مقیاس‌ها و واحدهای متفاوتی هستند، بنابراین لازم است که این خصوصیات خاک را به یک کمیت بدون بعد تبدیل کنیم؛ مثلاً خصوصیات را بین صفر تا یک امتیازدهی کنیم (عمر و همکاران، 2020). دراین‌رابطه از رتبه دهی[2] یا استانداردسازی داده‌ها به‌وسیله توابع امتیازدهی استاندارد[3] استفاده شد. محدوده مقادیر هر ویژگی در مجموعه کل داده‌ها با توابع استاندارد امتیازدهی شدند (اندروز و همکاران، 2002). در این درجه‌بندی بسته به نوع ویژگی، مقادیر ویژگی موردنظر که از نظر کیفیت خاک مطلوب‌ترین مقدار، امتیاز یک و مقادیری که باعث کمترین کیفیت می‌شوند، امتیاز صفر می‌گیرند (کی و همکاران، 2009. مارزائولی و همکاران، 2010). بر اساس این روش ویژگی‌های مختلف خاک با استفاده از سه نوع تابع امتیازدهی استاندارد که عبارت‌اند از توابع هر چه بیشتر بهتر، هر چه کمتر بهتر و حد بهینه بهتر، استانداردسازی شدند که مقادیر حد بالائی و پایینی اندازه‌گیری شده خصوصیات و نوع تابع در جدول 1 نمایش‌داده‌شده است.

همچنین برای وزن‌دهی ویژگی‌های مؤثر در مجموعه کل داده‌ها، سهم هر ویژگی[4] (واریانس مشترک) به روش تجزیه عاملی[5] به کمک نرم‌افزار SPSS محاسبه شد (واسو و همکاران، 2016). بدین منظور نسبت مقدار سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم کل ویژگی‌ها در هر مجموعه، به‌عنوان وزن هر ویژگی در نظر گرفته شد (کی و همکاران، 2009). سهم هر ویژگی بیشتر بدین معنی است که نسبت بیشتری از واریانس به‌وسیله آن ویژگی توضیح داده می‌شود لذا وزن بیشتری به آن اختصاص داده می‌شود. در نهایت با تلفیق امتیازات و وزن مربوط به ویژگی‌های مختلف در هر نمونه خاک در قالب روابط آماری و ریاضی، شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو محاسبه شدند، البته با این تفاوت که برای محاسبه شاخص کیفیت نمرو وزن‌دهی لازم نیست. مطابق رابطه (1) شاخص کیفیت تجمعی از مجموع حاصل‌ضرب امتیاز هر ویژگی در ضریب وزنی آن، محاسبه شد.

(1)

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

که در آن W_i معادل وزن هر ویژگی، N_i مقدار نمره یا امتیاز تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های خاک هست(سایز و همکاران، 1991).

(2)

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

همچنین مطابق رابطه (2)، شاخص کیفیت نمرو بر اساس مقادیر میانگین و حداقل امتیاز ویژگی‌ها محاسبه شد. که در آن P_{ave} میانگین امتیاز تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر نمونه خاک، P_{min} حداقل امتیاز موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های موردنظر است(کی و همکاران، 2009).

نتایج و بحث

محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک

در 12 خصوصیت اندازه‌گیری شده سهم هر ویژگی و ضریب وزنی آن در جدول 2 نشان‌داده‌شده است. ویژگی‌های از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل و کربن آلی خاک داری بیشترین سهم از واریانس مشترک هستند و متناسب با آن نیز دارای بیشترین ضریب وزنی هستند.

---

1. Total Data Set
2. Scoring
3. Standard Scoring Function
4. Communality
5. Factor analysis

جدول 1- توابع امتیازدهی استاندارد و پارامترهای آن برای متغیرهای کمی کیفیت خاک منطقه موردمطالعه

Table 1- Standard Scoring Functions and their parameters for quantitative variables of soil quality of study area

