ارزیابی کمی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف دشت شهرکرد به روش فرایند تجزیه سلسله مراتبی

علی همتی‌فرد*، مهدی نادری، احمد کریمی و جهانگرد محمدی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۲۹)

چکیده

ارزیابی کیفیت خاک، به ایجاد تعادل بین عملکرد و منابع خاک، بهبود کیفیت خاک و دستیابی به کشاورزی پایدار کمک می‌کند. برای ارزیابی کمی کیفیت خاک دشت شهرکرد، ۱۰۶ نمونه خاک مرکب از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متر جمع‌آوری شدند. بعد از تیمارهای اولیه خاک، ۱۱ ویژگی فیزیکی و شیمیایی به‌عنوان کل داده (Total Data Set)، به روش‌های استاندارد تعیین شدند. تحلیل آماری نشان داد که تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis, PCA) سودمند است. حداقل داده‌ها (Minimum Data Set) با استفاده از PCAانتخاب شدند. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process) برای تعیین کمی اولویت‌ها و وزن‌دهی شاخص‌ها انجام شد. کیفیت خاک‌ها با استفاده از شاخص‌های تجمعی (Integrated Quality Index, IQI) و شاخص نمرو (Nemero Quality Index, NQI) در مجموعه داده‌ها، تعیین شدند. نتایج نشان دادند که ترتیب کیفیت خاک در کاربری‌ها عبارتست از: مراتع > کشت دیم > کشت آبی. ضریب همبستگی IQI، با کل داده‌ها و حداقل داده‌ها ۰/۹۷ و این مقدار برای NQI برابر ۰/۹۸ بود. همبستگی بین نقشه‌های کیفیت خاک تجمعی و نمرو برای کل داده‌ها ۰/۸۷ و برای حداقل داده‌ها ۰/۹۱ بود. طبقه‌بندی نقشه کیفیت خاک IQI-TDS نشان داد ۱۲/۵ و ۱۵/۵ درصد اراضی به‌ترتیب در شرایط بسیار بالا و بسیار پایین کیفیت قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نمرو، کل داده‌ها، حداقل داده‌ها، دشت شهرکرد

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ali.hemati999@gmail.com

مقدمه

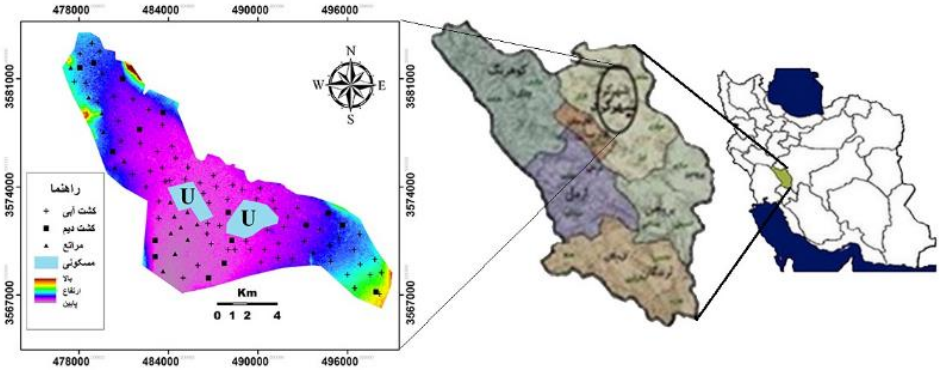
یکی از ابزارهای مفید برای بررسی وضعیت مدیریت خاک در کاربری‌های مختلف، ارزیابی کیفیت خاک است و استفاده از شاخص‌های کمی، یکی از مناسب‌ترین روش‌های تعیین و مقایسه کیفیت خاک‌ها است. برای نیل به توسعه پایدار و استفاده بهینه از منابع طبیعی، مطالعه خاک که جزء بسیار مهم پایداری زیست‌بوم‌هاست الزامی است، اما پیچیدگی‌های موجود در خاک به‌طور جدی اطلاعات ما را درباره چگونگی عملکرد خاک محدود کرده است (۱۶). کیفیت خاک به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست و باید از شاخص‌های مربوطه استفاده شود. شاخص‌های کیفیت خاک، مجموعه‌ای از ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری خاک هستند که ظرفیت آن برای تولید محصول یا عملکرد زیست محیطی را تحت تأثیر قرار می دهند و به تغییر کاربری اراضی، مدیریت یا عملیات حفاظتی حساس هستند (۲ و ۲۷).

دوران و پارکین (۵) بر این باورند که ارزیابی کیفیت خاک به‌عنوان یک ابزار در گزینش شیوه‌های مدیریتی ویژه نقش بسیار مهم داشته و معیاری برای سنجش از کشاورزی پایدار است. پارامترهای مؤثر بر شاخص‌های کیفیت خاک به‌صورت فرایندها و ویژگی‌هایی از خاک تعریف می‌شوند که به تغییرات مدیریت خاک حساس هستند. این ویژگی‌ها می‌توانند مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، زیستی یا ترکیبی از آنها باشند. به‌دلیل اینکه تفسیر تعداد زیادی از متغیرها و نتیجه‌گیری از آنها بسیار مشکل است، توصیه شده که مجموعه متغیرها در یک شاخص تلفیق شوند. این عمل از طریق جمع یا ضرب داده‌ها با یکدیگر و اعمال وزن مناسب برای هر متغیر صورت می‌گیرد (۴، ۵ و ۲۷). شاخص‌های کمی زیادی مانند شاخص کیفیت تجمعی (Integrated Quality Index, IQI) توسط دوردان و پارکین (۵) در سال ۱۹۹۶ و شاخص کیفیت نمرو (Nemoro Quality Index, NQI) توسط کای و همکاران (۲۵) در سال ۲۰۰۹ برای محاسبه کیفیت خاک ارائه شدند.

برخی از پژوهشگران شاخص کیفیت خاک را بر اساس مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک تعیین کرده‌اند و برخی دیگر تعداد محدودتری از ویژگی‌هایی خاک را که نماینده بهتری از کیفیت خاک بودند، به‌عنوان دسته حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک پیشنهاد کرده‌اند که بدین‌ترتیب تعداد ویژگی‌های مورد نظر کاهش یافته و موجب سهولت کار و کاهش هزینه‌های ارزیابی کیفیت خاک می‌شود (۱۲ و ۱۷). در این زمینه شهاب و همکاران (۲۹) شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو را در دو مجموعه حداقل و کل داده‌ها در جنوب مشهد بررسی کردند و بیان کردند که به‌جای کل داده‌ها می‌توان از دسته حداقل داده‌ها استفاده کرد و همچنین در محاسبه شاخص کیفیت تجمعی ضریب همبستگی بین کل داده‌ها و حداقل داده‌ها را برابر ۰/۶۲ و در شاخص کیفیت نمرو، ضریب همبستگی کل داده‌ها و حداقل داده ها را برابر ۰/۵۶ به‌دست آوردند. گو و همکارن (۱۳) با مقایسه روش‌های ارزیابی کیفیت خاک در منطقه کنلی و یوچانگ چین گزارش کردند که کیفیت خاک یوچانگ بهتر از کنلی است و شوری زیاد عامل اصلی کاهش دهنده کیفیت خاک منطقه کنلی است. همچنین بیان کردند نمره‌دهی خطی نسبت به غیرخطی، دقیق‌تر کیفیت خاک را نشان می‌دهد.

