

ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک در تیپ‌های مختلف خاک دشت ارومیه

علی باریکلو: دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

پریسا علمداری*: دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

سالار رضاپور: دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

روح الله تقی‌زاده مهر جردی: استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳)



چکیده

ارزیابی کیفیت خاک، یکی از مسائل قابل توجه در مدیریت پایدار خاک‌ها به منظور تولید بهینه کشاورزی و حفظ منابع طبیعی است. استفاده از شاخص‌های کیفیت خاک نیز ابزار مفیدی برای تعیین و مقایسه کیفیت خاک‌ها به شمار می‌رود. هدف از این تحقیق، کمی کردن این شاخص با استفاده از تحلیل‌های چند متغیره در تیپ‌های مختلف خاک دشت ارومیه است. در این پژوهش با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، از میان ۲۲ ویژگی مؤثر بر کیفیت خاک (TDS) شش ویژگی به عنوان حداقل و ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) تعیین شد. سپس این کیفیت با استفاده از دو شاخص تجمعی کیفیت خاک (IQI) و شاخص کیفیت نورو (NQI) و هر کدام در دو مجموعه ویژگی‌های خاک TDS و MDS ارزیابی شد. از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده، پ هاش (pH) کمترین ضریب تغییرات (۲/۵ درصد) و شوری (EC) بیشترین ضریب تغییرات (۱۵۴/۶ درصد) را در منطقه داشت. نتایج نشان داد که به طور کلی، خاک‌های منطقه از نظر شاخص‌های مورد مطالعه در بخش‌های منتهی به دریاچه، دارای محدودیت است و بین IQIa TDS و IQIa MDS و بین NQI TDS و NQI MDS همبستگی معنی‌دار وجود دارد. این امر نشان می‌دهد که مجموعه MDS تعیین شده، به خوبی می‌تواند نماینده مناسبی از TDS باشد. بررسی شاخص کیفیت خاک نشان داد که خاک‌های این منطقه عمدتاً دارای درجه کیفیت II (۵۷ درصد) است. بیشترین مقدار میانگین شاخص کیفیت خاک انتخاب شده نیز مربوط به حالت MDS در مدل IQI با مقدار ۰/۷۹ در تیپ خاک Fluventic Haploxerepts و کمترین مقدار آن، مربوط به حالت TDS در مدل NQI با مقدار ۰/۲۸ در تیپ خاک Typic Halaquepts محاسبه شد. بررسی ضریب همبستگی بین شاخص کیفیت خاک با دسته کل و حداقل داده‌ها نشان داد که ضریب همبستگی هر دو مدل IQI و NQI برابر با $R^2=0/48$ است. در نهایت، شاخص IQI در مجموعه حداقل داده‌ها (MDS)، دقت و حساسیت بیشتری برای ارزیابی کیفیت خاک دارد. در مجموعه حداقل داده‌ها نیز به ترتیب ویژگی‌های درصد شن، نسبت جذب سدیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر قابل جذب، کربنات کلسیم فعال و غلظت نیکل، وزن بالاتری دارد. استفاده از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت آن، ضمن کاهش زمان مطالعات خاک‌شناسی زمینه صرفه‌جویی اقتصادی را در بحث پایش و بهره‌برداری پایدار از اراضی کشاورزی فراهم می‌کند. واژگان کلیدی: تجزیه به مؤلفه اصلی، حداقل مجموعه داده‌ها، شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نورو.

۱- مقدمه

مدیریت پایدار اراضی با بهره‌برداری مناسب از آن، عامل تثبیت و تضمین تولید پایدار است که در صورت عدم رعایت آن و بهره‌برداری فراتر از توانمندی اراضی، در دراز مدت به تخریب زمین منجر می‌شود (Safiyari et al, 2013). کیفیت خاک، شاخصی کارآمد برای ارزیابی عملکرد خاک و بهبود مدیریت پایدار استفاده از زمین است که به دستیابی بازده اقتصادی در کشورهای در حال توسعه کمک می‌کند (McGrath and Zhang, 2003). یکی از روش‌های بررسی وضعیت خاک، ارزیابی کیفیت آن است. کیفیت خاک در اراضی کشاورزی کشورهای در حال توسعه از نظر اقتصادی بسیار مهم است (Wander et al, 2002). در مطالعات تعیین کیفیت خاک از هر کدام از شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌توان استفاده کرد، اما همیشه مجموعه‌ای کامل از داده‌ها در تجزیه و تحلیل‌ها بکار نمی‌رود؛ زیرا زمانی که تعداد زیادی متغیر را اندازه‌گیری می‌کنیم علاوه بر اینکه یک سری مشکلات علمی به وجود می‌آید، تعداد روابط نیز زیاد خواهد بود. بنابراین، به روش‌هایی نیاز است که تعداد داده‌ها را کاهش دهد (Yemefack et al, 2006 & Kamali et al, 2021). شناسایی حداقل شاخص‌های مناسب برای بررسی کیفیت خاک می‌تواند در تفسیر کیفیت پویای خاک و پس از آن مدیریت پایدار اراضی با کمترین هزینه و حداقل زمان مؤثر باشد (Mohagheq et al, 2016). این شاخص‌ها باید شیوه‌های تعریف شده‌ای برای گزینش، نمره‌دهی و وزن‌دهی خصوصیات خاک داشته باشد و مدل جامعی که امکان مقایسه خاک‌های مناطق مختلف را به صورت علمی فراهم کند (Qi et al, 2009).

محققان متعددی مجموعه‌ای از معیارهای کیفیت خاک را پیشنهاد داده‌اند (Karlen et al, 2008) و کیفیت خاک را بر اساس روش معیاری مجموعه کل داده‌ها^۱ ارزیابی کرده‌اند؛ اما از آن جایی که اندازه‌گیری تمام خصوصیات خاک برای ارزیابی کیفیت آن مقرون به صرفه نیست، می‌توان از روش‌های انتخاب معیار جایگزین مثل مجموعه حداقل داده‌های مورد نیاز^۲ بر اساس نظر کارشناسان یا با استفاده از روش‌های ریاضی یا آماری استفاده کرد (Dobermann and Oberthür, 1997 & Azarneshan et al, 2018). انتخاب این ویژگی‌ها، بر اساس داشتن بیشترین همبستگی با شاخص کلی کیفیت خاک و با استفاده از نتایج به دست آمده از داده‌های خروجی نرم‌افزارهای آماری مختلف صورت گرفت (Govaerts et al, 2006). این فرایند تعداد خصوصیات مورد مطالعه را کاهش می‌دهد و به سهولت، کاهش زمان و هزینه تعیین شاخص کیفیت خاک منجر می‌شود (Shahab et al, 2018). مدل‌های کمی فراوانی مانند شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و کیفیت نمره (NQI) برای محاسبه شاخص کیفیت خاک، توسعه یافته‌است (Zornoza et al, 2015). این شاخص‌ها مجموعه‌ای از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک را در قالب یک مدل ریاضی با هم ترکیب می‌کند و به صورت کمی عددی ارائه می‌دهد که این عدد به عنوان شاخص کیفیت خاک، مجموعه ویژگی‌های مورد نظر را منعکس می‌سازد (Qi et al, 2009).

Shahab و همکاران (2012) برای دریافت شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمره، رابطه این دو مجموعه را بررسی کردند و به ترتیب ضریب همبستگی ۰/۶۲ و ۰/۵۶ را در خاک‌های کشاورزی منطقه ده سرخ واقع در جنوب