متغیر variable	نوع تابع امتیازدهی استاندارد The type of scoring function	حد پایینی Lower limit	حد بالایی Upper limit	تابع امتیازدهی استاندارد
کربنات کلسیم (TNV)	کمتر، بهتر Less is better	8.2	48.7	$N(x)=\begin{cases}0.1 & x<L1 \text{ or } x\geq U2\\ 0.9\times\frac{x-L1}{L2-L1}+0.1 & \begin{bmatrix}L1\leq x\leq L2\\ L2\leq x\leq U1\\ U1\leq x\leq U2\end{bmatrix}\\ 1 & \\ 0.9\times\frac{x-U1}{U2-U1}+0.1 & \end{cases}$
هدایت الکتریکی (EC)	کمتر، بهتر Less is better	0.376	1.159	
جرم مخصوص ظاهری (ρ_b)	کمتر، بهتر Less is better	1.13	1.96	
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	بیشتر، بهتر More is better	17/02	43.29	$F(x)=\begin{cases}0.1 & x\leq L\\ 0.9\times\frac{x-L}{u-L}+0.1 & L\leq x\leq U\\ 1 & x\geq U\end{cases}$
کربن آلی (OC)	بیشتر، بهتر More is better	0/13	1/33	
نیتروژن کل (N)	بیشتر، بهتر More is better	0/013	0/171	
پتاسیم قابل جذب (Kave)	بیشتر، بهتر More is better	63/3	416	
فسفر قابل جذب (Pave)	حد بهینه، بهتر Optimal is better	4/5	22/1	$M(x)=\begin{cases}0.1 & x<L1 \text{ or } x\geq U2\\ 0.9\times\frac{x-L1}{L2-L1}+0.1 & \begin{bmatrix}L1\leq x\leq L2\\ L2\leq x\leq U1\\ U1\leq x\leq U2\end{bmatrix}\\ 1 & \\ 0.9\times\frac{x-U1}{U2-U1}+0.1 & \end{cases}$
پهاش (pH)	حد بهینه، بهتر Optimal is better	7.42	8.18	
رس (Clay)	حد بهینه، بهتر Optimal is better	25	59	
سیلت (Silt)	حد بهینه، بهتر Optimal is better	16	44	
شن (sand)	حد بهینه، بهتر Optimal is better	10	57	

مقدار مشاهده‌ای هر مشخصه، L حد آستانه پائین، U حد آستانه بالا، N(x)، F(x) و M(x) به ترتیب توابع امتیازدهی استاندارد برای حد بالا، پائین و بهینه که بین 0 / 1 تا 1 تغییر می‌کنند.

تجزیه‌و تحلیل شاخص‌های کیفیت خاک

برای هر دو شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI) جهت ارزیابی وضعیت کیفیت خاک چون مقدار چولگی داده‌ها بر اساس آنالیز آماری نرم‌افزار GS^+ کمتر از 0/5 بود، در نتیجه داده‌ها نیاز به نرمال‌سازی نداشتند. شاخص کیفیت تجمعی با مدل کروی و شاخص کیفیت نمرو با مدل نمایی منطبق هستند. دامنه تأثیر برای شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو به ترتیب 1557 و 1050 متر می‌باشد و همچنین ضریب تبیین این دو شاخص هر دو 0/87 است که بیانگر همبستگی خوب مدل برازش داده شده بر آن با نقاط مشاهده‌ای است. هر چه نسبت اثر قطعه‌ای بر آستانه کمتر باشد بیانگر وابستگی مکانی قوی بین نقاط است. این نسبت برای شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو به ترتیب 33 و 13 درصد است که به ترتیب بیانگر وابستگی

مکانی متوسط (بین 25 الی 75 درصد) و قوی (کمتر از 25 درصد) بین نقاط است.