هونک و همکاران (۱۴) با بررسی ویژگی‌های خاک تحت تأثیر کاربری‌های مختلف در برزیل نشان دادند که تغییر کاربری منجر به کاهش نفوذپذیری خاک، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و افزایش pH خاک می‌شود. محقق و همکاران (۲۴) با مقایسه برخی خصوصیات خاک در کاربری‌های مختلف حوضه چغاخور، چهارمحال و بختیاری گزارش کردند که ویژگی‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در آب، آب قابل استفاده، گنجایش هوایی، شاخص دکستر و کربن‌آلی به‌ترتیب در کاربری‌های باغ، اراضی زراعی، مراتع خوب، دیم‌زارها و مراتع ضعیف سیر نزولی داشتند.

این پژوهش با هدف ارزیابی کیفیت خاک در بخشی از اراضی دشت شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری با کاربری های مختلف انجام گرفت. گرچه استفاده از روش‌های آماری در کشورهای مختلف از جمله ایران برای تعیین



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و مکان‌های نمونه‌برداری در استان چهارمحال و بختیاری و کشور

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت خاک مورد استفاده گرفته‌اند لکن به نظر میرسد اگر بتوان نظرات خبرگان (Expert knowledge) خاکشناسی و کشاورزی را در تعیین اولویت خصوصیات خاک در کنار تجزیه و تحلیل‌های آماری اعمال کرد، کیفیت خاک با دید جامع‌تری تعیین می‌شود. بر اساس بررسی منابع انجام شده روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process, AHP) ضمن تجزیه و تحلیل آماری برای تعیین شاخص‌ها، توانایی بالقوه اعمال نظر خبرگان را داراست و بر این اساس در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت و در مرحله بعد کیفیت خاک دشت شهرکرد، به‌عنوان یک اکوسیستم کشاورزی و مرتعی با استفاده از شاخص‌های کیفیت تجمعی و نمرو در دو مجموعه کل دادها و حداقل داده‌ها تعیین شدند و درنهایت شاخص‌های کیفیت خاک در اکوسیستم‌های موجود مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

الف) منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی بخشی از حوضه آبخیز بهشت‌آباد شامل دشت شهرکرد واقع در شهرستان شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری در عرض‌های جغرافیایی ″ ۵۱ ′ ۱۳ °۳۲ تا ″ ۲۸ ′ ۲۳ °۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ″ ۵ ′ ۴۵ °۵۰ تا ″ ۱۰ ′ ۵۹ °۵۰ شرقی است (شکل ۱). مساحت منطقه حدود ۱۳۰۰۰ هکتار (به استثنای فرودگاه و شهرکیان)، ارتفاع متوسط دشت شهرکرد ۲۰۶۰ متر از سطح دریا و واحدهای فیزیوگرافی اصلی منطقه اغلب دشت‌های آبرفتی و دامنه‌ای هستند. کاربری عمده اراضی موجود در منطقه شامل کشت آبی گندم، جو، یونجه، ذرت و دیم (گندم و جو) و مرتع است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک با رژیم حرارتی مزیک و رطوبتی زریک است. میانگین سالانه دمای هوا ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه ۳۲۰ میلی‌متر و متوسط تعداد روزهای یخبندان ۱۴۷ روز در سال است.

ب) نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی

برای تحقق این پژوهش از کاربری کشت آبی ۷۲ نمونه، کشت دیم ۱۸ و مراتع طبیعی ۱۶ نمونه خاک سطحی (عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متر) به‌صورت مرکب و تصادفی در مرداد ماه ۱۳۹۵ تهیه شد و به همین تعداد در هر کاربری نمونه دست‌نخورده برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک دست‌خورده در محیط آزمایشگاه هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. توزیع اندازه‌ای ذرات خاک به روش هیدرومتر (۸)، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش بار ثابت (۱۹)، چگالی ظاهری خاک به روش سیلندر (۳)، درصد کربن آلی با روش سوزاندن‌تر (۳۰) و واکنش خاک و هدایت الکتریکی به‌ترتیب در گل اشباع و عصاره گل اشباع خاک (۲۳) اندازه‌گیری شدند. همچنین اندازه‌گیری ظرفیت زراعی مزرعه و نقطه پژمردگی دائم توسط دستگاه صفحه فشاری انجام شد و آب قابل استفاده از اختلاف رطوبت زراعی مزرعه و نقطه

جدول ۱. وزن‌دهی به عوامل مؤثر بر اساس ارجحیت به‌صورت مقایسه زوجی (۲۸)

ترجیحات	مقدار عددی	ترجیحات	مقدار عددی
کاملاً مرجح	۹	کمی مرجح	۳
ترجیح قوی	۷	ترجیح یکسان	۱
مرجح	۵	ترجیحات یکسان	۲، ۴، ۶، ۸

پژمردگی دائم (۲۱) محاسبه شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (Mean Weight Diameter, MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (Geometric Mean Diameter, GMD) با استفاده از سری الک‌های تر ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، و ۴ میلی‌متر (۱۸) با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲).و تخلخل خاک با توجه به مقادیر وزن مخصوص ظاهری و وزن مخصوص حقیقی از رابطه (۳) تعیین شد.

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} x_i w_i \qquad (1)$$

در رابطه (۱)، MWD؛ میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، x_i، میانگین قطر الک بالا و پایین (میلی‌متر)، w_i نسبت وزن خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک به وزن کل خاک در ابتدای آزمایش است.

$$GMD = EXP(\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \times \log x_i}{\sum w_i}) \qquad (2)$$

در رابطه (۲)، GMD؛ میانگین هندسی قطر خاکدانه ها، x_i، میانگین قطر الک بالا و پایین، w_i نسبت وزن خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک به وزن کل خاک و $\sum w_i$ وزن خشک ۵۰ گرم خاک عبور داده شده از الک چهار میلی‌متری است.

$$F = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \qquad (3)$$

ج) انتخاب و وزن‌دهی شاخص‌های مؤثر بر کیفیت خاک

مهم‌ترین مرحله در تعیین کیفیت خاک، شناسایی عوامل مؤثر بر آن است. شناسایی و انتخاب عوامل مؤثر بر کیفیت خاک می‌تواند به‌وسیله روش‌های مختلفی صورت گیرد و به‌دلیل اینکه کیفیت خاک متأثر از فرایندهای مختلف در خاک است، با استفاده از یک ویژگی به‌تنهایی قابل ارزیابی نیست، از این‌رو برای ارزیابی آن از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک به‌طور گسترده استفاده می‌شود. به عبارتی شاخص‌هایی را بایستی انتخاب کرد که نسبت به مدیریت‌های مختلف و تغییر کاربری اراضی حساس و تأثیرپذیر باشند (۲۰). بر این اساس ۱۱ ویژگی خاک شامل بافت خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری، تخلخل، پایداری خاکدانه‌ها، آب قابل استفاده، شاخص خمیرایی، واکنش خاک و هدایت الکتریکی خاک انتخاب و وزن‌دهی شدند.