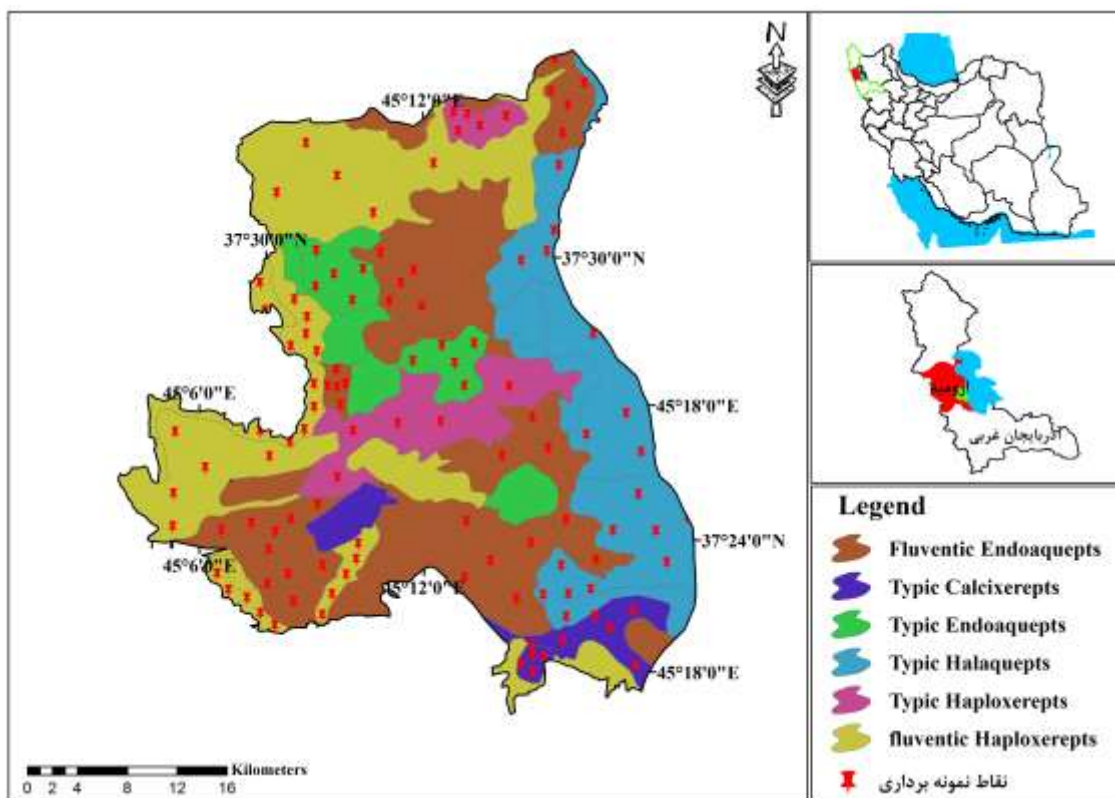
^۱ Total Data Set, TDS

^۲ Minimum Data Set, MDS

شهر مشهد به دست آوردند. Rahmanipour و همکاران (2014) نیز کیفیت خاک را با استفاده از شاخص کیفیت جمعی، و تغییرات مکانی آن را در بخشی از نواحی کشاورزی استان قزوین ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که نقشه کیفیت خاک حاصل از شاخص کیفیت جمعی، با جریان موجود در منطقه همخوانی دارد. با توجه به کارایی شاخص‌های کیفیت خاک در ارزیابی اثرات عملیات مدیرتی بر کیفیت خاک، این پژوهش با هدف بررسی این کیفیت در تیپ‌های مختلف خاک با استفاده از دو مدل IQI¹ و NQI² در دشت ارومیه انجام شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی، جنوب دشت ارومیه بین طول‌های ۰۵° ۴۵ تا ۱۸° ۴۵ شرقی و عرض‌های ۱۵° ۳۷ تا ۳۳° ۳۷ شمالی و با وسعت ۳۰۰۰۰ هکتار واقع شده است (شکل ۱). کاربری اصلی اراضی این منطقه، باغی و به خصوص باغ سیب است. این منطقه تنوع قابل توجهی در زمینه خاک، شکل زمین، شرایط زهکشی و فعالیت انسانی دارد. بر اساس اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شهرستان ارومیه، این منطقه در بازه زمانی سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۷ با میانگین بارندگی ۳۳۰ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۲/۳ درجه سلسیوس، اقلیم نیمه‌خشک دارد و رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب زیریک و مزیک است (Amirpour, 2018).



شکل ۱: موقعیت نقاط نمونه‌برداری و پراکنش تیپ‌های خاک در اراضی مورد مطالعه

¹ Integrated Quality Index

² Nemoro Soil Quality Index

۳- مواد و روش‌ها

در این تحقیق با توجه به مطالعات خاک‌شناسی نیمه تفصیلی دشت ارومیه (Qaimian, 2018)، ۲۴ خاک‌رخ از واحدهای مختلف خاک این منطقه - که بیشتر کاربری باغ و زراعی دارد - حفر و تشریح، سپس نمونه‌برداری و رده‌بندی شد. همچنین ۹۶ نمونه نیز از منطقه سولوم خاک در چهار جهت هر خاک‌رخ برداشت شد. این مطالعه بر اساس شیوه‌نامه تشریح خاک‌رخ اداره حفاظت خاک وزارت کشاورزی آمریکا (Schoeneberger et al, 2002) انجام شد. مواد مادری منطقه مورد مطالعه در محدوده پادگانه‌های آبرفتی (Qt2) قرار داشت. خاک‌رخ‌های حفر شده به ترتیب، دو خاک‌رخ در تیپ خاک Typic Haploxerepts (TH1)، چهار خاک‌رخ در تیپ خاک Fluvaquentic Endoaquepts (FE)، شش خاک‌رخ در تیپ خاک Typic Calcixerepts (TC)، دو خاک‌رخ در تیپ خاک Typic Endoaquepts (TE)، پنج خاک‌رخ در تیپ خاک Fluventic Haploxerepts (FH) و دو خاک‌رخ در تیپ خاک Typic Halaquept (TH2) است.

نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و هواخشک شد، سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده و به روش‌های استاندارد آزمایش شد. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت به روش هیدرومتر (Gee and Or, 2002)، پ‌هاش در گل اشباع (McLean, 1982)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (McLean, 1982)، کربن آلی به روش والکی - بلاک (Walkley and Black, 1934)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی‌سازی با اسید (Page et al, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم نرمال (Swift and Sparks, 1996)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم (Page et al, 1982)، فسفر قابل جذب به وسیله عصاره‌گیری با بیکربنات سدیم (Olson and Roscoe, 1982)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Burt, 2004) و عناصر کم‌مصرف با استفاده از عصاره‌گیری با DTPA (Ellis, 1982)، تعیین شد. ترکیب یونی خاک در عصاره اشباع خاک تعیین، سپس با استفاده از غلظت کلسیم، منیزیم و سدیم محلول شاخص‌های نسبت جذب سدیم و درصد تبادل یونی خاک (Swift and Sparks, 1996) در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

تعیین شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی و نمرور

در این پژوهش از دو مدل شاخص کیفیت تجمعی ساده (IQIa) و نمرور (NQI) برای تعیین کیفیت خاک استفاده شد (Mukherjee and Lal, 2014). از جمله مزیت این دو شاخص این است که چون اطلاعات را بر مبنای روش‌های ریاضی با هم ترکیب می‌کند، به افزایش اطمینان در نتایج نهایی منجر می‌شود. هر یک از شاخص‌های IQIa و NQI، با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های خاک تعیین می‌شود؛ مجموعه اول شامل تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک است که به عنوان مجموعه کل داده‌ها (TDS) در نظر گرفته می‌شود و مجموعه دوم نیز شامل مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک است که مجموعه حداقل داده‌ها (MDS) نامیده می‌شود (Qi et al, 2009). برای گزینش مجموعه MDS، از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده می‌شود (Doran and Parkin, 1994). روش PCA از میان کل ویژگی‌های مورد بررسی خاک، ویژگی‌هایی را انتخاب می‌کند که بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک منطقه دارد (Qi et al, 2009)؛ بدین صورت که داده‌ها در چندین مؤلفه (PC) دسته‌بندی می‌شود و فقط مؤلفه -

هایی که ارزش ویژه بالاتر از یک دارند، برای قرار گرفتن در دسته حداقل داده‌ها انتخاب می‌شوند (Govaerts et al, 2006). هر یک از مؤلفه‌ها، ویژگی‌هایی را که دارای کمتر از ده درصد اختلاف با بیشترین مقدار وزن موجود در هر ویژگی است، برای دسته حداقل داده‌ها انتخاب می‌شود. برای محاسبه IQI_a و NQI لازم است ویژگی‌های خاک امتیازدهی شود (Qi et al, 2009).

روش امتیازدهی با استفاده از روابط ۱ و ۲ به ترتیب برای تابع بیشتر بهتر^۱ و تابع کمتر بهتر^۲ انجام شد:

$$S_L = (x - l) / (h - l) \quad \text{رابطه ۱}$$

$$S_L = 1 - ((x - l) / (h - l)) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آنها، S_L امتیاز خطی است که مقدار آن بین صفر تا یک است، x مقدار اندازه‌گیری شده ویژگی خاک، l حداقل مقدار و h بیشترین مقدار ویژگی خاک است (Askari and Holden, 2015).

شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی ساده (IQI_a) (Doran and Parkin, 1994) و نمورو (NQI) (Monreal et al, 2013 & Shahab et al, 1998) نیز به ترتیب با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد:

$$IQI_a = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{n} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آنها، S_i امتیاز هر ویژگی خاک و n تعداد ویژگی‌های خاکی مورد استفاده است.

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{min}^2}{2}} \times \frac{n-1}{n} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن، P_{ave} میانگین مقادیر ویژگی‌های انتخاب‌شده برای هر نمونه خاک، P_{min} کمترین مقدار موجود در بین ویژگی‌های انتخاب‌شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های موردنظر برای محاسبه هر شاخص است.

۴- یافته‌ها (نتایج)

تعیین شاخص‌های کیفیت خاک در دو مجموعه TDS و MSD

وزن‌دهی به ویژگی‌های مختلف کیفیت خاک، با استفاده از محاسبه واریانس مشترک متغیرها صورت گرفت. در این روش، واریانس مشترک یا سهم هر ویژگی به وسیله تجزیه عاملی در دو مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک محاسبه شد و با تعیین نسبت واریانس مشترک هر ویژگی به مجموع واریانس مشترک کل ویژگی‌ها، وزن هر ویژگی نیز محاسبه شد (Shukla et al, 2006). میزان تأثیرگذاری هر ویژگی در مدل‌های کیفیت خاک، به وزن اختصاص‌یافته به آن ویژگی بستگی داشت؛ به عبارت دیگر، ویژگی‌های دارای وزن بالاتر در مجموعه‌های TDS و MSD بر کیفیت خاک تأثیر بیشتری داشت و با کاهش وزن آن، این تأثیر

^۱ More is better

^۲ Less is better

کومتر شد (Govaerts et al, 2006). در جدول ۲، مقادیر اشتراک‌پذیری^۱ و وزن ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در دو روش - استفاده از کل ویژگی‌ها و استفاده از حداقل ویژگی‌های انتخاب شده - نشان داده شد. با توجه به نتایج، بیشترین وزن در هر دو روش TDS و MDS، مربوط به نسبت جذب سدیم SAR بود. محققان دیگر نیز در پژوهش خود گزارش کردند که بیشترین وزن در هر دو مجموعه به SAR تعلق دارد (Azarneshan et al, 2018). در روش TDS، به ترتیب نسبت جذب سدیم، آهک فعال، درصد سدیم تبادل، درصد شن، وزن مخصوص ظاهری، درصد رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، منگنز، هدایت الکتریکی، فسفر قابل جذب، نیکل، آهک کل، مس، نیتروژن، تخلخل، سرب، کربن آلی، کادمیوم، روی، پتاسیم قابل جذب، درصد سیلت و واکنش خاک در مقایسه با دیگر خصوصیات، وزن بیشتری داشت و کمترین وزن نیز به واکنش خاک متعلق بود. در مطالعات گذشته نیز کمترین وزن برای pH در مجموعه TDS گزارش شد (Selmy et al, 2021 & Yeilagi et al, 2021). در روش MDS، خصوصیات نسبت جذب سدیم و نیکل نسبت به فسفر قابل جذب، درصد شن، ظرفیت تبادل کاتیونی و آهک فعال، وزن بیشتری داشت و کمترین وزن نیز متعلق به ظرفیت تبادل کاتیونی بود.