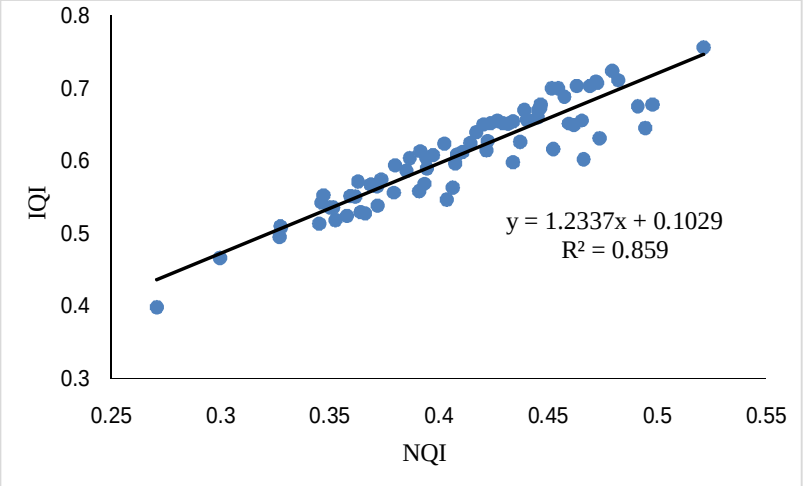
جدول 2- واریانس مشترک تخمینی و مقادیر ضریب وزنی برای هر کدام از متغیرها
Table 2- Estimated Communality and value of weight Coefficient for Variables

متغیر variable	کربنات کلسیم معادل (TNV)	هدایت الکتریکی(EC)	جرم مخصوص ظاهری (ρ_b)	پ‌هاش (pH)	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	کربن آلی (OC)
مقدار واریانس Variance	28/4	0/038	0/002	0/005	12/72	0/071
سهم هر ویژگی **Communality**	0/82	0/54	0/62	0/65	0/83	0/81
ضریب وزنی **Weight Coefficent**	0/09	0/06	0/07	0/07	0/09	0/09
متغیر **variable**	نیتروژن کل (N)	فسفر قابل جذب (P_{ave})	پتاسیم قابل جذب (K_{ave})	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (sand)
مقدار واریانس Variance	0/004	0/008	0./005	39/05	19/34	51/18
سهم هر ویژگی **Communality**	0/64	0/63	0/70	0/71	0/68	0/96
ضریب وزنی **Weight Coefficent**	0/07	0/07	0/08	0/08	0/08	0/11

باتوجه‌به وابستگی مکانی قوی بین نقاط برای دو شاخص کیفیت تجمعی و نمرو از دو روش کریجینگ معمولی و روش وزن‌دهی معکوس فاصله جهت درون-یابی استفاده شد. روش کریجینگ معمولی نسبت به روش وزن‌دهی معکوس فاصله برای هر دو شاخص مقدار میانگین اریبی خطا و ریشه دوم میانگین مربعات خطا کمتری دارد، بنابراین روش کریجینگ با داشتن کمترین خطای برآورد، شاخص‌های موردنظر را بادقت بالاتری نسبت به روش وزن‌دهی معکوس فاصله برآورد می‌کند، لذا کریجینگ معمولی برای درون‌یابی و پهنه‌بندی مناسب-تر است. نزدیک بودن مقادیر میانگین اریبی خطا (MAE) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) به صفر برای هر دو شاخص، کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو نشان‌دهندهٔ دقت بالای تخمین است.