برای برآورد اوزان هر یک از ویژگی‌ها، کمیته‌ای متشکل از کارشناسان خبره خاک‌شناسی، کشاورزی و حفاظت خاک تشکیل شد و با توجه به جدول ارجحیت ارائه شده توسط ساعتی (جدول ۱) اهمیت هر ویژگی و ارجحیت آن نسبت به دیگر ویژگی‌ها تعیین شد. به‌منظور مقایسه دو به دو عوامل مؤثر بر کیفیت خاک و تعیین میزان اهمیت هر یک از عوامل در روش تحلیل سلسله مراتبی، ماتریس مقایسه‌های زوجی تشکیل داده شد (۲۸). با توجه به جدول (۱) عوامل مؤثر بر کیفیت خاک در تحلیل سلسله مراتبی به‌صورت عددی و بین ۱ تا ۹ رتبه‌بندی شدند. عدد یک به مفهوم ارجحیت یکسان و عدد ۹ به معنی ارجحیت کامل یک عامل نسبت به عوامل دیگر است (۲۸). تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت خاک در سه گام صورت گرفت. در گام اول عوامل و فاکتورهای مؤثر بر کیفیت خاک شناسایی و مطرح شد. در گام دوم معیارها و عوامل مؤثر بر کیفیت خاک به‌صورت زوجی با هم مقایسه و درجه اهمیت آنها نسبت به یکدیگر مشخص شد، در گام سوم وزن نسبی ویژگی‌ها محاسبه شد: (۲۱)

۱) مقادیر هر یک از ستون‌ها در ماتریس مقایسه‌های زوجی باهم جمع شدند. ۲) با تقسیم هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی به جمع ستون خودش، نرمال کردن داده‌های ماتریس مقایسات جفتی انجام شد، جمع هر ستون در ماتریس نرمال برابر یک است. ۳) مقدار میانگین در هر سطر از ماتریس نرمال

جدول ۲. شاخص تصادفی (۲۱)

تعداد	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
شاخص تصادفی	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۵۳	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

محاسبه شد. این مقادیر میانگین یک تخمین از وزن‌های مورد نظر است (جدول ۵). برای تعیین درجه دقت و صحت وزن‌دهی از شاخص پایداری (Consistency Index, CI) استفاده شد. ماتریس مقایسات زوجی در بردار ستونی (وزن نسبی) ضرب و بردار جدیدی تحت عنوان بردار مجموع وزنی (Weighted Sum Vector) حاصل شد. عناصر بردار مجموع وزنی بر بردار اولویت نسبی تقسیم شد بردار جدیدی تحت عنوان بردار پایداری (Consistency Vector) تشکیل شد و شاخص پایداری با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (۲۲).

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - ۱} \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)، n؛ تعداد عوامل مؤثر بر کیفیت خاک و λ؛ متوسط پایداری است. نسبت پایداری (Consistency Ratio, CR) مطابق رابطه (۵)، از تقسیم شاخص پایداری به شاخص تصادفی (Random Index, RI) حاصل شد.

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (۵)$$

شاخص تصادفی (RI) از جدول (۲) استخراج شد. چنانچه نسبت پایداری، معادل یا کمتر از ۰/۱ باشد، وزن‌دهی صحیح، در غیر این صورت، وزن‌های نسبی داده شده به ویژگی‌های مؤثر باید تغییر یابند و وزن‌دهی مجدداً انجام شود. با محاسبه نسبت پایداری و قابل قبول بودن اوزان، وزن مربوط به هر ویژگی در محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک اعمال شد.

د) روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی

برای انتخاب دسته حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، از میان مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی استفاده شد (۲۵). تعداد مؤلفه‌های استخراج شده در هر مدل برابر است با تعداد متغیرهایی که بررسی می‌شوند. اما می‌توان تعداد مشخصی از این مؤلفه‌ها را انتخاب کرد. معمولاً مؤلفه‌های اول مقدار قابل توجهی از واریانس داده‌ها (Eigen Values) را در بر می‌گیرند. در ادامه مطابق با روش ارائه شده توسط اندرس و همکاران (۱)، دسته داده‌های حداقل انتخاب شد. در این روش، بعد از انتخاب تعداد مؤلفه‌های اصلی مهم‌ترین متغیرها در داخل هر مؤلفه اصلی انتخاب می‌شود. به این صورت است که بین هر متغیر (صفت اندازه‌گیری شده) با مؤلفه های اصلی انتخاب شده یک همبستگی برقرار می‌شود و به آن میزان اشتراک‌پذیری گفته می‌شود. هرچه همبستگی بالا باشد به‌عنوان متغیر اصلی در داخل آن مؤلفه اصلی درنظر گرفته می شود. معمولاً اشتراک پذیری بالای ۰/۵ یا متغیرهایی که تا ۱۰ درصد بزرگ‌ترین اشتراک‌پذیری (قدر مطلق آن) را داشته باشند (متغیرهای با وزن در محدوده ۱۰ درصد بیشترین وزن موجود در آن مؤلفه اصلی)، به‌عنوان متغیرهای اصلی درنظر گرفته می‌شوند و از این متغیرهای انتخاب شده به‌عنوان حداقل مجموعه داده استفاده می‌شود. با توجه به اینکه ویژگی‌های مورد بررسی دارای واحدهای گوناگونی بوده و قابل جمع یا ضرب کردن نیستند، برای تجمیع آنها در قالب یک شاخص کلی، باید استاندارد شوند. برای انجام این امر از رتبه‌دهی یا استانداردسازی داده‌ها به‌وسیله توابع امتیازدهی استاندارد (Function Standard Scoring) استفاده شد. بر اساس این روش ویژگی‌های مختلف خاک از سه تابع پیروی می‌کنند؛ ۱- تابع هر چه بیشتر بهتر (More is better)، که برای خصوصیاتی از خاک به‌کار می‌رود که افزایش آن موجب بهبود کیفیت خاک شود (مانند کربن آلی)، ۲- تابع هر چه کمتر بهتر (Less is Better)، که برای خصوصیاتی از خاک به‌کار می‌رود که افزایش آن موجب تنزل کیفیت خاک شود (مانند جرم مخصوص ظاهری) و ۳- تابع سطح بهینه (Mid-Point Optimum)، در مورد خواصی از خاک استفاده می‌شود که افزایش یا کاهش آنها تا حد معینی باعث بهبود کیفیت خاک می‌شود و افزایش یا کاهش آنها

جدول ۳. خلاصه آماری خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک در منطقه مورد مطالعه

شاخص	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات	چولگی	افراشتگی
شن	٪	۲۲/۶۸	۷۶/۶۸	۴۶/۶۸	۲۳/۱۴	۰/۳۸۳	۰/۰۴۹
سیلت	٪	۱۶	۶۸	۴۰	۲۳/۷۷	−۰/۱۴۱	۰/۴۶۲
رس	٪	۳/۳۲	۲۱/۳۲	۱۱/۳۲	۳۲/۲۴	۰/۴۲۲	۰/۱۸۶
وزن مخصوص ظاهری	$gr\ cm^{-3}$	۱/۰۲	۱/۵۳	۱/۲۵	۹/۶	۰/۰۸۹	−۰/۴۶۶
تخلخل	–	۰/۴۲	۰/۶۵	۰/۵۳	۹/۴	۳۰۱۰/	−۰/۰۱۱
میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها	mm	۰/۹۸	۱/۱۶	۱/۰۵	۳/۸	۰/۳۸۵	−۰/۶۸۳
میانگین وزنی قطر خاکدانه ها	mm	۰/۰۹	۱/۳۱	۰/۵۸	۵۰	۰/۱۸۶	−۰/۸۴۸
ماده آلی	٪	۰/۳۵	۵/۲۷	۱/۶۹	۷۰/۴۱	۱/۳۷۵	۱/۴۱۴
هدایت هیدرولیکی اشباع	$cm\ min^{-1}$	۰/۰۶	۰/۴۱	۰/۱۷	۵۲/۹۴	۰/۷۴۰	۰/۰۴۵
آب قابل استفاده	٪	۴/۱۷	۲۹/۶۶	۹/۰۳	۵۸/۵۸	۲/۰۱۶	۳/۸۶۶
شاخص خمیرایی خاک	٪	۱۰/۱۱	۳۳/۰۹	۱۴/۲۵	۲۵/۸۹	۱/۵۳۱	۴/۱۱۵
اسیدیته خاک	–	۷/۰۱	۸/۶۴	۷/۷۸	۴/۸	۰/۱۶۱	−۰/۸۹۴
قابلیت هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۰/۱۳	۰/۹۹	۰/۳۸	۳۴/۲۱	۱/۱۹۳	۳/۵۰