جدول ۲: مقادیر وزن ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در TDS و MDS

ویژگی‌های خاک	TDS		ویژگی‌های خاک		MDS		TDS	
	وزن	واریانس مشترک	وزن	واریانس مشترک	وزن	واریانس مشترک	وزن	واریانس مشترک
Clay	۰/۰۴۹	۰/۸۶	۰/۰۴۵	۰/۸۰	-	-	-	-
Sand	۰/۰۵۲	۰/۹۱	۰/۰۵۲	۰/۹۱	۰/۷۰	۰/۱۶	۰/۷۰	۰/۱۶
Silt	۰/۰۳۹	۰/۶۸	۰/۰۴۰	۰/۷۱	-	-	-	-
pH	۰/۰۳۱	۰/۵۴	۰/۰۵۱	۰/۹۰	-	-	-	-
EC	۰/۰۴۷	۰/۸۳	۰/۰۴۲	۰/۷۴	-	-	-	-
SAR	۰/۰۵۳	۰/۹۳	۰/۰۴۶	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۱۸	۰/۷۷	۰/۱۸
ESP	۰/۰۵۲	۰/۹۱	۰/۰۴۱	۰/۷۲	-	-	-	-
CEC	۰/۰۴۸	۰/۸۴	۰/۰۴۵	۰/۷۹	۰/۶	۰/۱۴	-	-
OC	۰/۰۴۱	۰/۷۲	۰/۰۴۸	۰/۸۳	-	-	-	-
N	۰/۰۴۴	۰/۷۸	۰/۰۴۱	۰/۷۲	-	-	-	-
P	۰/۰۴۶	۰/۸۱	۰/۰۴۲	۰/۷۳	۰/۶۶	۰/۱۵	-	-

Clay: رس، Sand: شن، Silt: سیلت، pH: واکنش خاک، EC: هدایت الکتریکی، SAR: نسبت جذب سدیم، ESP: درصد سدیم تبادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، OC: کربن آلی، N: نیتروژن کل، P: فسفر قابل جذب، CCE: آهک کل، ACCE: آهک فعال، K: پتاسیم قابل جذب، BD: وزن مخصوص ظاهری، Porosity: تخلخل، Ni: نیکل، Zn: روی، Cu: مس، Mn: منگنز، Cd: کادمیوم و Pb: سرب.

جدول ۳، نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (کل واریانس تبیین شده ویژگی‌های خاک با عوامل چرخش یافته) را در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مطابق این جدول، شش مؤلفه اصلی دارای ارزش ویژه (EV)،

¹ Commonality

بزرگ‌تر از یک است و استفاده از مؤلفه‌های اصلی با ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک می‌تواند در حدود هشتاد درصد از تغییرات ویژگی‌های خاک را بیان کند. Sheidai و همکاران (2019) و Yeilagi و همکاران (2021) نشان دادند که استفاده از مؤلفه‌های اصلی با ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک، به ترتیب ۷۳ و ۷۸ درصد از تغییرات ویژگی‌های خاک را بیان می‌کند. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، از بین ۲۲ ویژگی مورد بررسی در مجموعه TDS، شش ویژگی درصد شن، نسبت جذب سدیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر قابل جذب، آهنک فعال و نیکل با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) به عنوان MDS انتخاب می‌شود. ذکر این امر لازم است که در این روش، هر مؤلفه از مؤلفه‌های دیگر مستقل است. اگر درون یک مؤلفه تنها یک متغیر بیشترین ضریب تأثیر را داشته باشد، تنها همان ویژگی به عنوان متغیر مربوط به آن مؤلفه انتخاب خواهد شد؛ اما چنانچه یک مؤلفه دارای متغیرهای متعدد باشد، ابتدا همبستگی آنها بررسی می‌شود و اگر با هم همبستگی داشتند (بیش از ۰/۵) متغیری انتخاب می‌شود که وزن بیشتری دارد و اگر همبستگی کمتر از ۰/۵ باشد، همه متغیرها در مجموعه حفظ می‌شوند (Andrews et al, 2002). مؤلفه اول، ۲۹/۰۶ درصد از کل واریانس را نشان می‌دهد. در این مؤلفه، نسبت جذب سدیم بیشترین وزن را دارد و بر اساس ده درصد وزن این متغیر (Mamehpour et al, 2021)، به ترتیب درصد سدیم تبادلی، وزن مخصوص ظاهری و هدایت الکتریکی بیشترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد که با توجه به همبستگی بین ویژگی‌ها، از میان متغیرهایی که بیشترین همبستگی را با همدیگر داشتند، متغیری که وزن بیشتری دارد در مجموعه MDS باقی می‌ماند. به این ترتیب، ویژگی‌های نسبت جذب سدیم (SAR) در مؤلفه اول، عنصر نیکل (Ni) در مؤلفه دوم، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) در مؤلفه سوم، درصد شن (Sand) در مؤلفه چهارم، آهنک فعال (ACCE) در مؤلفه پنجم و فسفر قابل جذب (PAW) در مؤلفه ششم، به عنوان MDS انتخاب شد. در مطالعات گذشته نیز درصد شن (Nabiollahi et al, 2020 & Deng et al, 2021)، ظرفیت تبادل کاتیونی (Sheidai et al, 2019 & Nabiollahi et al, 2020) و فسفر قابل جذب (Rezapour et al, 2021) و نسبت جذب سدیم (et al, 2021 & Zeraatpisheh et al, 2021 & Tang et al, 2021) و نسبت جذب سدیم (Mamehpour et al, 2021 & Yeilagi et al, 2021) به عنوان مجموعه MDS انتخاب شد.

جدول ۳: نتایج PCA ویژگی‌های انتخابی به عنوان MDS

مؤلفه شش	مؤلفه پنج	مؤلفه چهار	مؤلفه سه	مؤلفه دو	مؤلفه یک	خصوصیات خاکی
۰/۱۲۶	۰/۹۳۸	-۰/۰۱۱	-۰/۰۵۷	۰/۰۷۷	-۰/۱۲۱	ACCE
-۰/۱۰۸	۰/۰۷۲	-۰/۰۳۹	۰/۱۲۶	-۰/۱۴۱	۰/۹۴۱	SAR
۰/۰۸۴	-۰/۲۱۴	۰/۱۷۴	۰/۸۷۱	۰/۰۱۹	۰/۰۵۱	CEC
۰/۳۲۸	۰/۱۰۳	-۰/۷۸۷	-۰/۴۱۳	-۰/۰۰۹	۰/۰۶۹	Sand
۰/۷۹۸	۰/۰۹۱	-۰/۰۱۴	-۰/۲۳۴	-۰/۱۰۵	-۰/۳۲۱	P
-۰/۰۰۳	۰/۰۷۳	۰/۲۹۵	۰/۰۲۲	۰/۸۴۵	۰/۰۳۱	Ni
۱/۳	۱/۶	۱/۷	۲/۸	۳/۶	۶/۴	ارزش ویژه
۵/۸۹	۷/۶۵	۷/۹۵	۱۲/۷۱	۱۶/۵۹	۲۹/۰۶	درصد واریانس
۷۹/۸۶	۷۳/۹۷	۶۶/۳۲	۵۸/۳۷	۴۵/۶۶	۲۹/۰۶	درصد تجمعی واریانس

روابط همبستگی بین داده‌ها در جدول ۴ ارائه شده‌است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد از بین ۴۸۴ جفت مقایسه، ۲۱۲ مقایسه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است که این مسأله احتمال کاهش داده‌ها برای اجرای تجزیه مؤلفه اصلی را در جلوگیری از همبستگی‌های موازی بین داده‌ها توجیه می‌کند. در این جدول، بین کربن آلی با غلظت برخی از عناصر همانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم همبستگی بالایی وجود دارد و نشان می‌دهد که مقادیر این عناصر می‌تواند به وسیله ماده آلی کنترل شود. همچنین همبستگی بالای مقادیر ماده آلی با برخی شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک همانند تخلخل و وزن مخصوص ظاهری نیز می‌تواند اثر ماده آلی را در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک نشان دهد.

جدول ۴: همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های خاک

	Sand	Silt	Clay	TNV	BD	Porosity	OC	ACCE	ESP	SAR	CEC	EC	PH	N	P _{ava}	K _{ava}	Cu	Zn	Mn	Ni	Cd	Pb	
Sand	1																						
Silt	-.54**	1																					
Clay	-.61**	-0.12	1																				
TNV	0.16	-0.10	-0.08	1																			
BD	-0.12	-.22*	.33**	.33**	1																		
Porosity	0.11	0.08	-.21*	-0.03	-.7**	1																	
OC	0.16	0.08	-0.07	-0.06	-.51**	.53**	1																
ACCE	0.17	-0.06	-0.16	.75**	0.02	.37**	0.16	1															
ESP	-0.09	-.24**	.29**	.18*	.86**	-.73**	-.51**	-0.07	1														
SAR	-0.11	-.25**	.33**	.18*	.87**	-.71**	-.5**	-0.05	.99**	1													
CEC	-.46**	0.05	.65**	-.34**	0.05	-0.02	.25**	-.24**	0.13	0.14	1												
EC	-0.02	-.28**	.26**	0.13	.86**	-.66**	-.33**	-0.09	.84**	.86**	0.03	1											
PH	0.1	-.19*	0.007	0.06	.48**	-.3**	-.20*	-0.11	.45**	.48**	0.17	.48**	1										
N	0.09	0.06	-0.08	-.38**	-.65**	.45**	.57**	-0.15	-.57**	-.59**	.39**	-.64**	-0.17	1									
P_{ava}	.38**	0.01	-.46**	0.05	-.46**	.36**	.46**	.21*	-.33**	-.38**	-.2*	-.37**	-0.12	.3**	1								
K_{ava}	0.03	.21*	-.23*	-.31**	-.59**	.26**	.29**	-.29**	-.57**	-.60**	-0.05	-.57**	-.22*	.56**	.44**	1							
Cu	-.40**	0.13	.22*	-0.15	.36**	-.3**	-.19*	-0.11	.38**	.38**	.26**	.34**	.29**	-.21*	-0.01	-0.09	1						
Zn	-0.12	.38**	-.34**	.24**	-0.02	-0.03	-0.11	.21*	-0.12	-0.15	-.18*	-0.14	-0.04	0.004	0.02	0.03	.23**	1					
Mn	-.6**	.47**	.22*	-0.05	-0.06	.19*	0.07	0.14	-0.14	-0.13	.34**	-0.13	-0.06	-0.05	0.02	0.06	.57**	.37**	1				
Ni	-.23*	.25**	-0.01	0.06	0.06	0.005	-0.11	0.13	-0.09	-0.1	0.07	-0.04	0.05	0.01	-0.09	0.03	.44**	.62**	.51**	1			
Cd	-0.01	0.15	-.19*	-0.1	-0.10	.19*	-0.02	0.01	-.24**	-.23**	-0.02	-0.13	0.01	0.07	-0.05	-0.06	.20*	.45**	.35**	.62**	1		
Pb	-0.12	-0.05	.25**	-.19*	-0.02	0.02	.18*	-0.06	-0.09	-0.06	.35**	0.008	0.006	.28**	-0.13	-0.08	.27**	.19*	0.14	.45**	.39**	1	

ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک در تیپ‌های خاک

برخی خصوصیات آماری شاخص‌های کیفیت خاک در تیپ‌های مختلف، در جدول ۵ ذکر شده‌است. در تیپ *Typic Calcixerepts*، IQIa در مدل TDS در دامنه ۰/۵۴۷ تا ۰/۶۳۴ با میانگین ۰/۵۸۹ و در حالت MDS در محدوده ۰/۵۹۵ تا ۰/۶۷۲ با میانگین ۰/۶۴۴ قرار داشت. شاخص نمودار (NQI) نیز در حالت TDS در دامنه ۰/۳۷۵ تا ۰/۴۳۳ با میانگین ۰/۴۰۳ و در حالت MDS در دامنه ۰/۳۵۵ تا ۰/۴۰۳ قرار داشت. کلاس‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه نیز در جدول ۵ ارائه شده‌است. شاخص‌های کیفیت تجمعی ساده و نمودار در این تیپ خاک در حالت TDS، درجه کیفیت خوب (II) داشت و در حالت MDS، درجه کیفیت متوسط (III). در تیپ *Fluventic Haploxerepts*، شاخص کیفیت IQIa در حالت TDS در دامنه ۰/۵۳ تا ۰/۶۰۹ و میانگین آن ۰/۵۷۸ و در حالت MDS در دامنه ۰/۵۴۵ تا ۰/۶۲۲ با میانگین ۰/۵۸۳ بود. شاخص نمودار (NQI) نیز در حالت TDS در محدوده ۰/۳۶۴ تا ۰/۴۱۵ با میانگین ۰/۳۹۷ و در حالت MDS در دامنه ۰/۳۲۶ تا ۰/۳۷۲ قرار داشت و میانگین آن ۰/۳۵ بود. با توجه به کلاس‌بندی محاسبه شده کیفیت خاک (جدول ۶)، شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی (ساده) و نمودار در این تیپ در مدل TDS، در کلاس خوب (II) و در حالت MDS، شاخص‌های کیفیت خاک دارای درجه کیفیت متوسط (III) بود. در این تیپ خاک نیز با استفاده از مجموعه حداقل داده‌ها، سطح کلاس کیفیت خاک در مقایسه با استفاده از کل ویژگی‌ها کاهش یافت. این تیپ خاک دارای بیشترین مقادیر منگنز بود، همچنین مقادیر نسبتاً بالایی از کربن آلی و نیتروژن کل داشت و به دلیل تأثیر مثبت بر کیفیت خاک، به بهبود وضعیت آن منجر شد؛ ولی این ویژگی‌ها از مجموعه MDS حذف و به کاهش کیفیت خاک انجامید. از طرفی، ویژگی‌هایی که به عنوان MDS انتخاب شده‌اند و بر کیفیت خاک تأثیر منفی داشتند نظیر آهک فعال که در این تیپ خاک دارای بیشترین مقدار است. در تیپ خاک *Typic Haploxerepts*، شاخص تجمعی ساده (IQIa) در دامنه ۰/۵۸۶ تا ۰/۵۹۶ با میانگین ۰/۵۹ متغیر بود. شاخص کیفیت نمودار (NQI) نیز در محدوده ۰/۴۰۱ تا ۰/۴۰۸ قرار داشت و میانگین آن ۰/۴۰۴ بود. شاخص‌های کیفیت تجمعی (ساده و وزنی) و نمودار در این تیپ خاک، درجه کیفیت خوب (II) داشت. این تیپ دارای بالاترین مقادیر کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و عنصر نیکل بود. همچنین پس از تیپ خاک *Fluventic Haploxerepts*، بالاترین مقادیر عنصر منگنز را داشت. این موضوع نشان داد ویژگی‌هایی که در این تیپ خاک بر کیفیت آن تأثیر مثبت داشت، از مجموعه MDS حذف شده‌است. از طرفی، ویژگی‌هایی که به عنوان MDS انتخاب شده‌است (مقادیر بالای نسبت جذب سدیم، نیکل و آهک فعال) و دارای وزن بالایی هستند، بر کیفیت خاک تأثیر منفی داشتند. در تیپ *Typic Endoaquepts*، شاخص تجمعی ساده (IQIa) در حالت TDS در محدوده ۰/۵۹۳ تا ۰/۶۱۸ با میانگین ۰/۶۰۶ و در حالت MDS در دامنه ۰/۶۹ تا ۰/۷۲ قرار داشت و میانگین آن ۰/۷۲ بود. شاخص نمودار (NQI) در حالت TDS در دامنه ۰/۴۰۶ تا ۰/۴۲۳ و میانگین آن ۰/۴۱۵ و در حالت MDS در دامنه ۰/۴۱۱ تا ۰/۴۳ با میانگین آن ۰/۴۲ متغیر بود. این تیپ خاک نیز از نظر کلاس‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی ساده و نمودار در هر دو حالت TDS و MDS، دارای کلاس خوب (II) بود. در تیپ خاک *Fluventic Endoaquepts*، شاخص تجمعی ساده (IQIa) در حالت TDS در محدوده ۰/۶۰۱ تا ۰/۶۶۴ با میانگین ۰/۶۲۹ و در حالت MDS در دامنه ۰/۶۹۲ تا ۰/۸۲۷ قرار داشت و دارای میانگین ۰/۷۷۴ بود. شاخص نمودار نیز در حالت TDS در دامنه ۰/۴۱۱ تا ۰/۴۵۳ و میانگین آن ۰/۴۳ و در حالت MDS در

محدوده ۰/۴۱ تا ۰/۴۷ قرار داشت و دارای میانگین ۰/۴۴۵ بود. شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی (ساده و وزنی) و نمورو در این تیپ خاک نیز همانند تیپ‌های ذکر شده، از نظر درجه کیفیت در گروه خوب (II) طبقه‌بندی شد. تیپ خاک Typic Halaquepts نسبت به سایر تیپ‌های ذکر شده، از نظر کیفیت خاک وضعیت مطلوبی نداشت. شاخص تجمعی ساده (IQIa) در حالت TDS در محدوده ۰/۴۰۵ تا ۰/۴۹۷ با میانگین ۰/۴۶۲ و در حالت MDS در محدوده ۰/۶۵۵ تا ۰/۶۷۹ قرار داشت و میانگین آن ۰/۶۶۷ متغیر بود. شاخص نمورو در حالت TDS در دامنه ۰/۲۸۲ تا ۰/۳۴۲ و در حالت MDS در محدوده ۰/۳۷۸ تا ۰/۴۰۸ با میانگین ۰/۳۹۳ قرار داشت و میانگین آن ۰/۳۲ بود و هر دو شاخص کیفیت (تجمعی و نمورو) در حالت TDS در کلاس ضعیف (IV) و در حالت MDS در کلاس متوسط (III) طبقه‌بندی شد. اراضی پست دارای آب زیرزمینی شور و سدیمی نزدیک سطح خاک، در قالب تیپ خاک Typic Halaquepts مشاهده شد. در این خاک‌ها فرایند گلی‌شدن رخ داده‌است. گلی‌شدن بیانگر زهکشی نامناسب یا بالابودن سطح آب زیرزمینی خاک‌های اراضی پست است (Qolizadeh et al, 2017). بنابراین، چنین خاک‌هایی از کیفیت خاک ضعیفی برخوردار خواهند بود. از طرفی، تیپ خاک Typic Halaquepts به دلیل داشتن بیشترین مقادیر شاخص‌های شوری (EC, SAR, ESP)، وزن مخصوص ظاهری و کمترین مقادیر کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم و فسفر قابل جذب در مقایسه با سایر تیپ‌های خاک، کیفیت ضعیفی (IV) داشت. نتایج مطالعات Hamzepour و Bogart (2017) در اراضی غربی دریاچه ارومیه نشان داد که شوری خاک در مرز بین اراضی کشاورزی و شور در حاشیه غربی دریاچه ارومیه، در طول زمان در حال افزایش است. از طرفی، تیپ خاک Typic Halaquepts در این منطقه قرار دارد و به دلیل متأثر شدن از شوری، شاخص کیفیت خاک در این اراضی در کلاس ضعیف (IV) قرار گرفته‌است. در اثر پسروری دریاچه ارومیه، پهنه وسیعی از اراضی شور بر جای مانده‌است و به دلیل مجاورت این اراضی با اراضی کشاورزی، در دراز مدت می‌تواند تولید پایدار را در منطقه تحت تأثیر قرار دهد (Hamzepour and Bogart, 2017).

جدول ۵: پارامترهای آماری مقادیر محاسبه شده شاخص‌های کیفیت خاک در مدل IQIa و NQI در دو مجموعه TDS و MDS

Soil Type	IQI _a (TDS)					IQI _a (MDS)				
	Min	Max	Mean	SD	CV	Min	Max	Mean	SD	CV
TC	۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۰۳۷	۶/۲۶	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۰۳۴	۵/۳۴
FH	۰/۵۳	۰/۶۰	۰/۵۷	۰/۰۳۳	۵/۷۵	۰/۵۴	۰/۶۲	۰/۵۸	۰/۰۲۵	۴/۲۲
TH1	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۰۰۷	۱/۲	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۰۳۷	۵/۵۳
TE	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۰۱۸	۲/۹۳	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۰۲۳	۳/۲۵
FE	۰/۶۰	۰/۶۶	۰/۶۲	۰/۰۲۲	۳/۵۹	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۰۵	۶/۵۳
TH2	۰/۴۰	۰/۴۹	۰/۴۶	۰/۰۵	۱۰/۶۱	۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۰۳۴	۶/۱۹
Soil Type	NQI(TDS)					NQI(MDS)				
	Min	Max	Mean	SD	CV	Min	Max	Mean	SD	CV
TC	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۰	۰/۰۲۴	۶/۱	۰/۳۵	۰/۴	۰/۳۸	۰/۰۲	۵/۲۱
FH	۰/۳۶	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۰۲۲	۵/۵۸	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۰۱۴	۴/۱۰
TH1	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۰۰۴	۱/۱۷	۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۰۲۱	۵/۴۱
TE	۰/۴۰	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۰۱۲	۲/۸۵	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۰۱۴	۳/۱۸
FE	۰/۴۱	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۰۱۵	۳/۵	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۰۲۸	۶/۴۱
TH2	۰/۲۸	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۰۳۲	۱۰/۱۱	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۰۱۹	۶

TC: Typic Calcixerepts; FH: Fluventic Haploxerepts, TH1: Typic Haploxerepts, TE: Typic Endoaquepts, FE: Fluventic Endoaquepts, TH2: Typic Halaquepts

جدول ۶: درجه‌بندی کلاس‌های کیفیت خاک براساس مدل **IQIa** و **NQI** در مجموعه **MDS** و **TDS**

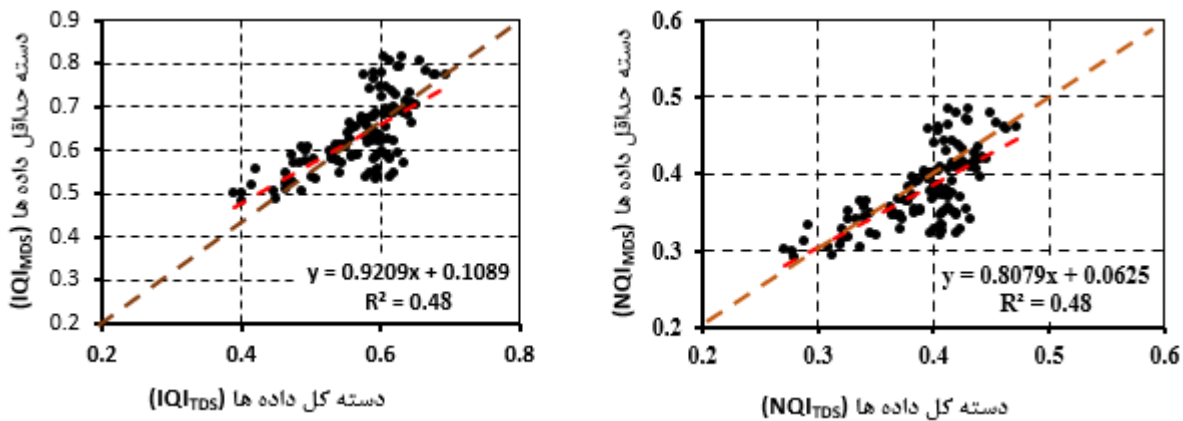
	I (Very High)	II (High)	III (Moderate)	IV (Low)	V (Low)
IQI_a-TDS	۰/۶۶≥	۰/۵۷ – ۰/۶۶	۰/۴۸ – ۰/۵۷	۰/۳۹ – ۰/۴۸	۰/۳۹≤
IQI_a-MDS	۰/۷۸≥	۰/۶۸ – ۰/۷۸	۰/۵۸ – ۰/۶۸	۰/۴۸ – ۰/۵۸	۰/۴۸≤
NQI_{TDS}	۰/۴۵≥	۰/۳۹ – ۰/۴۵	۰/۳۳ – ۰/۳۹	۰/۲۷ – ۰/۳۳	۰/۲۷≤
NQI_{MDS}	۰/۴۷≥	۰/۴۱ – ۰/۴۷	۰/۳۵ – ۰/۴۱	۰/۲۹ – ۰/۳۵	۰/۲۹≤

جدول ۷: مساحت شاخص‌های کیفیت خاک براساس روش مدل **MDS** و **TDS**

Area	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
	IQI_a (TDS)					IQI_a (MDS)				
%	۳/۱۴	۵۴/۶۹	۳۰/۴۷	۱۱/۶۹	۰	۱۸/۵۶	۲۰/۷۴	۲۴/۵۹	۳۶/۱	۰
ha	۱۰۷۱	۱۸۶۶۱	۱۰۴۰۰	۳۹۹۰	۰	۶۳۳۳	۹۲۶۴	۱۲۶۴۵	۵۸۷۹	۰
	NQI (TDS)					NQI (MDS)				
%	۲/۷	۵۵/۱۳	۳۰/۴۸	۱۱/۶۹	۰	۰	۳۹/۳	۱۹	۴۱/۶۲	۰
ha	۹۲۱	۱۸۸۱۰	۱۰۴۰۰	۳۹۹۰	۰	۰	۱۳۴۱۲	۶۵۰۳	۱۴۲۰۶	۰

همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل و حداقل داده‌ها

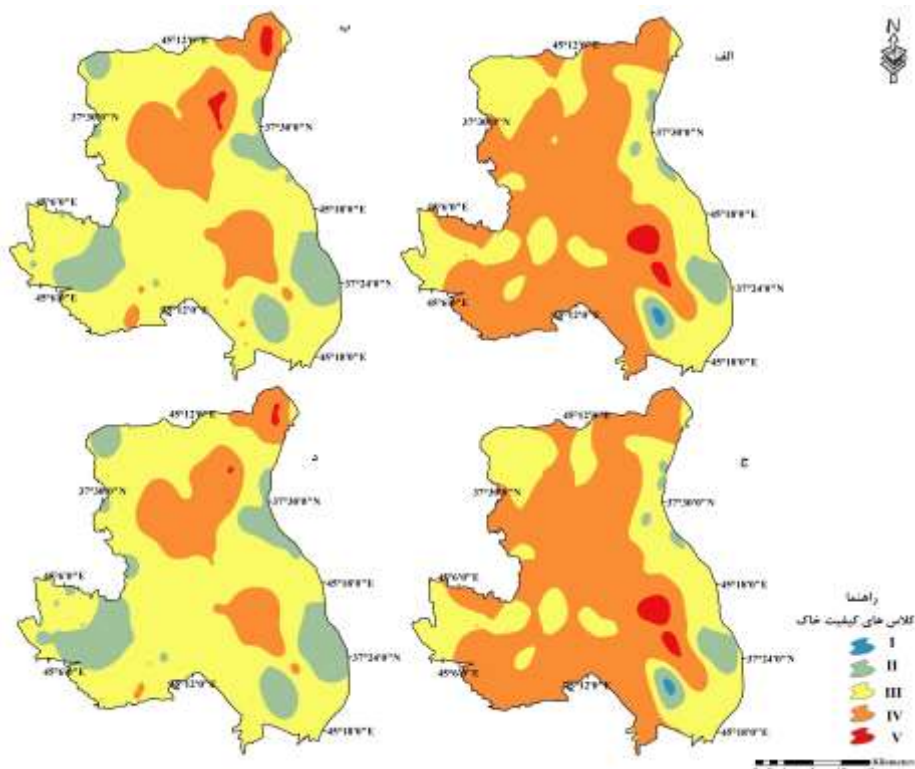
به طور معمول استفاده از مجموعه کل داده‌ها (TDS) به بهبود ارزیابی جامع کیفیت خاک و افزایش دقت ارزیابی منجر می‌شود. اما تجزیه و تحلیل‌های پیچیده با توجه به تعداد زیادی از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، پرزحمت، پرهزینه و وقت‌گیر است. بنابراین، توصیه شده‌است تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک – که نماینده بهتری از کیفیت خاک است – به عنوان MDS در نظر گرفته شود (Imaz et al, 2010 & Ngo-Mbogba et al, 2015). بررسی همبستگی خطی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل و حداقل داده‌ها نشان داد که شاخص **IQIa** و **NQI**، ضریب همبستگی تقریباً یکسانی دارد (شکل ۲). بر اساس میانگین شاخص‌های کیفیت خاک محاسبه شده در تیپ‌های مختلف خاک در اراضی مورد مطالعه، شاخص **IQIa_{MDS}** عملکرد بهتری دارد (شکل ۳). محققان مختلف نیز از شاخص **IQI** برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده کردند (Ghahramanpoor et al, 2018). ضریب تبیین بین دو مجموعه **TDS** و **MDS** در مدل **IQIa** و **NQI** برابر ۴۸ درصد بود. اگرچه روش **TDS** از تمام پارامترهای خاک استفاده می‌کند و نتایج قابل قبولی – میانگین شاخص کیفیت خاک محاسبه شده برابر با ۰/۵۶ – ارائه می‌دهد، اما برای اینکه یک روش در پژوهشی استاندارد شود و نتیجه‌گیری را تسهیل کند، روش انتخاب معیار **MDS** مناسب‌تر از روش **TDS** پیشنهاد می‌شود؛ زیرا این روش با استفاده از ویژگی‌های کمتر، نتایج بهتری – میانگین شاخص کیفیت خاک محاسبه شده برابر با ۰/۶۴ – را ارائه می‌دهد. استفاده از روش **MDS** در ارزیابی کیفیت خاک علاوه بر کاهش زمان اجرای مطالعات، صرفه اقتصادی در بهره‌برداری پایدار از اراضی کشاورزی را فراهم می‌کند (Qi et al, 2009 & Nori et al, 2019).



شکل ۲: رابطه‌های الف) $NQI_{MDSL}-NQI_{TDSL}$ و ب) رابطه‌های $IQI_{MDSL}-IQI_{TDSL}$

توزیع مکانی شاخص‌های کیفیت خاک

نقشه‌های کیفیت خاک منطقه پس از کلاس‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک، با استفاده از میان‌یابی این کیفیت ترسیم شد (شکل ۳). کیفیت خاک تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است. ویژگی‌های شیمیایی جزء ویژگی‌هایی است که مقادیر آنها به عوامل مدیریتی بستگی دارد؛ بنابراین، روند تغییرات آنها لزوماً با روند تغییرات کیفیت خاک می‌تواند همخوانی نداشته باشد، ولی با توجه به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به عنوان ویژگی مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب شده است (Mirkhani et al, 2020). نتایج ارزیابی براساس مدل‌های TDS و MDS نشان داد که درجه کیفیت خوب (II) در خاک‌های منطقه مورد مطالعه غالب بود و ۵۳/۵۵ درصد از مساحت کل مطالعه شده در اراضی را شامل می‌شود. ۱۷/۵۵ درصد از اراضی منطقه از نظر کلاس کیفیت، درجه ضعیف (IV) دارد.



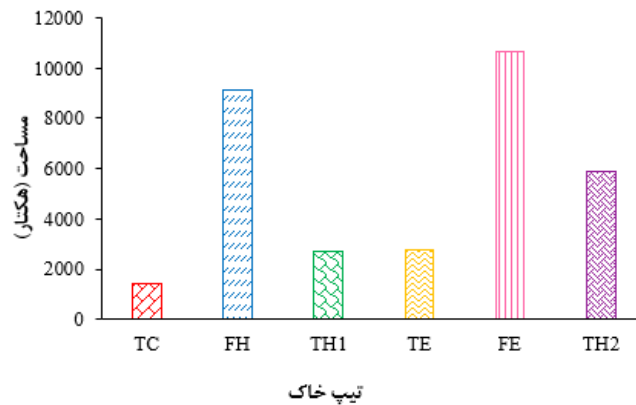
شکل ۳: توزیع کلاس‌های کیفیت خاک الف) IQI_{TDS} ، ب) IQI_{MDS} ، ج) NQI_{TDS} ، د) NQI_{MDS}

۵- بحث و نتیجه‌گیری

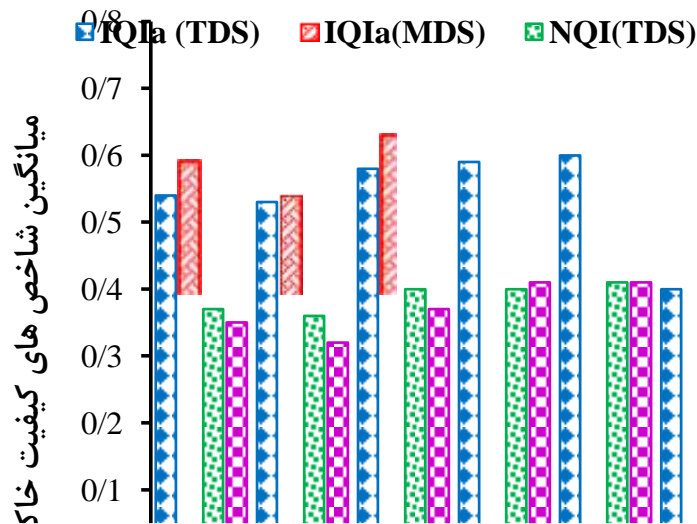
خاک‌های اراضی مورد مطالعه، در ردهٔ اینسپتی سول قرار دارند که از این ردهٔ خاک، شش زیر رده در اراضی مورد مطالعه شناسایی شد. شکل ۴، فراوانی تیپ‌های مختلف خاک را در اراضی مورد مطالعه نشان می‌دهد. ترتیب توالی هر دو شاخص کیفیت خاک (IQIa-NQI) در هر دو حالت TDS و MDS در تیپ‌های منطقهٔ مورد مطالعه به ترتیب به صورت $\text{Fluentic Endoaquepts} > \text{Typic Endoaquepts} > \text{Typic Haploxerepts} > \text{Typic Calcixerepts} > \text{Fluentic Haploxerepts} > \text{Typic Halaquepts} > \text{Endoaquepts}$ بود. بنابراین، بیشترین کیفیت خاک در تیپ $\text{Fluentic Haploxerepts} > \text{Typic Halaquepts} > \text{Endoaquepts}$ و کمترین کیفیت آن نیز در تیپ Typic Halaquepts مشاهده شد (شکل ۵). براساس نتایج، هر دو شاخص مورد بررسی در مجموعهٔ TDS و MDS در سه کلاس (خوب، متوسط و ضعیف) طبقه‌بندی شد. در حالت TDS، ۵۷/۸۳ درصد از اراضی (معادل ۱۹۷۳۱ هکتار) دارای کلاس خوب (II)، ۳۰/۴۸ درصد (معادل ۱۰۴۰۰ هکتار) دارای کلاس متوسط (III) و ۱۱/۶۹ درصد (معادل ۳۹۹۰ هکتار) دارای کلاس ضعیف (IV) بود (کلاس خیلی خوب (I) و خیلی ضعیف (V) نیز مشاهده نشد). در حالت MDS، ۱۸/۵۶ درصد از اراضی (معادل ۶۳۳۳ هکتار) دارای کلاس خیلی خوب (I)، ۲۷/۱۵ درصد (معادل ۹۲۶۴ هکتار) دارای کلاس خوب (II) و ۵۴/۲۹ درصد (معادل ۱۸۵۲۴ هکتار) دارای کلاس متوسط (III) بود (کلاس ضعیف (IV) و خیلی ضعیف (V) نیز مشاهده نشد). درجات شاخص‌های IQIa و NQI نیز مشابه بود و به سه کلاس خوب، متوسط و ضعیف تقسیم‌بندی شد. در نتیجه، ۳۹/۳ درصد از اراضی (معادل ۱۳۴۱۲ هکتار) در کلاس خوب (II)، ۲۴/۵۹ درصد (معادل ۸۳۹۲ هکتار) در کلاس متوسط (III) و ۳۶/۱ درصد (معادل ۱۲۳۱۷ هکتار) در کلاس ضعیف (IV) قرار گرفت (شکل ۶). همان طور که اشاره شد، سطح کلاس کیفیت خاک در مجموعهٔ MDS نسبت به مجموعهٔ TDS کاهش یافته‌است؛ به طوری که مساحت و نمرات کلاس خوب کاهش یافت و مساحت و نمرات کلاس متوسط و ضعیف افزایش داشت.

Nabiollahi و همکاران (2018)، در اراضی شور استان کردستان ایران نشان دادند که در روش استفاده از حداقل داده‌ها نسبت به کل داده‌ها، مساحت و نمرات کلاس خیلی خوب و خوب کاهش یافته و مساحت و نمرات زمین‌های با کیفیت ضعیف و خیلی ضعیف افزایش یافته‌است. Ranjbar و همکاران (2016) نیز با بررسی کیفیت خاک در منطقهٔ قائن خراسان جنوبی نشان دادند که شاخص کیفیت تجمعی با استفاده از کل داده‌ها ($R^2=0.44$)، مؤثرترین روش برای ارزیابی کیفیت خاک در کشتزارهای زعفران است. Azarneshan و همکاران (2018) برای تعیین بهترین روش ارزیابی کیفیت خاک در اراضی خشک و نیمه‌خشک دشت قزوین، از شاخص‌های IQIa و NQI در ترکیب با دو روش انتخاب معیار مجموعهٔ کل داده‌ها TDS و مجموعهٔ حداقل داده‌ها MDS استفاده کردند. نتایج نشان داد که برای محاسبهٔ شاخص کیفیت خاک در قزوین، مدل IQIa مناسب‌تر عمل کرده و بالاترین میزان همبستگی را با MDS IQIa ($R^2=0.77$) نشان داده‌است. Nabiollahi و همکاران (2018) نیز کیفیت خاک را بر مبنای شش روش شاخص کیفیت خاک تجمعی وزنی و ساده خطی و غیرخطی و شاخص کیفیت خاک نمورو خطی و غیرخطی در دو دسته TDS و MDS بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص کیفیت تجمعی وزنی (IQIw) ($R^2=0.70$) بهتر از روش استفاده از شاخص کیفیت خاک تجمعی ساده (IQIa) ($R^2=0.64$) و شاخص کیفیت خاک نمورو (NQI) ($R^2=0.57$) است. همچنین استفاده از کمترین داده‌ها به دلیل صرفه‌جویی در هزینه و زمان، مناسب‌تر از کل داده‌ها

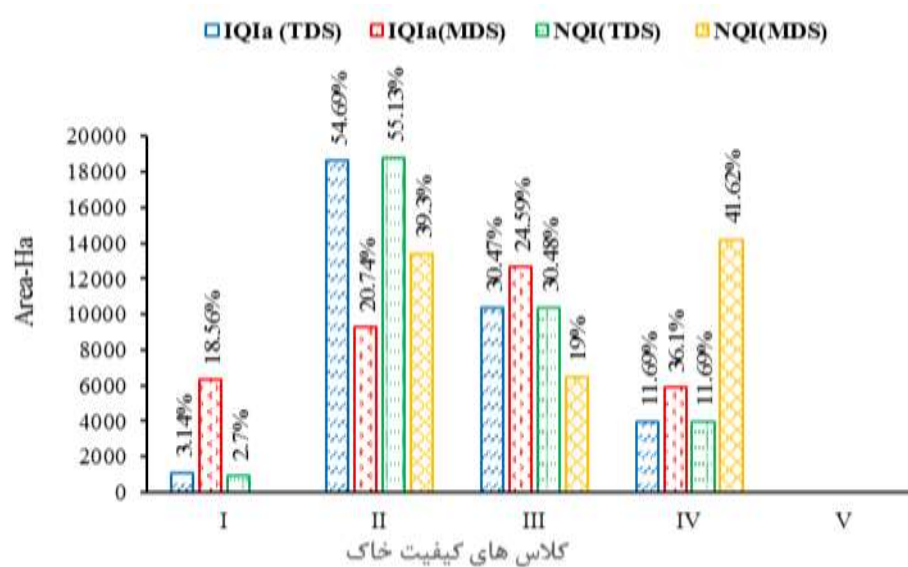
است. ارزیابی کیفیت خاک توسط Nori و همکاران (2019) نیز نشان داد که مدل‌های کیفیت خاک IQIa و NQI در مجموعه‌های TDS و MDS، در ارزیابی کمی کیفیت خاک کارایی بالایی داشت. با وجود اینکه در این تحقیق از هر دو مدل ارزیابی کیفیت خاک، نتایج مشابهی به دست آمد، اما مدل IQI_{TDS} عملکرد مناسب‌تری ارائه کرد. ضریب تبیین (R^2) برای نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی بین دو مجموعه TDS و MDS در دو مدل IQIa و NQI نشان می‌دهد که استفاده از مجموعه MDS به جای TDS در هر دو مدل، قابل اطمینان است. Mamehpour و همکاران (2021) نیز مطالعه‌ای را با هدف ارزیابی کیفیت خاک‌های آهکی مناطق نیمه‌خشک دشت ارومیه انجام دادند. نتایج نشان داد که شاخص کیفیت تجمعی ساده (IQIa) ($R^2=0.46$)، بهتر از شاخص کیفیت خاک نمورو (NQI) ($R^2=0.43$) بود و MDS، نماینده خوبی برای ارزیابی کیفیت خاک بود.



شکل ۴: فراوانی تیب‌های خاک در اراضی مورد مطالعه



شکل ۵: میانگین شاخص‌های کیفیت خاک محاسبه شده در اراضی مورد مطالعه



شکل ۶: مساحت کلاس‌های کیفیت خاک در اراضی مورد مطالعه

به طور کلی، نتایج ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک از طریق تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تعیین سهم هر ویژگی حاصل از آنالیز تجزیه عامل در دو مجموعه TDS و MDS نشان داد که در مجموعه TDS، ویژگی‌های نسبت جذب سدیم، آهک فعال، درصد سدیم تبادلی، درصد شن و در مجموعه MDS، نسبت جذب سدیم و نیکل در اراضی این منطقه وزن بالاتری دارد. استفاده از مدل‌های IQIa و NQI نیز نسبت به سایر شاخص‌ها مزیت‌هایی دارد؛ به طوری که محققان بخش خاک و کشاورزان، هر دو نوع شاخص را به راحتی درک می‌کردند. هر دو شاخص اطلاعات را بر اساس روش‌های ریاضی ترکیب می‌کنند که به افزایش اطمینان داده‌ها منجر می‌شود (Kamali et al, 2021). بررسی ضریب تبیین (R^2) بین دو مجموعه TDS و MDS در دو مدل IQIa و NQI نیز نشان می‌دهد که استفاده از مجموعه MDS به جای TDS قابل اطمینان است. بنابراین، استفاده از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت آن علاوه بر صرفه‌جویی در زمان، به کاهش هزینه در اجرای مطالعات منجر می‌شود و اثر تکرارپذیری حاصل از ویژگی‌های با همبستگی مشابه را کاهش می‌دهد. ضرایب همبستگی نیز نشان می‌دهد که با اطمینان ۰/۴۸ در هر دو مدل IQIa و NQI، می‌توان از مجموعه MDS به جای TDS استفاده کرد.

منابع

1. Amirpour, A.; Rezapour, S.; & B. Davalit, 2015. The effects of continuous and long-term horticulture operations on the distribution of potassium forms and their absorption properties in Urmia region, *Water and Soil*, 30(4) 1218-1202. (In Persian).
2. Andrews, S. S.; Karlen, D. L.; & J. P. Mitchell, 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California, *Agriculture, ecosystems & environment*, 90(1), 25-45.
3. Askari, M. S., & N. M. Holden., (2015). Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. *Soil and Tillage Research*. 150, 57-67.
4. Azarneshan, S.; Khormali, F.; Sarmadian, F.; Kiani, F.; & K. Eftekhari, 2018. Soil Quality Evaluation of Semi-arid and Arid Lands in Qazvin Plain, Iran, *Journal of Water and Soil*, 32(2), 359-374. (In Persian).

5. Burt, R., 2004. Soil survey laboratory methods manual, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, soil survey investigations report, (42).
6. Deng, Y.; Wang, Zh.; Lu, Sh.; Zhong, J.; & L. Zhu, 2021. Soil quality assessment via the factor analysis of karst rocky desertification areas in Hunan in China, *Soil Use Manage*, 00,1-14.
7. Dobermann, A., & T. Oberthür., (1997). Fuzzy mapping of soil fertility—a case study on irrigated riceland in the Philippines. *Geoderma*. 77(2-4), 317-339.
8. Doran, J. W., & B. T. Parkin., (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W., and et al. (Eds.), Defining soil quality for a sustainable Environment. Soil Science Society of American, Inc., *Madison*, WI, USA, pp. 3-21. Special Publication. Number 35.
9. Gee, G. W., & D. Or., (2002). Particle Size Analysis, In: Dane, J. H., Topp, G. C. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods*, Soils Science Society of America, *Madison*, 255-293.
10. Ghahramanpoor, R.; Gorji, M.; Pourbabae, A. A.; & M. Farahbakhsh, 2018. Investigating the Effects of Conservation and Reduced Tillage Systems on Soil Quality Indices, *Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR)*, 49(6), 1355-1364. (In Persian).
11. Govaerts, B.; Sayre, K. D.; & J. Deckers, 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico, *Soil and tillage research*, 87(2), 163-174.
12. Hamzepour, N., & P. Bogart., (2017). Spatial-temporal estimation of soil salinity with uncertain data and maximum oblique entropy method in the western margin of the lake Orumieh. *Applied soil research*. 6, (4), 09-17.
13. Imaz, M. J.; Virto, I.; Bescansa, P.; Enrique, A.; Fernandez-Ugalde, O.; & D. L. Karlen, 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland, *Soil and Tillage Research*, 107, 17-25.
14. Kamali, K.; Zahtabian, Ghy.; Misbahzadeh, T.; Arab Khodri, M.; Shahab-Arkhazlou, H & A. Moghadamnia, 2021. Determining the Most Effective Properties to Evaluate Soil Quality of Agriculture Lands in Mohammadshahr Plain of Karaj, *Water and soil*, 35(2), 251-266. (In Persian).
15. Kamali, K.; Zahtabian, Qh m.; Misbahzadeh, T.; Arab Khodri, M.; Shahab-Arkhazlou, H.; & A. R. Moghadamnia, 2021. Determining the most effective characteristics in order to evaluate soil quality in the agricultural lands of Mohammadshahr Karaj plain, *Water and soil*, 35(2), 251-266.(In Persian).
16. Karlen, D. L.; Andrews, S. S.; Wienhold, B. J.; & T. M. Zobeck, 2008. Soil quality assessment: past, present and future.
17. Mamehpour, N.; Rezapour, S.; & N. Ghaemian, 2021. Quantitative assessment of soil quality indices for urban croplands in a calcareous-semiarid ecosystem, *Geoderma*, 382, 114781.
18. McGrath, D.; & C. Zhang., (2003). Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. *Applied Geochemistry*. 18(10), 1629-1639.
19. McLean, E. O., 1982. Soil pH and lime requirement, P 199-224. 9. In: A.L .Page, R.H. Miller, and D. R. Keeney (eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, 2nded. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America ,Inc., *Madison*, WI.
20. Mirkhani, R.; Vaezi A. R.; Rezaei, H.; & L. Esmailnejad, 2020. Investigating Spatial Variability of Soil Quality Indices in Nazar Abad Fields, West of Alborz Province, *Water and soil research*, 51(7), 1755-1768.
21. Mohagheq, P.; Naderi Khorasgani, M.; & J. Mohammadi, 2016. Determining the minimum data set to evaluate the soil quality of a case study of the Chaghakhor Lake watershed, *Water and Soil Journal*, 30(4), 1232-1243. (In Persian).

22. Monreal, C. M.; Diné, H.; Schnitzer, M.; Gamble, D. S.; & V. O. Biederbeck, 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.
23. Mukherjee, A., & R. Lal., (2014). Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods. *PLoS ONE*. 9(8), e105981.
24. Nabiollahi, K.; Golmohamadi, F.; Taghizadeh-Mehrjardi, R.; Kerry, R.; & M. Davari, 2018a. Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate, *Geoderma*, 318, 16-28.
25. Nabiollahi, K.; Taghizadeh-Mehrjardi, R.; & S. Eskandari, 2018b. Assessing and monitoring the soil quality of forested and agricultural areas using soil-quality indices and digital soil-mapping in a semi-arid environment, *Archives of Agronomy and soil science*, 64(5), 696-707.
26. Ngo-Mbogba, M.; Yemefack, M.; & B. Nyeck, 2015. Assessing soil quality under different land cover types within shifting agriculture in South Cameroon, *Soil and Tillage Research*, 150, 124-131.
27. Nori, N.; Rostaminia, M.; Keshavarzi, A.; & A. Rahmani, 2019. Quantitative Evaluation and Zoning of Spatial Distribution of Soil Quality Index in Some Parts of Arid and Semi-Arid Lands of Western Iran (Case Study: Kane Sorkh Region, Ilam Province), *Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR)*, 50(7), 1701-1719. (In Persian).
28. Olson, R. V., & J. R. Roscoe Ellis., (1982). Iron. In: A.L.Page (Editor) ,Methods of soil analysis .Part 2. 2Ovalles F.A., and Collins M.E. 1988. Variability of northwest Florida soils by principle component analysis.
29. Page, A. L.; Miller, R. H.; & D. R. Keeney, 1982. Methods of soil analysis ,part 2, second edition, American Society of Agronomy -Soil Science Society of America, *Madison, USA*, 1159p.
30. Qaimian, N., 2018. Revision and update of semi-detailed soil studies in southern Urmia. West Azerbaijan Agricultural Research Center. (In Persian).
31. Qi, Y.; Darilek, J. L.; Huang, B.; Zhao, Y.; Sun, W.; & Z. Gu, 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China, *Geoderma*, 149(3-4), 325-334.
32. Qolizadeh, A.; Kharmali, F.; Amini, A.; & F. Kiani, 2017. Clay mineralogy and soil development in a catna in Behshahr region of Mazandaran, *Soil management and sustainable production*, 8(3), 97- 114. (In Persian).
33. Rahmanipour, F.; Marzaioli, R.; Bahrami, H. A.; & Z. Fereidouni, 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, *Iran, Ecological Indicators*, 40, 19-26.
34. Ranjbar, A.; Emami, H.; Khorasani, R.; & A. R. Karimi Karoyeh, 2016. Soil Quality Assessments in Some Iranian Saffron Fields, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(3), 865-878.
35. Rezapour, S.; Nouri, A.; Jalil, H. M.; Hawkins, S. A.; & S. B. Lukas, 2021. Influence of Treated Wastewater Irrigation on Soil Nutritional-Chemical Attributes Using Soil Quality Index, *Sustainability*, 13, 1952.
36. Safiyari, R.; Sarmadian, F.; Heidari, A.; & S. H. Younesi, 2013. Land vulnerability evaluation related to erosion and climate change impacts in Abyek region with use of Microleis system, *Journal of Range and Watershed Management*, 66(3), 417-431. (In Persian).
37. Schoeneberger, P. J.; Wysocki, D. A.; Benham, E. C.; & W. D. Broderson, 2002. Field book for describing and sampling soils, Version 2.0 Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 228 P.
38. Selmy, S. A.; Al-Aziz, S. H. A.; Jiménez-Ballesta, R.; García-Navarro, F. J.; & M. E. Fadl, 2021. Soil Quality Assessment Using Multivariate Approaches: A Case Study of the Dakhla Oasis Arid Lands, *Land*, 10(10), 1074.

39. Shahab Arkhazloo, H.; Emami, H.; & G. H. Haghnia, 2012. Evaluation of the relationship of soil quality models and sustainability indices of agricultural and rangeland soils in south Mashhad, *Iranian J. Soil Research, (Soil and Water Sci.)*, 26(3). (In Persian).
40. Shahab, H.; Emami, H.; & G. Haghnia, 2018. Effects of Gully Erosion on Soil Quality Indices in Northwestern Iran, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(6), 1317-1329. (In Persian).
41. Shahab, H.; Emami, H.; Haghnia, G. H.; & A. Karimi, 2013. Pore Size Distribution as a Soil Physical Quality Index for Agricultural and Pasture Soils in Northeastern Iran, *Pedosph*, 23, 312-320.
42. Sheidai Karkaj, E.; Sepehry, A.; Barani, H.; Motamedi, J.; & F. Shahbazi, 2019. Establishing a suitable soil quality index for semi-arid rangeland ecosystems in Northwest of Iran. *J. Soil Sci. Plant Nutr*, 19, 648-658.
43. Shukla, M. K.; Lal R.; & M. Ebinger, 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis, *Soil and Tillage Research*, 87, 194-204.
44. Swift, R. S., & D. L. Sparks., (1996). *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods, Part 3*.
45. Tang, D.; Yang, J.; & P. Cheng, 2022. Comprehensive Evaluation of Soil Substrate Improvement Based on the Minimum Data Set Method, *Sustainability*, 14, 3939.
46. Walkley, A., & 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 Science*. 37, 29-38.
47. Wander, M. M.; Walter, G. L.; Nissen, T. M.; Bollero, G. A.; Andrews, S. S.; & D. A. Cavanaugh-Grant, 2002. Soil quality: science and process, *Agronomy Journal*, 94(1), 23-32.
48. Yeilagi, S.; Rezapour, S.; & F. Asadzadeh, 2021. Degradation of soil quality by the waste leachate in a Mediterranean semi-arid ecosystem, *Scientific reports*, 11(1), 1-12.
49. Yemefack, M.; Jetten, V. G.; & D. G. Rossiter, 2006. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems, *Soil and Tillage Research*, 86, 84-98.
50. Zeraatpisheh, M.; Bottega, E.; Bakhshandeh, E.; Owliaie, H.; Taghizadeh, R.; Kerry, R.; Schokten, T.; & M. Xu, 2021. Spatial variability of soil quality within management zones: Homogeneity and purity of delineated zones, *Catena*, 105835.
51. Zornoza, R.; Acosta, J.; Bastida, F.; Domínguez, S.; Toledo, D.; & A. Faz, 2015. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, *management practices and human health*, 1(1), 173.

Evaluation of Soil Quality Indicators in Different Types of Soils in Urmia Plain

Ali Barikloo: PhD student, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Parisa Alamdari¹: Associate Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Salar Rezapour: Associate Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

Ruhollah Taghizadeh-Mehrjardi: Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Yazd, Iran

Article History (Received:2022/12/06

Accepted: 2023/03/04)



Extended abstract

1- Introduction

One of the important issues in the sustainable management of soils in order to optimize the agricultural production and preserve natural resources is the assessment of soil quality. Soil quality is the capacity of a specific kind of soil to function to sustain plant and animal productivity, maintain or enhance water and air quality, and support human health and habitation. It is also considered one of the most important factors investigated in the assessment of soil management. Knowledge of quality changes is necessary for sustainable soil management. Since soil quality cannot be measured directly, it must be obtained from the relevant characteristics. Soil quality characteristics are sets of measurable soil characteristics that are sensitive to land use change, management, or conservation operations. Using soil quality indicators is a useful tool to determine and compare soil quality. The purpose of this research is to quantify the soil quality index using multivariate analysis in different soil types in Urmia Plain.

2- Methodology

In this research, according to the semi-detailed soil studies of Urmia plain, 24 soil profiles from different soil units of this area, which are mostly under garden and agricultural use, were excavated, described, sampled, and classified, and 96 samples were also collected from soil solum. 2 profiles in Typic Haploxerepts (TH1) soil type, 4 profiles in Fluvaquentic Endoaquepts (FE) soil type, 6 profiles in Typic Calcixerepts (TC) soil type, 2 profiles in Typic Endoaquepts (TE) soil type, 5 profiles in Fluventic soil type Haploxerepts (FH) and 2 profiles were located in Typic Halaquept (TH2) soil type. At a certain distance from the excavation site of the profiles, four soil samples were taken from four directions of the profile. Using principal component analysis (PCA), among 22 characteristics affecting soil quality (TDS), the minimum characteristics affecting soil quality (MDS) were determined. Then the soil quality in different soil types of region was evaluated using two cumulative soil quality indices (IQI) and Nemuro Quality Index (NQI) and each of them was evaluated in two sets of TDS and MDS in different soil types.

3- Results

Among the measured parameters, pH had the lowest (2.5%) and salinity (EC) had the highest coefficient of variation (154.6%) in the region. Among the 22 measured soil properties, sodium absorption ratio (SAR) in the first component, nickel element (Ni) in the second component, cation exchange capacity (CEC) in the third component, sand percentage in the fourth component, active lime (ACCE) in the fifth component and absorbable phosphorus (PAW) in the sixth component were selected as MDS. The examination of the soil quality index showed that the soils of this region

¹ Corresponding Author: p_alamdari@znu.ac.ir

mainly have quality grade II (57%). The highest average value of selected soil quality index related to MDS mode in IQI model was calculated with a value of 0.79 in Fluventic Haploxerepts soil type and the lowest average value related to TDS mode in NQI model was calculated with 0.28 value in Typic Halaquepts soil type. The correlation coefficient between the soil quality index with the total category and minimum data in both IQI and NQI models was equal ($R^2=0.48$).

4- Discussion & Conclusions

The sequence order of both soil quality indices (IQIa, NQI) in both TDS and MDS conditions in the types of the studied area was as FE>TE>TH1>TC>FH>TH2. Therefore, the highest soil quality was observed in the Fluventic Endoaquepts type and the lowest soil quality was observed in the Typic Halaquepts type. Based on the results, both indicators were classified in three classes (good, medium and poor) in TDS and MDS sets. In the case of TDS, 57.83% of land (equivalent to 19731 hectares) had good class (II), 30.48% of land (equivalent to 10400 hectares) had medium class (III) and 11.69% of land (equivalent to 3990 hectares) had poor class (IV); (very good (I) and very poor (V) class were not observed). In MDS mode, 18.56% of lands (equivalent to 6333 hectares) had very good class (I), 27.15% of lands (equivalent to 9264 hectares) had good class (II) and 54.29% of lands (equivalent to 18524 hectares) had medium class (III); (weak class (IV) and very weak (V) were not observed). The degrees of IQIa and NQI indices were similar and were divided into three classes (good, medium and poor). As a result, 39.3% of land (equivalent to 13412 hectares) was in good class (II), 24.59% of land (equivalent to 8392 hectares) was in medium class (III) and 1.36% of land (equivalent to 12317 hectares) was placed in poor class (IV); (very good (I) and very poor (V) classes were not observed). In general, the soils of the region were limited in terms of the studied indicators in the parts leading to the lake, and there was a significant correlation between IQITDS and IQIMDS, and between NQITDS and NQIMDS. This shows that the determined MDS set can be a good representative of TDS in soil quality assessment in Urmia Plain.

Key words: Principal Component Analysis, Minimum Data Set, Integrated Quality Index, Nemoro Quality Index, Soil Quality