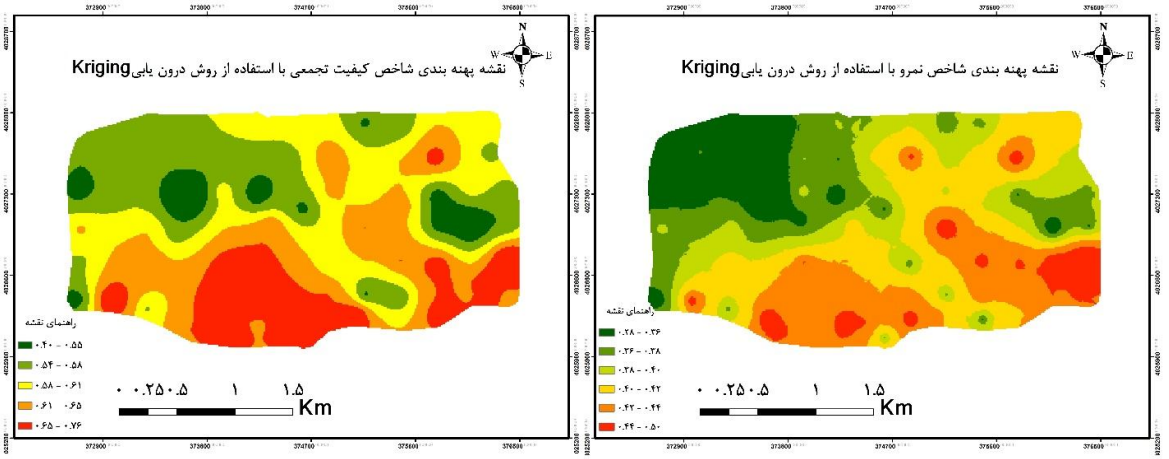
در حالت مقایسه بین دو شاخص تجمعی و شاخص کیفیت نمرو می‌توان مشاهده نمود که هرچند ارتباط این دو شاخص بیانگر دقت خوب هرکدام از این دو شاخص به‌تنهایی برای ارزیابی کیفیت خاک است (R^2 = 0.86) (شکل 4)، اما مقدار عددی شاخص کیفیت خاک نمرو نسبت به شاخص تجمعی کیفیت خاک کمتر است و معمولاً مقدار عددی آن کمتر از 0/5 هست، البته این امر طبیعی به نظر می‌رسد و نتایج پژوهش‌ها زیادی این وضعیت را تأیید می‌کنند. سمائی و همکاران (2022)، گرجی و همکاران (2018)، کی و همکاران (2009) و بسیاری از محققان دیگر نیز به این نتیجه رسیدند که مقدار شاخص کیفیت خاک نمرو در کلیه شرایط نسبت به شاخص تجمعی کیفیت خاک کمتر است؛ بنابراین شاخص کیفیت تجمعی نسبت به شاخص کیفیت نمرو، ارزیابی دقیق‌تری از کیفیت خاک منطقه موردمطالعه دارد، زیرا این شاخص برای ویژگی‌های مورد بررسی، علاوه بر امتیاز-دهی، اوزانی نیز در نظر می‌گیرد درحالی‌که در شاخص کیفیت نمرو تنها بر اساس مقادیر میانگین و حداقل امتیاز ویژگی‌ها محاسبه می‌شود (کی و همکاران، 2009).

در شکل 5 و 6 نقشه پهنه‌بندی کیفیت خاک بر اساس شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی نمایش‌داده‌شده است.



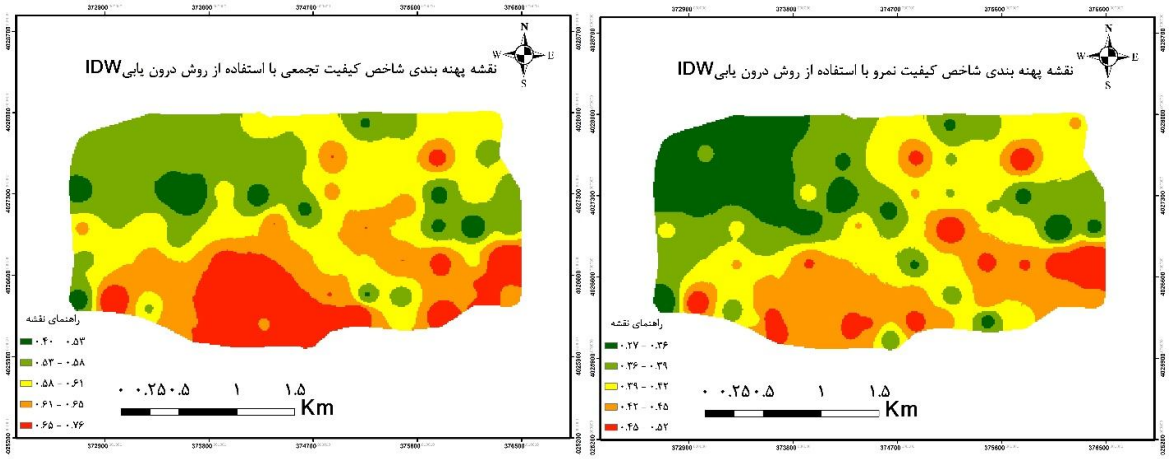
نمودار 1- ارتباط شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI)

graph 1- Correlation of Integrated Quality Index (IQI) and Nemero Quality Index (NQI)



شکل 2- پهنه‌بندی کیفیت خاک بر اساس شاخص های نمرو و کیفیت تجمعی با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی

Fig 2- Spatial Distribution of soil quality based on of Nemro Quality Index (NQI) and Integrated Quality Index (IQI) interpolation method used of ordinary kriging



شکل 3- پهنه‌بندی کیفیت خاک بر اساس شاخص‌های نمرو و کیفیت تجمعی با استفاده از روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله

Fig 3- Spatial Distribution of soil quality based on of Nemro Quality Index (NQI) and Integrated Quality Index (IQI) used of Inverse Distance Weighting(IDW)

جدول 3- همبستگی خصوصیات خاک سطحی با شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI)

Table 3- Correlation between Surface soil properties with Integrated Quality Index (IQI) and Nemero Quality Index (NQI)

خصوصیات خاک (soil properties) / شاخص کیفیت (Quality Index)	کربنات کلسیم (TNV)	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (Sand)	جرم مخصوص ظاهری (ρb)	کربن آلی (OC)	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	اسیدیته خاک (pH)	هدایت الکتریکی (EC)	نیتروژن (N)	فسفر (P)	پتاسیم (Kave)
NQI	-0.175	-0.091	0.184	-0.017	-0.302	0.682	0.446	-0.400	-0.167	0.608	-0.001	0.333
P-value	0.127 ns	0.430 ns	0.110 ns	0.882 ns	0.008 *	0.001 *	0.001 *	0.001 *	0.146 ns	0.001 *	0.994 ns	0.003 *
IQI	-0.188	0.004	0.187	-0.906	-.0385	0.775	0.574	-0.421	-0.116	0.544	-0.155	0.482
P-value	0.102 ns	0.974 ns	0.104 ns	0.407 ns	0.001 *	0.001 *	0.002 *	0.001 *	0.314 ns	0.001 *	0.177 ns	0.002 *

* معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ns عدم معنی‌داری

ازآنجایی‌که الگوی کیفیت خاک برای هر دو شاخص NQI و IQI تقریباً یکسان است، بنابراین در مجموع عوامل تأثیرگذار بر روی کیفیت خاک برای هر دو شاخص به‌صورت یکسان عمل می‌کنند. از جمله مهم‌ترین عواملی که در منطقه موردمطالعه روی کیفیت خاک اثر می‌گذارند شامل توپوگرافی، ماده مادری، ماده آلی، آهک و عناصر کم‌مصرف خاک هست. باتوجه‌به این که در کل منطقه، اقلیم ثابت است؛ بنابراین اثر یکسانی را بر کل خاک‌های منطقه اعمال می‌کند. بررسی وضعیت توپوگرافی منطقه نشان داد که در اکثر موارد، هر چه از مناطق شیب‌دار به مناطق هموارتر پیش رفته شود، شاخص‌های کیفیت خاک افزایش می‌یابد. کیفیت خاک به ترتیب در قله (0/671 و 0/499 برای IQI و NQI) افزایش، به سمت پشته و شانه شیب که درصد شیب افزایش می‌یابد کاهش (0/508 و 0/304 برای IQI و NQI) و دوباره در دره‌ها و پای شیب افزایش می‌یابد.

عامل دیگر مؤثر بر کیفیت خاک، کاربری اراضی هست. دو نوع کاربری مرتع و دیم در منطقه موردمطالعه وجود دارد؛ اما مساحت تحت پوشش مرتع بسیار کم هست و عملاً کاربری منطقه موردمطالعه دیم‌زار است. باتوجه‌به اینکه کاربری غالب منطقه از نوع دیم هست بنابراین نمی‌توان قضاوت محکم و قابل قبولی دررابطه‌با تأثیر نوع کاربری بر کیفیت خاک داشت، ولی بااین‌وجود، نتایج این مطالعه حاکی از کیفیت مناسب و بالای خاک در کاربری‌های مرتع است.