بیش از حد بهینه، موجب کاهش کیفیت خاک می‌شود مانند واکنش خاک (۴). بدین ترتیب، محدوده مقادیر هر ویژگی در هر دو مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل با توابع استاندارد امتیازدهی شدند. برای ارائه ویژگی‌ها در قالب یک مقدار کلی، باید آنها را بدون واحد کرد. به این ترتیب که محدوده‌هایی از مقادیر ویژگی مورد نظر که از نظر کیفیت خاک مطلوب‌ترین مقدار باشد مقدار یک و محدوده‌هایی که کمترین کیفیت را دارد مقدار صفر به آن تعلق گرفت. به این ترتیب از تابعی استفاده شد که به کمک آن، مقادیر ویژگی موردنظر بین صفر (کمترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) و یک (بیشترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) نمره دهی و استاندارد شدند (۲۲ و ۲۵).

هـ) محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک

درنهایت با تلفیق امتیازات و وزن مربوط به ویژگی‌های مختلف در هر نمونه خاک در قالب روابط آماری و ریاضی، شاخص کیفیت تجمعی مطابق رابطه (۶) و شاخص کیفیت نمرو مطابق رابطه (۷) محاسبه شدند (۵).

$$IQI = \sum_{i=1}^{n} W_i N_i \qquad (۶)$$

در رابطه (۶)، W_i وزن تعلق یافته به ویژگی i خاک، N_i مقدار نمره تعلق یافته به ویژگی i و n تعداد ویژگی مورد نظر است.

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ave}^{2} + p_{min}^{2}}{2}} \times \frac{n-1}{n} \qquad (۷)$$

در رابطه (۷)، p_{ave} میانگین نمره تعلق یافته به ویژگی انتخاب شده در هر نمونه خاک، p_{min} حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر برای محاسبه شاخص است (۲۵).

در نتیجه برای هر نمونه خاک در هر کاربری مقدار کمی کیفیت خاک با استفاده از دو شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو در مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل محاسبه شد. برای مقایسه هر یک از شاخص‌ها در کاربری‌ها با استفاده از آزمون آماری دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسات میانگین انجام شد. به‌منظور تعیین کارایی دسته حداقل ویژگی‌های معرفی شده، همبستگی بین شاخص‌های به‌دست آمده با استفاده از مجموعه ویژگی‌های کل با شاخص‌های به‌دست آمده با استفاده از دسته ویژگی‌های حداقل در کل منطقه مورد مطالعه، بررسی شد و نقشه شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از Arc GIS ۱۰/۳ رسم شد.

نتایج و بحث

توصیف برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های منطقه مورد مطالعه در جدول (۳) نشان داده شده است. بر اساس نتایج

جدول ۴. ماتریس مقایسات زوجی و ارجحیت نسبی عوامل مؤثر

Variable	EC	pH	OM	PI	AW	GMD	MWD	Ks	F	ρ_b	Texture
EC	1	۳	۰/۱۷	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۴
pH	۰/۳۳	۱	۰/۱۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۳
OM	۶	۸	۱	۸	۳	۳	۳	۳	۰/۵	۰/۵	۰/۵
PI	۲	۳	۰/۱۲	۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۰
AW	۳	۴	۰/۳۳	۴	۱	۳	۳	۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳
GMD	۳	۴	۰/۳۳	۴	۰/۳۳	۱	۱	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۴
MWD	۳	۴	۰/۳۳	۴	۰/۳۳	۱	۱	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۴
Ks	۳	۵	۰/۳۳	۳	۰/۳۳	۴	۴	۱	۰/۵	۱	۰/۲۰
F	۶	۶	۲	۶	۴	۳	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۲۰
ρ_b	۶	۶	۲	۶	۴	۳	۳	۱	۲	۱	۰/۱۴
Texture	۷	۸	۲	۵	۳	۷	۷	۵	۵	۷	۱
Sum	۴۰/۳۳	۵۲	۸/۷۴	۴۱/۸۳	۲۵/۸۶	۲۵/۸۳	۲۵/۸۳	۱۶/۳۷	۱۰/۴۲	۱۱/۴۲	۳/۱۳

ارائه شده در جدول (۳) میانگین درصد شن، سیلت و رس به‌ترتیب ۴۸/۶۸، ۴۰ و ۱۱/۳۲ درصد است. دامنه بافت خاک منطقه مورد مطالعه سبک تا نیمه‌سنگین است. در بین متغیرهای مورد مطالعه، کمترین ضریب تغییرات مربوط به میانگین هندسی قطر خاکدانه‌های تر (۳/۸ درصد) و اسیدیته خاک (۴/۸ درصد) بود و ماده آلی بیشترین ضریب تغییرات (۷۰/۴۱ درصد) را نشان داد. زیاد بودن ضریب تغییرپذیری در سطح خاک برای ماده آلی، احتمالاً به‌دلیل تنوع مدیریت خاک، کوددهی و وجود منطقه مرتعی مرغزار (با ماده آلی خیلی بالا) است که باعث تغییر در یکنواختی سطح خاک می‌شود. یثربی و همکاران (۳۱) نیز ضریب تغییرات اسیدیته خاک را به‌عنوان کمترین ضریب تغییرات در بین ویژگی‌های خاک در جنوب ایران گزارش کردند. نتایج جدول (۳)، نشان می‌دهد که واکنش خاک منطقه مورد مطالعه، در محدوده قلیایی است و خاک منطقه مورد مطالعه غیرشور ($EC<۴\ dS\ m^{-1}$) است.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی

با تشکیل ماتریس مقایسات زوجی اولویت‌بندی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده تعیین شد (جدول ۴). پس از تشکیل جدول مقایسات زوجی تمامی عوامل با استفاده از روش تقریبی میانگین حسابی، وزن نسبی آنها محاسبه شد (جدول ۵). نتایج حاصل از نرمال کردن ماتریس مقایسات زوجی در جدول (۵) آورده شده است. میانگین هر سطر در ماتریس نرمال وزن نسبی هر شاخص را نشان می‌دهد. نسبت پایداری برای ماتریس ویژگی‌ها با استفاده از روش تقریبی میانگین حسابی محاسبه شد که شرح آن در جدول (۶) آورده شده است. با توجه به جدول (۶) متوسط بردار پایداری، شاخص پایداری و نسبت پایداری به‌ترتیب بر اساس رابطه (۵)، (۶) و (۷) محاسبه شدند که نسبت پایداری کمتر از ۰/۱ (CR= ۰/۰۹) برآورد شد در نتیجه وزن‌های محاسبه شده صحیح و قابل استفاده هستند و وزن‌های نهایی برای محاسبه مدل‌های کیفیت خاک اعمال شد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)

به‌طورکلی کاربرد عمده روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی عبارت است از کاهش تعداد متغیرها و یافتن ساختار ارتباطی بین متغیرها که در حقیقت همان دسته‌بندی متغیرها است (۷). بر همین اساس از این روش برای انتخاب دسته حداقل ویژگی‌ها از میان ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مورد مطالعه استفاده شد. پیش از استفاده از این روش، برای تعیین و تشخیص مناسب بودن

جدول ۵. محاسبه وزن نسبی عوامل مؤثر بر کیفیت خاک

Variable	EC	pH	OM	PI	AW	GMD	MWD	Ks	F	ρ_b	Texture	weight
EC	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲
pH	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱
OM	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۱۳
PI	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۳
AW	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۸
GMD	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۵
MWD	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۵
Ks	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۸
F	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۳
ρ_b	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۱۴
Texture	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۳۲	۰/۲۸
Sum	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۶. مقادیر بردار پایداری

	وزن نسبی		بردار مجموع وزنی		وزن نسبی		مقدار بردار پایداری
	۰/۰۲		۰/۲۷۴		۰/۰۲		۱۳/۶۵
	۰/۰۱		۰/۱۸۷		۰/۰۱		۱۲/۴۶
	۰/۱۳		۱/۶۵۱		۰/۱۳		۱۲/۶۳
	۰/۰۳		۰/۳۰۶		۰/۰۳		۱۰/۲
جدول (۴) ×	۰/۰۸	=	۱/۰۴۲	÷	۰/۰۸	=	۱۲/۹۶
	۰/۰۵		۰/۵۴۹		۰/۰۵		۱۰/۹۸
	۰/۰۵		۰/۵۴۹		۰/۰۵		۱۰/۹۸
	۰/۰۸		۰/۹۹۹		۰/۰۸		۱۲/۵
	۰/۱۳		۱/۶۷۶		۰/۱۳		۱۲/۸۸
	۰/۱۴		۱/۷۷۹		۰/۱۴		۱۲/۷
	۰/۲۸		۳/۸۵۱		۰/۲۸		۱۳/۷۵

داده‌ها برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از ضریب (Kaiser- Meyer- Olkin, KMO) استفاده شد. مقدار این ضریب همواره بین صفر و یک متغیر است. در صورتی که مقدار این ضریب کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب نخواهند بود و اگر مقدار آن بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد می‌توان با احتیاط بیشتر به تجزیه مؤلفه‌های اصلی پرداخت. در صورتی که ضریب KMO بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد، تجزیه مؤلفه‌های اصلی در کاهش داده‌ها، مؤثر خواهند بود (۷). برای اطمینان از وجود همبستگی بین متغیرهای ورودی یا مستقل همچنین از آزمون بارتلت (Bartletts Test) استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده ضریب KMO بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ بود (KMO = ۰/۵۹) و آزمون بارتلت در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شد (B.TEST = ۴۱۶)

جدول ۷. انتخاب دسته داده‌های حداقل با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی

مؤلفه اصلی / تجزیه تحلیل آماری	۱	۲	۳	۴	۵
ارزش ویژه (Eigen Values)	۲/۶۸	۲	۱/۳۰	۱/۲۰	۱/۰۹
واریانس	۲۴/۴۱	۱۸/۲۶	۱۱/۸۲	۱۰/۹۳	۹/۹۶
واریانس تجمعی	۲۴/۴۱	۴۲/۶۶	۵۴/۴۸	۶۵/۴۱	۷۵/۳۶
بردارهای ویژه (EigenVectors)					
وزن مخصوص ظاهری	-۰/۵۲۷	-۰/۱۹۵	۰/۱۷۷	۰/۱۰۲	-۰/۰۴۱
تخلخل خاک	۰/۵۲۳	۰/۱۹۲	-۰/۱۵۴	-۰/۱۱۰	۰/۰۵۲
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	۰/۲۳۸	-۰/۵۹۰	۰/۲۸۳	۰/۱۲۲	-۰/۲۴۷
میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها	۰/۲۳۲	-۰/۵۸۶	۰/۰۸۰	۰/۱۰۵	-۰/۲۴۴
ماده آلی خاک	۰/۴۴۸	۰/۱۶۰	۰/۱۹۲	۰/۲۳۹	-۰/۰۲۲
هدایت هیدرولیکی اشباع	۰/۲۱۴	-۰/۰۵۲	۰/۳۳۹	۰/۲۳۶	۰/۶۴۹
آب قابل استفاده	-۰/۱۰۶	۰/۰۴۳	-۰/۰۸۰	۰/۷۴۴	۰/۱۷۴
شاخص خمیرایی	-۰/۲۲۱	۰/۱۷۷	۰/۲۸۳	۰/۲۰۰	-۰/۱۹۳
بافت خاک	۰/۱۰۶	۰/۲۶۵	۰/۴۲۵	-۰/۱۸۸	-۰/۳۳۷
قابلیت هدایت الکتریکی	۰/۰۹۸	۰/۲۹۳	-۰/۱۷۷	۰/۴۵۷	-۰/۵۱۹
واکنش خاک	۰/۰۰۴	۰/۰۶۶	۰/۶۹۳	-۰/۰۲۵	-۰/۰۵۶

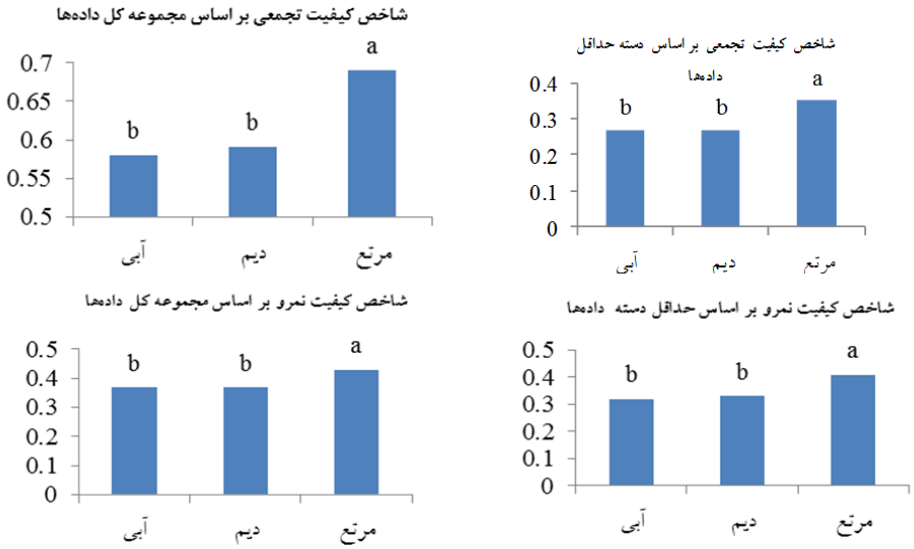
بنابراین داده‌ها برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مناسب بودند (۱۵). مطابق جدول (۷)، پنج مؤلفه اصلی ابتدایی با ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک که در مجموع ۷۵/۳۶ درصد از واریانس کل را تحت پوشش قرار می‌دهند، استخراج شدند. در مؤلفه اصلی اول، وزن مخصوص ظاهری خاک بیشترین وزن را دارد و بر اساس ۱۰ درصد وزن این متغیر، متغیرهای ماده آلی و تخلخل خاک بیشترین وزن را دارند. سپس با استفاده ضریب همبستگی، از میان متغیرهایی که بیشترین همبستگی را با همدیگر دارند، متغیری که وزن بیشتری را دارد، انتخاب شد و بقیه حذف شدند.

در مؤلفه اصلی دوم بیشترین وزن را میانگین وزنی قطر خاکدانه ها و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها داشتند، سپس براساس ضریب همبستگی بالای این دو، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها که وزن بالاتری دارد، انتخاب شد. برای بقیه پارامترها نیز به همین شکل عمل شد. درنهایت بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی وزن مخصوص ظاهری، ماده آلی، میانگین وزن قطر خاکدانه‌ها، واکنش خاک، آب قابل استفاده گیاه و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به‌عنوان دسته داده‌های حداقل انتخاب شدند (جدول ۷).

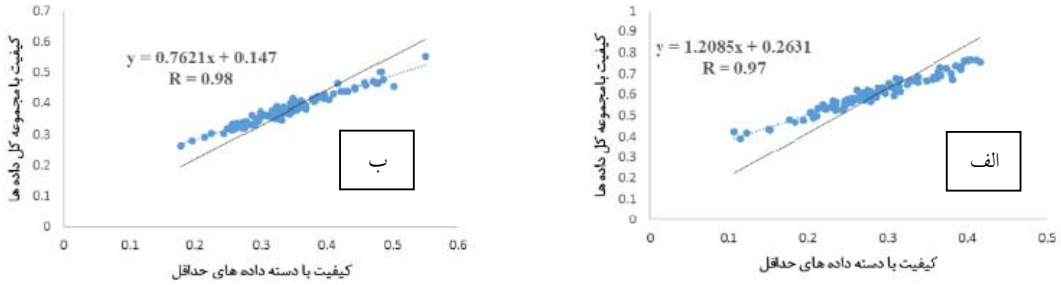
نتایج به‌دست آمده (جدول ۸ و شکل ۲) نشان می‌دهند که کاربری مرتع بیشترین مقدار شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو را در هر دو مجموعه داده به خود اختصاص می‌دهد و پس از آن کاربری‌های کشت آبی و دیم قرار می‌گیرند که تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. کاربری‌های آبی و دیم دارای کیفیت کمتری نسبت به مرتع هستند و تفاوت معنی‌داری با کاربری مرتع دارند. لذا در کاربری آبی و دیم لازم است عملیات مدیریتی مناسب به‌منظور افزایش کیفیت خاک اجرا شود تا ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک را به محدوده بهینه‌شان برساند. در میان ویژگی‌های خاک، کربن آلی خاک عاملی است که سایر ویژگی‌های خاک به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به آن وابستگی دارند بنابراین با اجرای مدیریت‌های مناسب، در کاربری‌های با کیفیت پایین‌تر برای افزایش کربن‌آلی خاک می‌توان سایر

جدول ۸. کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف بر مبنای دو شاخص و مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل

شاخص کاربری	کیفیت تجمعی		کیفیت نمرو	
	مجموعه کل داده‌ها	دسته داده‌های حداقل	مجموعه کل داده‌ها	دسته داده‌های حداقل
مراتع طبیعی	۰/۶۹	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۴۱
کشت دیم	۰/۵۹	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۳۳
کشت آبی	۰/۵۸	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۳۲



شکل ۲. مقایسه آماری کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف بر مبنای دو شاخص تجمعی و نمرو و مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل. حروف یکسان در بالای هر ستون نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و حروف غیر یکسان نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ به روش مقایسه میانگین دانکن است.



شکل ۳. رابطه خطی مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل برای تعیین شاخص: الف) کیفیت تجمعی و ب) کیفیت نمرو

ویژگی‌ها را نیز به حد بهینه نزدیک کرد و میزان کیفیت خاک را در کاربری‌های دیم و کشت آبی افزایش داد. در کاربری‌های کشت آبی و دیم به‌دلیل کشت فشرده و برنگرداندن بقایای گیاهی به خاک، کربن آلی خاک کاهش و به تبع آن کیفیت خاک کاهش یافته است. امامی و همکاران (۶) نشان دادند که بدون افزودن ماده آلی کیفیت خاک در پایین‌ترین سطح قرار داشت اما با افزودن ماده آلی مختلف، کیفیت خاک یک تا دو درجه ارتقا یافت.

در شکل (۳) رابطه خطی بین مجموعه کل داده‌ها و دسته

جدول ۹. طبقه‌بندی کیفیت خاک منطقه بر مبنای شاخص‌های IQI و NQI

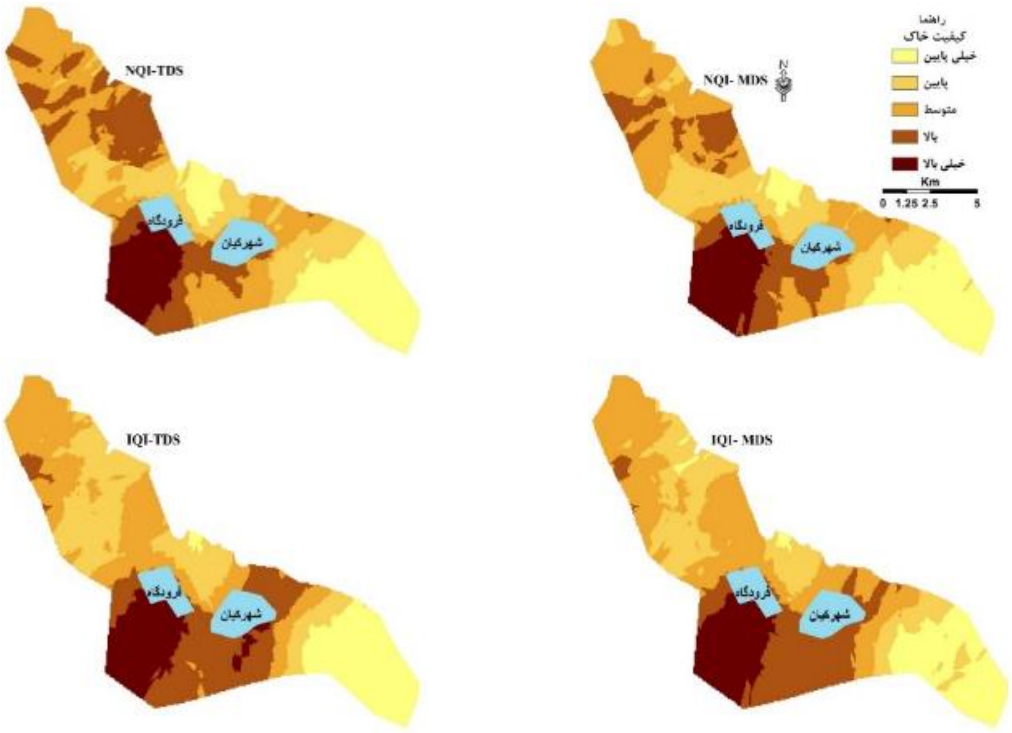
شاخص	روش شاخص	کلاس کیفیت خاک				
		درجه ۱ (کیفیت خیلی بالا)	درجه ۲ (کیفیت بالا)	درجه ۳ (کیفیت متوسط)	درجه ۴ (کیفیت پایین)	درجه ۵ (کیفیت خیلی پایین)
IQI	TDS	۰/۶۴ <	۰/۶۲ –۰/۶۴	۰/۵۹ – ۰/۶۲	۰/۵۶ – ۰/۵۹	< ۰/۵۶
	MDS	۰/۳۷ <	۰/۳۵ – ۰/۳۷	۰/۳۳ – ۰/۳۵	۰/۳۱ – ۰/۳۳	< ۰/۳۱
NQI	TDS	۰/۴۲<	۰/۳۹ – ۰/۴۲	۰/۳۶ – ۰/۳۹	۰/۳۳ –۰/۳۶	< ۰/۳۳
	MDS	۰/۳۲ <	۰/۳۰ – ۰/۳۲	۰/۲۸ – ۰/۳۰	۰/۲۶ – ۰/۲۸	< ۰/۲۶

داده‌های حداقل در شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو برای کل منطقه نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود برای شاخص کیفیت تجمعی در کل منطقه ضریب تبیین رابطه بین دو سری داده ۰/۹۷ است و برای شاخص کیفیت نمرو ضریب تبیین رابطه بین این دو مجموعه ۰/۹۸ است که بیانگر رابطه خوب این دو مجموعه برای هر دو شاخص به‌ویژه شاخص کیفیت تجمعی است بنابراین می‌توان به جای اندازه‌گیری مجموعه کل خصوصیات اندازه‌گیری شده در این منطقه مطالعاتی، از دسته داده‌های حداقل استفاده کرد و با ضریب اطمینان بالا به همان نتایج دست یافت.