از دیگر عوامل مهم تأثیرگذار بر کیفیت خاک مواد مادری هست. بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد که در مناطقی که ماده مادری از نوع آبرفتی و مارن آهکی است، کیفیت خاک دارای بالاترین مقادیر (به ترتیب 0/64 و 0/44 برای IQI و NQI) و در مناطقی با ماده مادری ماسه‌سنگ، مارن و کنگلومرا، کیفیت خاک دارای پایین‌ترین مقادیر است (به ترتیب 0/54 و 0/31 برای IQI و NQI) (شکل 3 و 4). اما باتوجه‌به این که کیفیت خاک به‌ویژه در خاک سطحی بیشتر از عوامل پویای آن تأثیرپذیر است، لذا این عوامل ذاتی مانند مواد مادری نمی‌توانند بر روی کیفیت خاک منطقه تأثیر بسزایی را داشته باشند؛ بنابراین برای تشخیص میزان و نحوه تأثیر این خصوصیات پویا بر کیفیت خاک، همبستگی آن‌ها با دو شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون تعیین شود باتوجه‌به جدول 3 می‌توان دریافت که هر دو شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI) با خصوصیاتی از قبیل کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن و پتاسیم رابطه‌ای مثبت و معنی‌دار دارند؛ اما با جرم مخصوص ظاهری و

پ‌هاش خاک رابطهٔ منفی و معنی‌دار دارند؛ بنابراین می‌توان دریافت که کیفیت خاک منطقه موردمطالعه باتوجه‌به کاربری کشاورزی اکثر منطقه، متأثر از خصوصیات شیمیایی خاک است. در میان این خصوصیات، کربن آلی خاک عاملی است که اکثر خصوصیات خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین با اتخاذ اقدامات مدیریتی برای افزایش کربن آلی خاک می‌توان سایر ویژگی‌های خاک را نیز به حد بهینه سوق داد و به ای دلیل میزان کیفیت خاک را افزایش داد. قاعدتاً مقادیر بالائی کربن ظرفیت تبادل کاتیونی را به طریق مثبتی تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه حاصلخیزی و کیفیت خاک برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، بالا می‌رود. در این زمینه امامی و همکاران (1393) نشان دادند که بدون افزودن ماده آلی و در تیمار شاهد، کیفیت خاک در پایین‌ترین سطح قرار داشت و در کلاس 4 دسته‌بندی شد؛ اما با افزودن مواد آلی مختلف، کلاس کیفیت خاک یک تا دو درجه ارتقا یافت.

نتیجه‌گیری

نقشه‌های کیفت خاک ترسیم شده برای منطقه موردمطالعه به کمک دو شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو بر پایه روش کریجینگ معمولی نشان می‌دهد که الگوی کیفیت خاک برای هر دو شاخص تقریباً یکسان است و خاک قسمت‌های شمالی و شمال غربی منطقه موردمطالعه کمترین مقادیر کیفیت خاک را دارند و قسمت جنوب و جنوب شرقی بیشترین مقادیر کیفیت را دارند. اما در کل وضعیت کیفیت خاک در منطقه موردمطالعه عمدتاً متوسط هست. با بررسی نقشه مواد مادری، کاربری اراضی و سایر خصوصیات خاک سطحی منطقه مشاهده شد که تغییرات کیفیت خاک بیشتر متأثر از خصوصیات پویای خاک از جمله کربن آلی و عناصر غذایی که موجب بهبود حاصلخیزی و باروری خاک‌های منطقه می‌شوند، است؛ بنابراین با برنامه‌ریزی مناسب در مدیریت صحیح این عوامل، می‌توان کیفیت خاک منطقه را در بخش‌های مختلف ارتقا داد.

فهرست منابع:

1. امامی، ح.، آستارایی و ع. فتوت، ا. 1393. ارزیابی تأثیر مواد آلی بر توابع نمره دهی کیفیت خاک. آب‌وخاک. دوره، 28، شماره 3 - شماره پیاپی 3، مرداد و شهریور، صفحه 565-574.
2. میرخانی ر.، واعظی ع. ر.، رضایی ح. 1400 . توزیع مکانی کیفیت خاک در اراضی زراعی منطقه ساوجبلاغ استان البرز. تحقیقات کاربردی خاک. جلد 9 - شماره 2. صفحه 14.
3. AbdelRahman, M., Engel, B., SM Eid, M., and M. Aboelsoud, H. (2022). A new index to assess soil sustainability based on Temporal Changes of Soil Measurements Using Geomatics–an example from El-Sharkia, Egypt. *All Earth*, (just-accepted).
4. Andrews, S. S., Mitchell, J. P., Mancinelli, R., Karlen, D. L., Hartz, T. K., Horwath, W. R., ... and Munk, D. S. 2002. On□farm assessment of soil quality in California's Central Valley. Agronomy Journal, 94(1), 12-23.
5. Attaeian, B., Farokhzadeh, B., Akhzari, D., and Souri, M. 2015. Comparing interpolation methods for estimating spatial distribution of topsoil pH and EC (Case Study: Karimabad Rangelands, Hamadan Province, Iran). ECOPERSIA, 3(4), 1145-1159.
6. Biswas, S., Hazra, G., Purakayastha, T., Saha, N., Mitran, T., Roy, S.S., Basak, N., and Mandal, B. 2017. Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. Geoderma, 292, 34-48.
7. Bone, J., Barraclough, D., Eggleton, P., Head, M., Jones, D., and Voulvoulis, N. 2012. Prioritising soil quality assessment through the screening of sites: the use of publicly collected data. Land Degradation and Development, 25(3), 251-266.

8. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., ... and Brussaard, L. (2018). Soil quality–A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, *120*, 105-125.
9. Davari, M., Gholami, L., Nabiollahi, K., Homaee, M., and Jafari, H. J. (2020). Deforestation and cultivation of sparse forest impacts on soil quality (case study: West Iran, Baneh). *Soil and Tillage Research*, *198*, 104504.
10. Doran, J.W. and Jones, A.J. (Eds.), 1996. Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America Special Publication, vol. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI.
11. Doran, J.W., and Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA, Madison, WI, pp. 3–21.
12. Doran, J.W., and Parkin, T.B., 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America, pp. 25–37.
13. El-Ramady, H.R., Alshaal, T., Amer, M., Domokos-Szabolcsy, É., Elhawat, N., Prokisch, J., and Fári, M. 2014. Soil quality and plant nutrition. in: Sustainable Agriculture Reviews 14, Springer, pp. 345-447.
14. Emami, H., and Riahinia, F. (2021). Effects of Crop Residues and Tillage Operations on Soil Quality Indices. Polish Journal of Soil Science, 54(2), 167.
15. Gorji, M., Kakeh, J., & AliMohammadi, A. (2018). Quantitative soil quality assessment in different land uses at some Parts of south eastern of Qazvin. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *48*(5), 941-950.
16. Karlen, D.L., Andrews, S.S., Wienhold, B.J., and Zobeck, T.M. 2008. Soil quality assessment: Past, present and future.
17. Lu, G. Y., and Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. Computers and geosciences, 34(9), 1044-1055.
18. Masoud, A. A., El-Horiny, M. M., Atwia, M. G., Gemail, K. S., and Koike, K. (2018). Assessment of groundwater and soil quality degradation using multivariate and geostatistical analyses, Dakhla Oasis, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, *142*, 64-81.
19. McBratney, A., and Pringle, M. 1999. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. Precision Agriculture, 1(2), 125-152.
20. McGrath, D., and Zhang, C. 2003. Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. Applied Geochemistry, 18(10), 1629-1639.
21. Mohamed, E.S.; Baroudy, A.; El-beshbeshy, T.; Emam, M.; Belal, A.; Elfadaly, A.; Aldosari, A.A.; and Ali, A.; 2020, Lasaponara, R. Vis-NIR spectroscopy and satellite Landsat-8 OLI data to map soil nutrients in arid conditions: A case study of the northwest coast of Egypt. Remote Sens., 12, 3716.
22. Omer, M., Idowu, O. J., Brungard, C. W., Ulery, A. L., Adedokun, B., and McMillan, N. (2020). Visible near-infrared reflectance and laser-induced breakdown spectroscopy for estimating soil quality in arid and semiarid agroecosystems. *Soil Systems*, *4*(3), 42.
23. Pang, S., Li, T.-X., Zhang, X.-F., Wang, Y.-D., and Yu, H.-Y. 2011. Spatial variability of cropland lead and its influencing factors: a case study in Shuangliu county, Sichuan province, China. Geoderma, 162(3), 223-230.
24. 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.