تفاوت حاصل از مقادیر برآورد کیفیت خاک توسط دو شاخص، بین دو مجموعه کل و دسته حداقل داده‌ها نشان می‌دهد که مجموعه کل داده‌ها دقت و صحت بیشتری نسبت به‌دسته داده های حداقل دارد (جدول ۹ و شکل ۳)، که این امر به‌دلیل وجود ویژگی‌های بیشتر در محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک است. کای و همکاران (۲۵) و گو و همکاران (۱۳) نیز شاخص‌های کیفیت تجمعی در مجموعه کل داده‌ها را به‌عنوان جامع‌ترین و بهترین ترکیب برای ارزیابی کیفیت خاک معرفی کردند، اما با این وجود استفاده از دسته داده‌های حداقل موجب کاهش حجم کار، وقت و هزینه‌های مربوط به آن می‌شود. در حالت مقایسه بین دو روش" شاخص تجمعی کیفیت خاک "و "شاخص کیفیت خاک نمرو "می‌توان مشاهده کرد که مقدار عددی شاخص کیفیت خاک نمرو در هر دو مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل، نسبت به شاخص تجمعی کیفیت خاک کمتر است. نتایج تحقیقات زیادی این وضعیت را تأیید می‌کنند. شهاب و همکاران (۲۹)، کای و همکاران (۲۵)، گو و همکاران (۱۳) و رحمانی‌پور و همکاران (۲۶) به این نتیجه رسیدند که مقدار شاخص کیفیت خاک نمرو در کلیه شرایط نسبت به شاخص تجمعی کیفیت خاک کمتر است.

بنابراین با استفاده از شاخص‌های کیفیت خاک حاصل از دسته ویژگی‌های حداقل، با اطمینان قابل قبولی می‌توان کیفیت خاک را ارزیابی کرد. درنظر گرفتن دسته داده‌های حداقل (شش ویژگی) نسبت به مجموعه کل داده‌ها (یازده ویژگی)، موجب صرفه‌جویی در هزینه و زمان مورد نیاز برای تعیین کیفیت خاک می‌شود. شهاب و همکاران (۲۹) در زمین‌های کشاورزی و مرتعی جنوب مشهد، شاخص‌های کیفیت تجمعی و نمرو را در دو مجموعه کل داده و حداقل داده بررسی کردند و به‌ترتیب همبستگی ۰/۶۲ و ۰/۵۶ به‌دست آوردند. همچنین قائمی و همکاران (۹) نیز برای این دو شاخص ضریب همبستگی ۰/۸۸ و ۰/۸۱ به‌دست آوردند. اما رحمانی‌پور و همکاران (۲۶) در اراضی کشاورزی قزوین، به‌ترتیب همبستگی ۰/۳۴ و ۰/۲۳ را نشان دادند. همان‌طور که یافته‌های بیشتر این پژوهشگران نیز نشان می‌دهد همبستگی بالایی بین این دو سری داده‌ها وجود دارد و می‌توان به جای مجموعه کل داده‌ها از دسته داده‌های حداقل برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده کرد.

بر اساس مقادیر شاخص های کیفیت تجمعی و نمرو در دو مجموعه داده، کیفیت خاک با استفاده از روش بهینه‌سازی جنکس، در منطقه به پنج کلاس تقسیم‌بندی شد که در جدول



شکل ۴. توزیع کیفیت خاک بر اساس شاخص تجمعی و نمرو در دو مجموعه کل داده و حداقل دسته داده در کل منطقه

(۹) نشان داده شده است. در روش جنکس به گونه‌ای عمل می‌شود که واریانس داخل گروه‌ها حداقل و بین گروه‌ها حداکثر باشد. در حالت کلی می‌توان گفت وضعیت کیفیت خاک در بخش اعظم منطقه مورد مطالعه متوسط است (حدود ۳۵ درصد کل منطقه دارای کیفیت متوسط است). با توجه به مقدار شاخص ها و پراکنش مکانی کیفیت خاک (شکل ۴) در منطقه مورد مطالعه کیفیت خاک یکنواخت و منظم نیست که دلیل عدم یکنواختی کیفیت خاک کاربری‌های مختلف و مدیریت‌های متفاوت عملیات خاکورزی و کوددهی در کاربری‌ها است. همان‌طور که در شکل (۴) ملاحظه می‌شود قسمت جنوب غربی منطقه مورد مطالعه با کاربری عمدتاً مرتع، کیفیت خاک بالایی دارد، در این نواحی مقدار ماده آلی، که یکی از معیارهای مهم ارزیابی کیفیت خاک است، زیاد است که باعث افزایش کیفیت خاک این بخش شده است.

همچنین هرچه به سمت جنوب غربی منطقه نزدیک می‌شویم مقدار تخلخل، هدایت هیدرولیکی اشباع افزایش و فشردگی خاک کاهش می‌یابد که در نتیجه موارد فوق این بخش از منطقه از کیفیت بالایی برخوردار است. گرجی و همکاران (۱۱) با ارزیابی کمی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف اراضی جنوب شرق قزوین گزارش کردند که کیفیت خاک کاربری مرتع بالاتر از کیفیت خاک کاربرهای کشت آبی و دیم است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در ضمن هرچه به نواحی جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه می‌رویم میزان کربن‌آلی خاک کاهش و فشردگی و وزن مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد، که برآیند موارد گفته شده، کاهش کیفیت خاک این اراضی را به‌دنبال داشته است. غلامی و همکاران (۱۰) در منطقه بانه، کردستان گزارش کردند که تغییر کاربری اراضی، دارای تأثیر معنی‌دار و کاهشی بر کربن آلی خاک بوده است و باعث کاهش کیفیت خاک می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که خاک‌ها در کاربری مرتع

نسبت به خاک‌ها در کاربری‌های کشت آبی و دیم دارای کیفیت بیشتری هستند و شاخص‌های تجمعی و نمرو در هر دو دسته کل و حداقل داده‌ها، به‌طور واضح این امر را نشان می‌دهند. بنابراین مدیریت و عملیات خاکورزی کشاورزی احتمالاً عامل کاهش کیفیت خاک شده است. همچنین هر دو شاخص مورد استفاده برای برآورد کیفیت خاک به‌ویژه شاخص کیفیت تجمعی، برای ارزیابی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف اراضی از کارایی خوبی برخوردار هستند و این امر به‌وسیله دو مجموعه داده اثبات شد. همچنین نقشه‌های پراکنش شاخص‌ها نشان می‌دهد که کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه یکنواخت و منظم نیست که دلیل عدم یکنواختی کیفیت خاک کاربری‌های مختلف و مدیریت‌های متفاوت از جمله عملیات شخم و کوددهی‌های گوناگون درکاربری‌ها است. بنابراین لازم است که مدیریت مناطق با کیفیت خیلی پایین، پایین و متوسط در اولویت قرار گیرند و رصد کیفیت خاک در چند سال آینده مشخص خواهد کرد که روند کیفیت خاک در منطقه به چه سمتی است.

منابع مورد استفاده

1. Andrews, S. S., J. P. Mitchell, R. Mancinelli, K. L. Karlen, T. K. Hartz, W. R. Horwath, G. S. Pettygrove, K. M. Scow and D. S. Munk. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agron* 94: 12–23.
2. Aparicio, V. and J. L. Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. *Soil and Tillage Research* 96: 155-165.
3. Blake, G. R. and K. H. Hartage. 1986. Bulk density. PP: 363-382. *In:* Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed. Agronomy Monograph.
4. Bone, J., D. Barraclough, P. Eggleton, M. Head, D. Jones and N. Voulvoulis. 2012. Prioritising soil quality assessment through the screening of sites: the use of publicly collected data. *Land Degradation & Development* 25(9): 216-227.
5. Doran, J. W. and T. B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. PP: 3-21. *In:* J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek and B. A. Stewart (Ed.) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America Special Publication no. 35, Madison, WI.
6. Emami, H., A. R. Astaraei and A. Fotovat. 2014. Evaluating the effect of organic matter on soil quality score functions. *Journal of Water and Soil* 28(3): 565-574. (In Farsi).
7. Fox, G. A. and R. Metla. 2005. Soil property analysis using principle component analysis, soil line and regression models. *Soil Science Society and America Journal* 69: 1782-1788.
8. Gee, G. W. and J. M. Bauder. 1986. Partical-Size Analysis. In Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monogroph No. 9 (2nd Edition), American Society of Agronomy, Madison, WI.
9. Ghaemi, M., A. R. Astaraei, S. H. Sanaei nezhad, M. Nasiri mahalati and H. Emami. 2013. Evaluating chemical quality of several soil cultivation wheat-corn using of soil quality models at some parts of southeast Mashhad area. *Soil Reserch* 27(4): 463-473. (In Farsi).
10. Gholami, L., M. Davari, K. Nabiollahi and H. Jafari. 2016. Effect of land use changes on some soil physical and chemical properties (case study: Baneh). *Journal Conservation Soil and Water* 5(3): 13-27. (In Farsi).
11. Gorji M. Kakeh, J. and A. R. Alimohammadi. 2016. Quantitative soil quality assessment in different land uses at some Parts of south eastern of Qazvin. *Research Water and Soil* 47(4): 775-784. (In Farsi).
12. Govaerts, B., K. D. Sayre and J. Deckers. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research* 87: 163–174.
13. Guo, L., S. Zhigang, U. Zhu, H. Daorui and L. Fafong. 2017. A comparison of soil quality evaluation methods for Fluvisol along the lower Yellow River. *Catena* 152: 135-148.
14. Hunke, P., R. Roller, P. Zeilhofer, B. Schröder and E. N. Mueller. 2015. Soil changes under different land-uses in the Cerrado of Mato Grosso, Brazil. *Geoderma Regional* 4: 31-43.

15. Jolliffe I. T. 1986. Principle Component Analysis. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, Hong Kong, London, Millan, Paris, Tokyo.
16. Karlen, D. L., S. S. Andrews, B. J. Wienhold and T. M. Zobeck. 2008. Soil quality assessment: Past, present and future. *Electronic Journal of Integrative Biosciences* 6: 3-14.
17. Karlen, D. L., J. C. Gardner and M. J. Rosek. 1998. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. *Journal of Production Agriculture* 11: 56 –60.
18. Kemper, W. D. and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution in methods of soil analysis. PP: 425-442. *In:* Klute. A. (Ed.). Physical and Mineralogical Methods. Part1, 2nd ed. Agronomy Monograph.
19. Klute, A. and C. Dirksen. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity, PP. 687-734. *In:* Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Agronomy Monograph.
20. Lal, R. 1993. Tillage effects on soil degration, soil resilience, soil quality and sustainability. *Soil and Tillage Research* 1: 1-8.
21. Malczewski, J. 1999. GIS and Multicritia Decision Analysis. John Wiley and Sonc Inc. Pub., USA.
22. Marzaioli, R., R. D'Ascoli, R. A. De Pascale and F. A. Rutigliano. 2010. Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. *Applied Soil Ecology* 44(3): 205-212.
23. Miller, R. H. and D. R. Keeney. 1992. Methods of Soil Analysis. Part 1.2. Physical, Chmical and Mineralogical properties. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin.
24. Mohaghegh, M., M. Naderi Khorasgani and J. Mohammadi. 2016. Determination of effective indicators for soil quality assessment in different land use types of Chughakhor basin. *Journal Conservation Soil and Water* 5(3): 55-71. (In Farsi).
25. Qi, Y., J. L. Darilek, B. Huang, Y. Zhao, W. Sun and Z. Gu. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma* 149(3–4): 325-334.
26. Rahmanipour, F., R. Marzaioli, H. A. Bahrami, Z. Fereidouni and B. S. Rahimi. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indiccator* 40: 19–26.
27. Reynolds, W. D., C. F. Drury, C. S. Tan, C. A. Fox and X. M. Yang. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma* 152(3–4): 252-263.
28. Saaty T. L. 1990. How to make a decision: the analytical hierarchy. *European Journal of Operational Research* 48: 9-26.
29. Shahab, H., H. Emami, Gh. Haghnia and A. Karimi. 2011. Determination the optimal range of pore volume distribution by using of soil physical quality indicators and effect of soil properties on sgi index. *Journal of Water and Soil* 25(4): 881-891. (In Farsi).
30. Walkely, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science Society of America* 37: 29-38.
31. Yasrebi, J., M. Safari, H. Fathi, N. Karimian, M. Emadi and M. Baghernejad. 2008. Spatial variability of soil fertility properties for precision agricultural in Southern Iran. *Journal of Applied Sciences* 8(9): 1642-1650.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 1, Spring 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Assessment Quantitative of Soil Quality in Different Uses of Shahrekord Plain Using the Analytical Hierarchical Process (AHP)

A. Hemati fard*, M. Nadri, A. Karimi and J. Mohmmadi[1]

(Received: December 21-2017 ; Accepted: May 19-2018)

Abstract

Assessment of soil quality helps to make a balance between soil function and soil resources, improving soil quality and achieving the sustainable agriculture. For the quantitative evaluation of soil quality in the Shahrekord plain, Chaharmahal va Bakhtiari province, 106 compound surficial soil samples (0-25 cm) were collected. After the pre-treatments of soil samples, 11 physico-chemical soil characteristics/indicators as the total data set (TDS) were measured using the standard methods. Statistical analysis showed the usefulness of Principle Component Analysis (PCA) transformation. The minimum data set (MDS) was selected using PCA. Analytical Hierarchy Process (AHP) was carried out for the quantitative determination of indicator priorities and weights. Soil quality of the samples was calculated by introducing TDS and MDS into Integrate Quality Index (IQI) and Nemero Quality Index (NQI). The results showed the soil quality of the land uses was as Rangelands> Drylands>Irrigated croplands. The correlation coefficient between IQI-TDS and IQI-MDS was 0.97, while this value for NQI-TDS and NQI-MDS was 0.98. The correlation coefficient between IQI-TDS and NQI-TDS was 0.87 and that between IQI-MDS and NQI-MDS was 0.91. Classification of the resulted soil quality map IQI-TDS revealed that 12.5 % and 15.5 % of the plain were in very high and low quality conditions, respectively.

Keywords: Integrated Quality Index, Nemoro Quality Index, Minimum Data Set, Total Data Set, Shahrekord plain

1. Department of Soil Science and Engineering, Agriculture Faculty, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
*: Corresponding Author, Email: ali.hemati999@gmail.com