25. 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 (In Chinese with English abstract).
26. Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H. A., Fereidouni, Z., and Bandarabadi, S. R. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. Ecological indicators, 40, 19-26.
27. Roy, T. , 2020. Precision farming: A step towards sustainable, climate-smart agriculture. In Global Climate Change: Resilient and Smart Agriculture; Springer: Singapore; pp. 199–220.
28. Samaei, F., Emami, H., and Lakzian, A. (2022). Assessing soil quality of pasture and agriculture land uses in Shandiz county, northwestern Iran. Ecological Indicators, 139, 108974.
29. Schwilch, G., Bernet, L., Fleskens, L., Giannakis, E., Leventon, J., Marañón, T., Mills, J., Short, C., Stolte, J., van Delden, H., and Verzandvoort, S., 2016. Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soil threats: a proposed framework. Ecological Indicators 67, 586–597.
30. Shokr, M. S., Abdellatif, M., El Baroudy, A. A., Elnashar, A., Ali, E. F., Belal, A. A., ... and Kheir, A. (2021). Development of a spatial model for soil quality assessment under arid and semi-arid conditions. Sustainability, 13(5), 2893.
31. Sims, J.T., Cunningham, S.D., and Sumner, M.E., 1997. Assessing soil quality for environmentalc purposes: roles and challenges for soil scientists. Journal of Environmental Quality 26, 20–25.
32. Sys C., Van- Ranst E., and Debaveye J. 1991. Land evaluation, part I. Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculations. General administration for development cooperation, Brussels 40–80
33. Emami, H., and Riahinia, F. (2021). Effects of Crop Residues and Tillage Operations on Soil Quality Indices. Polish Journal of Soil Science, 54(2), 167.
34. Takoutsing, B., Weber, J., Aynekulu, E., Martín, J. A. R., Shepherd, K., Sila, A., ... and Diby, L. (2016). Assessment of soil health indicators for sustainable production of maize in smallholder farming systems in the highlands of Cameroon. *Geoderma*, *276*, 64-73.
35. Vasu, D., Singh, S.K., Ray, S.K., Duraisami, V.P., Tiwary, P., Chandran, P., Nimkar, A.M., and Anantwar, S.G. 2016. Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. Geoderma, 282, 70-79.
36. Wander, M., and Bollero, G. 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. Soil Science Society of America Journal, 63(4), 961-971.
37. Wang, X., and Gong, Z. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma, 81(3–4), 339-355.

Investigating Soil Quality in Part of Kuhin Lands in Qazvin Province, Iran

F. Sarmadian[1] and S.Teimouri Bardyani

Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, IRAN;
E-mail: fsarmad@ut.ac.ir

Graduate Student of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, IRAN;
E-mail: sajjad.timuri@ut.ac.ir

Received: July, 2022 , and Accepted: February, 2023

Abstract

Soil quality can be studied from two aspects: intrinsic soil quality and dynamic soil quality. The intrinsic aspect of soil quality is influenced by soil-forming factors, but the dynamic aspect of soil quality includes the characteristics of soil that change depending on the type of management and indicate the state of soil health. In this research, soil quality of a part of Qazvin lands, in Iran, was calculated using two cumulative soil quality indices and Nemro quality index. The results showed that the cumulative quality index was consistent with the spherical model and the numerical quality index was consistent with the exponential model, and the coefficient of determination of both indices was 0.87, which indicates a good correlation between the fitted model and observation points. Compared to the Inverse Distance Weighting (IDW) method, for both soil quality indicators, the normal kriging method had a lower value of the mean skewness error and root mean squared error (RMSE). Soil quality maps of the studied area were drawn with the help of two indices of cumulative quality and numerical quality based on the conventional kriging method. The pattern of soil quality was almost the same for both indicators. Based on the cumulative quality index, the soil in the northern and northwestern parts of the study area had the lowest soil quality values (0.4 and 0.3) while the southern and southeastern parts had the highest values (0.7 and 0.5), respectively. Two soil quality indices showed a positive and significant relationship with organic carbon, cation exchange capacity, nitrogen and potassium, but these relationships with bulk density and soil acidity had a negative and significant relationship. It can be concluded that the soil quality of the region is affected by the dynamic characteristics of the soil and it is important to pay attention to maintaining these characteristics.

Keywords: Cumulative quality index, Nemro quality index, Inverse distance weighting, Kriging.

[1]. Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran