

## تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر شاخص‌های تجمعی سلامت خاک در منطقه خانقاه نمین

زهرا کریم زاده: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

حسین شهاب‌آر خازلو\*: استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

علی اشرف سلطانی طولارود: دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

شکراله اصغری: دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه‌ی مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۶)

DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.3.6.8

### چکیده

سلامت خاک تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک قرار دارد و ارزیابی جمعی آن، به در نظر گرفتن اثر جمعی این ویژگی‌ها نیازمند است. هدف از این پژوهش، تعیین شاخص‌های تجمعی سلامت خاک با استفاده از مدل‌های کیفیت خاک است؛ برای این منظور، مجموعه ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی در ۷۲ نمونه خاک سطحی مربوط به زمین‌های کشاورزی و مرتعی منطقه خانقاه نمین استان اردبیل تعیین شد. سپس با استفاده از PCA از بین شانزده ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک - که به عنوان ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در نظر گرفته شد (TDS) - پنج ویژگی به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر سلامت خاک (MDS) انتخاب شد که شامل تنفس پایه خاک، کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل بود. شاخص‌های تجمعی سلامت خاک بر اساس دو مدل شاخص تجمعی کیفیت خاک (IQI) و شاخص کیفیت نمره (NQI)، و هر یک با استفاده از دو سری داده TDS و MDS محاسبه شد. همبستگی معنی‌دار بین شاخص‌های  $IQI_{MDS}$  و  $IQI_{TDS}$  و شاخص‌های  $NQI_{TDS}$  و  $NQI_{MDS}$  نشان داد که MDS انتخاب شده می‌تواند نماینده خوبی - از میان کل ویژگی‌های خاک - برای تعیین شاخص سلامت خاک باشد؛ این همبستگی هم در داده‌های کل منطقه و هم در دو کاربری مرتع و کشاورزی معنی‌دار بود. میانگین شاخص‌های تجمعی سلامت خاک  $IQI_{MDS}$ ،  $IQI_{TDS}$ ،  $NQI_{TDS}$  و  $NQI_{MDS}$  در مرتع به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۶۷، ۰/۰۳ و ۰/۰۸۲ و در زمین‌های کشاورزی به ترتیب ۰/۶۶، ۰/۶۶، ۰/۰۲۷ و ۰/۰۸ بود. مقایسه میانگین این شاخص‌ها بین دو کاربری مرتع و کشاورزی نشان داد که اختلاف بین  $IQI_{TDS}$  و  $NQI_{TDS}$  در سطح ۱ درصد معنی‌دار است، ولی این اختلاف در مورد  $IQI_{MDS}$  و  $NQI_{MDS}$  معنی‌دار نیست. بنابراین، مشاهده می‌شود که استفاده از کل ویژگی‌ها در تعیین شاخص‌های تجمعی سلامت خاک (TDS)، می‌تواند تأثیر کاربری زمین بر سلامت خاک را بهتر نشان دهد. واژگان کلیدی: مدل کیفیت خاک، مدل سلامت خاک، تجزیه عامل، نمین.

## ۱- مقدمه

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). مفهوم سلامت خاک، بر مبنای اصطلاح «کیفیت خاک» موجود در سال ۱۹۹۰ توسعه یافته‌است (Doran and Parkin, 1994). سلامت خاک به صورت توانایی دائم خاک به عنوان سیستم حیاتی زنده در اجرای وظایف خود تعریف می‌شود؛ به صورتی که خاک علاوه بر حفظ تولیدات بیولوژیکی و بهبود کیفیت آب و هوا در داخل یک اکوسیستم تحت کاربری‌های متفاوت، بتواند سلامت انسان، گیاه و حیوان را نیز تأمین کند (Doran and Jones, 1996). به دلیل برهم‌کنش‌های موجود در خاک، استفاده از یک ویژگی برای بیان سلامت خاک کافی نیست و نمی‌تواند تمام نقش خاک را در اکوسیستم بیان کند؛ بنابراین، در این تحقیق شاخص‌های سلامت خاک بر مبنای مدل‌های تجمعی کیفیت خاک و با امتیازدهی و ترکیب مجموعه‌ای از ویژگی‌های خاک ارائه شد. سلامت خاک در برگیرنده تمام فعالیت‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک است که معمولاً به صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست و ارزیابی آن غالباً از روی شاخص‌های شیمیایی و فیزیکی خاک انجام می‌شود (Oliver et al, 2013 & Karlen et al, 1997). بهترین ارزیابی سلامت خاک با اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی - که نسبت به تغییرات رژیم‌های مدیریتی حساس‌اند - به دست می‌آید (Doran and Jones, 1996 & Karlen, 2003 & Andrews et al, 2004). این ویژگی‌ها، شاخص‌های قابل اندازه‌گیری هستند که بر ظرفیت تولید محصول خاک یا عملکرد محیطی تأثیرگذارند (Arshad and Martin, 2002). در مطالعات مختلف، از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند دما و ظرفیت نگهداشت آب (Schoenholtz et al, 2000)، جرم مخصوص ظاهری و تهویه خاک (Dane and Topp, 2002)، غلظت عناصر غذایی سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، روی، pH و EC<sup>1</sup> (Gugino et al, 2009 & Abawi et al, 2009) نسبت جذب سدیم (SAR<sup>2</sup>)، هدایت الکتریکی (EC)، کربنات کلسیم معادل، pH و میزان کربن آلی (Shahab et al, 2013)، برای تعیین شاخص‌های تجمعی کیفیت خاک استفاده شده‌است. شاخص‌های زیستی خاک نسبت به تغییرات ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن - که نتیجه مدیریت انسانی است - حساس است؛ بنابراین، می‌توان برای برآورد سلامت خاک تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی، از ویژگی‌های زیستی خاک استفاده کرد (Bastida et al, 2008 & Carter, 2002). اگرچه خواص فیزیکی و شیمیایی در ارزیابی شاخص سلامت خاک اهمیت زیادی دارد، بسیاری از فرآیندهای این اکوسیستم توسط زیست‌توده آن هدایت می‌شود (Pankhurst et al, 1997 & Ritz et al, 2009).

بررسی پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که خواص زیستی خاک، جزء حساس‌ترین و مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند روی سلامت خاک اثرگذار باشد؛ از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به تنفس ریزجانداران، کربن زیست-توده ریزجانداران، جمعیت ریزجانداران و ضریب متابولیسی اشاره کرد (Goberna et al, 2006 & Pauline and David, 2008 & Bending et al, 2004 & Wardle, 1998). ریزجانداران از اجزای مهم خاک است که از طریق مکانیسم‌های مختلفی از قبیل افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی، تولید انواع فیتوهورمون‌های گیاهی، کاهش میزان تنش عوامل محیطی، کنترل عوامل بیمارگر و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند به افزایش حاصلخیزی آن منجر شود. بالا بودن شاخص‌های مرتبط با ریزجانداران اکوسیستم خاک، حاکی از فعالیت مناسب این موجودات و در نتیجه وضعیت مطلوب ویژگی‌های این اکوسیستم و توان بالای آن در تولید محصول است که این موضوع خود از بالا بودن شاخص سلامت خاک حکایت دارد (Goberna et al, 2006 & Pauline and David, 2008 & Bending et al, 2004 & Wardle, 1998). محققان مختلف بر اهمیت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در کنار خواص زیستی آن برای

<sup>1</sup> Electrical conductivity

<sup>2</sup> Sodium Adsorption Ratio

رشد مطلوب گیاهان تأکید کرده‌اند و نظر بر این است که شاخص‌های کیفیت خاک باید ترکیبی از خواص مذکور باشد (Aparicio and Costa, 2007 & Da Silva and kay, 1996 & Allmaras et al, 2003 & Drury et al, 2003 & Herrick et al, 2002). مدل‌های مختلفی برای محاسبه کمی شاخص کیفیت خاک ایجاد شده‌است؛ مانند شاخص کیفیت یکپارچه (IQI)<sup>۱</sup> و شاخص کیفیت نمورو (NQI)<sup>۲</sup> (Qi et al, 2009). مدل IQI، بر اساس شاخص کیفیت خاک Parkin و Doran (۱۹۹۴) است که در آن برای تعیین کیفیت خاک، مجموعه‌ای از ویژگی‌های آن به صورت تجمعی استفاده می‌شود. در تعیین شاخص کیفیت خاک معمولاً از دو مجموعه از ویژگی‌های خاک استفاده می‌شود؛ مجموعه داده‌های کل (TDS<sup>۳</sup>)، شامل کل ویژگی‌های خاک مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت خاک و حداقل مجموعه داده (MDS<sup>۴</sup>) زیر مجموعه مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک است (Shahab et al, 2013). هدف از انتخاب MDS، کاهش حجم داده‌ها و استفاده از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک برای تعیین شاخص تجمعی کیفیت خاک است؛ به طوری که بتوان با حداقل هزینه و زمان، ارزیابی دقیقی از کیفیت و سلامت خاک انجام داد (Qi et al, 2009). در مدل IQI با استفاده از یک معادله ساده، حاصل ضرب مقادیر ویژگی‌های انتخاب شده در وزن ویژگی‌ها با هم جمع و در قالب یک شاخص ارائه می‌شود (Qi et al, 2009). در مدل نمورو (NQI) از مقادیر میانگین و حداقل ویژگی‌ها استفاده می‌شود و وزن ویژگی‌های خاک در آن دخالتی ندارد (Han and Wu, 1994 & Qin and Zhao, 2000). نتایج این شاخص، به مقدار حداقل ویژگی‌ها بستگی دارد که قانون حداقل در تولید محصول را منعکس می‌کند (Wander et al. 1997). مهم‌ترین مزیت استفاده از این مدل‌ها، دخالت دادن همزمان چندین خصوصیت خاک در بیان کیفیت آن، قابل انعطاف بودن از نظر کمی، دقت، حساسیت و کارایی بالای آن است (Andrews et al, 2002). در غالب مطالعات، از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک برای بیان کیفیت آن با مدل IQI و NQI استفاده شده‌است (Sahab et al, 2018). در این مطالعه، سلامت خاک یک منطقه با استفاده از شاخص کیفیت یکپارچه (IQI) و شاخص کیفیت نمورو (NQI) در ترکیب با دو مجموعه داده یعنی مجموعه داده‌های کل (TDS) و حداقل مجموعه داده (MDS<sup>۵</sup>) ارزیابی می‌شود. در این تحقیق از مجموع داده‌های کل (TDS) شامل شانزده ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، با استفاده از PCA<sup>۶</sup> پنج ویژگی به عنوان حداقل مجموعه داده (MDS) انتخاب شد. در این مقاله به عنوان یک مطالعه موردی برای ارزیابی سلامت خاک در زمینی به مساحت حدود ۲۰۸ هکتار در اطراف روستای خانقاه شهرستان نمین واقع در استان اردبیل، از دو مدل IQI و NQI استفاده شد. به طور کلی، هدف این مطالعه عبارت است از: ۱. ارزیابی سلامت خاک منطقه بر مبنای دو مدل کیفیت خاک IQI و NQI؛ ۲. تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر سلامت خاک (MDS) منطقه مورد مطالعه؛ ۳. تعیین کارایی مجموعه MDS به دست آمده در نشان دادن مجموعه TDS مورد نظر؛ ۴. بررسی تأثیر نوع کاربری زمین بر شاخص‌های سلامت خاک.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در منطقه‌ای به مساحت حدود ۲۰۸ هکتار، در اطراف روستای خانقاه شهرستان نمین واقع در استان اردبیل انجام شد. منطقه مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه و ۳۶ ثانیه طول شرقی قرار دارد. میانگین دما و بارندگی این منطقه به ترتیب ۹/۴ درجه سانتی‌گراد و ۲۹۱ میلی‌متر است.

<sup>1</sup> Integrated quality index

<sup>2</sup> Nemer quality index

<sup>3</sup> Total data set

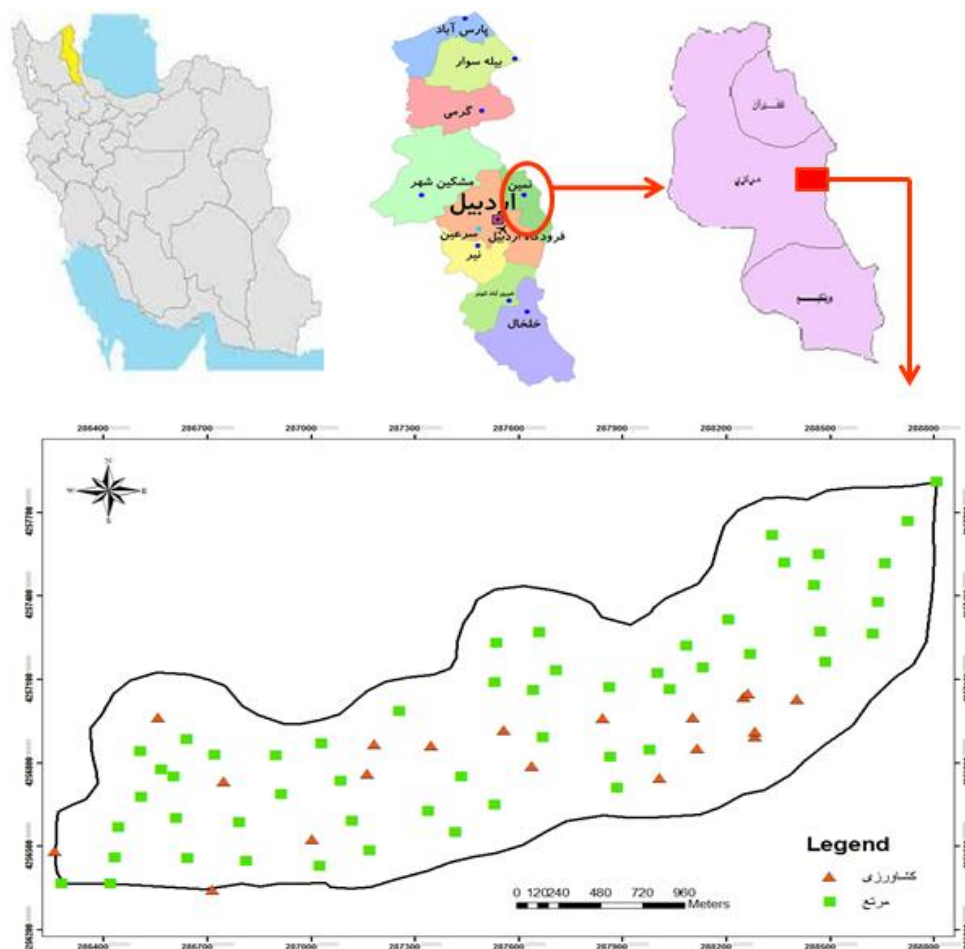
<sup>4</sup> Minimum data set

<sup>5</sup> Minimum data set

<sup>6</sup> Principle Component Analysis

## تهیه نمونه‌های خاک

برای اجرای این تحقیق، در فصل پاییز سال ۱۳۹۹ نمونه‌برداری از خاک منطقه به روش شبکه‌بندی تقریباً منظم و با فواصل حدود ۲۰۰ متر در منطقه مورد مطالعه انجام شد و در مجموع، نمونه‌های خاک از ۷۲ نقطه تهیه شد. به علت کوهستانی و شیب‌دار بودن منطقه، امکان برداشت نمونه در فواصل کاملاً یکسان وجود نداشت؛ چرا که در الگوی نمونه‌برداری کاملاً منظم، برخی نمونه‌ها در نقاط فاقد خاک، شیب بسیار زیاد یا درون آبراهه‌ها قرار می‌گرفت. بنابراین بر اساس نظر کارشناسی، در حین نمونه‌برداری سعی شد نزدیک‌ترین حالت نمونه‌برداری به توزیع یکنواخت و نمونه‌برداری منظم انجام شود. در شکل شماره ۱، موقعیت منطقه نمونه‌برداری و الگوی نمونه‌برداری نشان داده شده‌است. تعداد ۵۳ نمونه خاک از اراضی مرتعی و ۱۹ نمونه خاک از زمین‌های کشاورزی تهیه شد. از هر محل دو نمونه خاک دست‌خورده با استفاده از بیلچه و دس نخورده با سیلندر، نمونه‌برداری و از عمق صفر تا سی سانتی‌متری خاک برداشته شد. بخشی از نمونه دست‌خورده برای ارزیابی شاخص‌های زیستی، در محل نمونه‌برداری پس از آماده‌سازی و عبور دادن از الک دو میلی‌متری، در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شد و در داخل فلاسک یخ‌دار به آزمایشگاه منتقل و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و در تاریکی نگهداری شد که حداکثر زمان نگهداری برای تعیین شاخص‌های زیستی خاک، سی روز بود (Alef and Nannipieri, 1995). بخش دوم نمونه‌های خاک بعد از هوا خشک و خرد شدن در دمای آزمایشگاه، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و به منظور استفاده در تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی، در داخل ظروف پلاستیکی نگهداری شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه‌برداری خاک

## ۳- مواد و روش‌ها

## تجزیه‌های آزمایشگاهی

از بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت خاک، ۹ ویژگی معمول که در تعیین کیفیت خاک بیشترین کاربرد را دارد، تعیین شد. pH خاک در عصاره<sup>۱</sup> ۱ به ۲ به کمک دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره ۱ به ۲ با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج، کربنات کلسیم کل معادل بر اساس روش تیتراسیون برگشتی با اسید و باز (Page et al, 1982)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Black and Walkley, 1934) و درصد ذرات شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری با قرائت چهار زمانه (Gee and Orr, 2002) تعیین شد. جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل نیز در نمونه‌های خاک دست‌نخورده اندازه‌گیری شد. از این دو ویژگی در ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک به عنوان دو ویژگی مهم، به طور جداگانه استفاده می‌شود (Reynoldset al, 2009). همچنین هفت شاخص زیستی سلامت خاک شامل جمعیت ریزجانداران خاک به روش محتمل‌ترین تعداد ممکن، تنفس میکروبی پایه به روش جمع‌آوری CO<sub>2</sub> آزاد شده در هیدروکسید سدیم و تیتراسیون برگشتی مقدار باقی‌مانده آن با اسید کلریدریک (Anderson, 1982)، تنفس تحریک شده با بستره (Alef and Nannipieri, 1995)، کربن زیست‌توده میکروبی به روش انکوباسیون نمونه تدخین شده با کلروفرم (Jenkinson and Powlson, 1976) و نیتروژن زیست‌توده میکروبی به روش تدخین با کلروفرم - انکوباسیون و با استفاده از دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری شد (Jenkinson and Ladd, 1981). نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به کربن آلی (Anderson and Domsch, 1989) و کسر متابولیکی یا تنفس ویژه (Anderson, 1982) تعیین شد. برای اندازه‌گیری تنفس تحریک شده، پنجاه گرم خاک وزن شد و به ظرف‌های شیشه‌ای درب‌دار منتقل شد. سپس یک میلی‌لیتر گلوکز ۱٪ به عنوان سوسترا، به هر کدام از ظروف اضافه شد و بلافاصله پس از قرار دادن یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۲۵ میلی‌لیتر محلول هیدروکسی سدیم ۰/۱ نرمال درون ظرف، درب آن به طور کامل بسته و با سلفون پوشانده و به مدت شش ساعت درون انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد (Alef and Nannipieri, 1995). بنابراین، در مجموع شانزده ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد و در ادامه با استفاده از آنها، شاخص‌های تجمعی برای سلامت خاک به دست آمد. توضیح این امر لازم است که هدف از این مقاله، بررسی شاخص‌های تجمعی برای سلامت خاک است؛ بنابراین از بین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی، ویژگی‌های معمول و متداول در مطالعات خاک انتخاب شد و سایر ویژگی‌های مورد استفاده، ویژگی‌های زیستی مؤثر بر سلامت خاک است.

## انتخاب، نمره‌دهی و وزن‌دهی ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک

اولین مرحله برای تعیین سلامت خاک با استفاده از شاخص‌های تجمعی، انتخاب ویژگی‌ها است؛ برای این منظور، شانزده ویژگی تعیین شده به عنوان مجموعه TDS در نظر گرفته شد، سپس از تحلیل عاملی (FA)<sup>۱</sup> به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای انتخاب مهم‌ترین دسته از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی مؤثر بر سلامت خاک (MDS) استفاده شد (Deng et al, 2015). برای اجرای تجزیه عامل از نرم‌افزار آماری SPSS19 استفاده شد. در روش تحلیل عاملی، از مجموعه ویژگی‌های مورد بررسی که بیشترین همبستگی را با یکدیگر دارند، استفاده و عامل مشترک بین این ویژگی‌ها مشخص شد و فرض می‌شود تغییرات مجموعه‌ای از متغیرها ناشی از آن عامل مشترک است (Naebi, 2014). تحلیل عاملی روشی است برای تحلیل واریانس بین چند متغیر وابسته براساس همبستگی درونی آنها و تعدادی عامل نهان که بدون بعد بوده و صرفاً برای اجرای تحلیل ساخته می‌شود (Naebi, 2014). در تحلیل عامل به روش PCA، ابتدا به ازای هر متغیر - که ویژگی مورد بررسی است - یک عامل نهان ساخته می‌شود (شانزده عامل اولیه

<sup>1</sup> Factor analysis

در این پژوهش، سپس عامل‌هایی که مقدار ویژه بیش از یک دارند و بیشترین واریانس داده‌ها را به خود اختصاص می‌دهند، به عنوان عامل‌های نهایی برای ادامه تحلیل عاملی استخراج می‌شوند (Chaplot, 2013). در هر عامل نهایی، می‌توان ویژگی‌هایی را تعیین کرد که دارای بیشترین اهمیت است و حداکثر همبستگی را با آن عامل دارد. به این ترتیب، از بین مجموعه ویژگی‌های خاک در منطقه که بر کیفیت آن مؤثر بودند، ویژگی‌هایی که ارزش بیشتری دارند انتخاب می‌شوند (Deng et al, 2015). با تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک توسط تحلیل عاملی، مجموعه MDS تعیین می‌شود که در این پژوهش شامل پنج ویژگی است.

مرحله بعدی در تعیین شاخص‌های سلامت خاک بر اساس مدل‌های کیفیت آن، نمره‌دهی به ویژگی‌های مورد نظر است. برای نمره‌دهی ویژگی‌های خاک، به این دلیل که ویژگی‌های اندازه‌گیری شده واحد یکسانی ندارند، برای تبدیل آنها به یک شاخص کلی (تجمعی) باید این ویژگی‌ها بی‌بعد شوند. برای این منظور، از توابع عضویت فازی استفاده شد؛ به این ترتیب که با بررسی منابع موجود، محدوده‌ای از مقادیر ویژگی مورد نظر که کمترین کیفیت را دارد، مقدار عضویت صفر و محدوده‌ای که مطلوب‌ترین مقدار را از نظر کیفیت خاک دارد، مقدار عضویت یک می‌گیرند (Torbert et al, 2008 & Yanbing, et al, 2009). در نتیجه، تابعی به دست می‌آید که با استفاده از آن، مقادیر ویژگی‌های مورد نظر بین صفر (کمترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) و یک (بیشترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) نمره‌دهی می‌شود (Yanbing et al, 2009).

بعد از نمره‌دهی ویژگی‌های مورد نظر، تعیین وزن هر ویژگی در شاخص تجمعی سلامت خاک انجام شد. Shukla و همکاران (۲۰۰۶) و Sun و Zhao (۲۰۰۳) برای محاسبه وزن ویژگی‌ها، از تجزیه عامل و محاسبه مقدار سهم ویژگی‌ها (COM<sup>۱</sup>) استفاده کردند. در این روش، وزن هر ویژگی از نسبت سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم ویژگی‌ها به دست می‌آید (Yanbing et al, 2009). برای محاسبه وزن ویژگی‌ها پس از تجزیه مؤلفه‌های اصلی، از جدول COM ارائه شده برای مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر سلامت خاک (TDS) و حداقل ویژگی‌های مؤثر بر سلامت خاک (MDS) استفاده شد و از نسبت سهم هر ویژگی به مجموع سهم‌ها، وزن به دست آمد که در محاسبه شاخص سلامت خاک به روش IQI استفاده شد (جدول شماره ۴).

### محاسبه شاخص‌های سلامت خاک

بعد از نمره‌دهی با استفاده از توابع عضویت و تعیین وزن ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، معادله شاخص تجمعی کیفیت خاک (Doran and Parkin, 1994) IQI و معادله شاخص کیفیت نمره (Shahab et al, 2013) NQI برای هر نمونه خاک با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه و به عنوان شاخص تجمعی سلامت خاک در نظر گرفته شد.

رابطه ۱

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

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

رابطه ۲

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

در این معادله،  $P_{ave}$  میانگین نمره‌های ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه خاک،  $P_{min}$  حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و  $n$  تعداد ویژگی‌های مورد نظر برای محاسبه شاخص است. هر کدام از این

<sup>1</sup> commonality

شاخص‌ها با استفاده از دو مجموعه داده TDS و MDS تعیین شد که در نتیجه، چهار شاخص کل کیفیت خاک  $IQI_{TDS}$ ،  $IQI_{MDS}$ ،  $NQI_{TDS}$ ،  $NQI_{MDS}$  به دست آمد (Shahab et al, 2013). در ادامه به منظور تعیین کارایی MDS معرفی شده در نشان دادن کل ویژگی‌ها (TDS)، همبستگی بین شاخص‌هایی که با استفاده از TDS به دست آمده‌اند با شاخص‌هایی که با استفاده از MDS به دست آمده‌اند، محاسبه شد. همبستگی پیرسون در کل نمونه‌های مورد مطالعه و در دو کاربری مرتع و کشاورزی بررسی شد. همچنین مقایسه میانگین t-test شاخص‌ها در دو کاربری مرتع (۵۳ نمونه) و کشاورزی (۱۹ نمونه)، به روش مقایسه جفت نشده انجام شد. آنالیزهای مربوط به مقایسه‌های میانگین و همبستگی، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS19 انجام شد (Naebi, 2014).

#### ۴- یافته‌ها (نتایج)

پس از به دست آمدن نتایج، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk (1965) و شاخص‌های چولگی و کشیدگی ارزیابی شد؛ به این ترتیب که اگر متغیر دارای چولگی و کشیدگی به ترتیب خارج از محدوده ۱- تا ۱ و ۳- تا ۳ باشد، واریانس آن اعتبار کمتری خواهد داشت (Robinson and Metternicht, 2006). در جدول شماره ۱، نتایج چولگی و کشیدگی نشان داد که تمام ویژگی‌های خاک، توزیع نرمال داشتند و فقط نیتروژن زیست توده میکروبی و سهم میکروبی توزیع نرمالی نداشتند؛ بنابراین، برای نرمال‌سازی ویژگی‌های مزبور از تبدیل لوگ نرمال استفاده شد.

جدول ۱: ویژگی‌های آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده

ویژگی	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
تنفس پایه خاک	(mgco <sub>2</sub> .g-1soil.day-1)	۰/۷۸	۱/۹۵	۱/۱۲۱	۰/۲۶	۰/۳۷	-۰/۶۱
تنفس تحریک شده خاک	(mgco <sub>2</sub> .g-1soil.day-1)	۵/۹۷	۱۰/۷۳	۷/۵	۰/۹۶	۰/۷۲	۰/۵۷
جمعیت میکروبی خاک	عدد در گرم خاک خشک	۱۰ <sup>۷</sup>	۱۰ <sup>۹</sup>	۵/۲۷ * ۱۰ <sup>۹</sup>	۳/۵۶ * ۱۰ <sup>۹</sup>	-۰/۵۸	-۱/۳۷
کربن زیست توده میکروبی	(mg-c.g-1 soil)	۶۳۷	۱۴۶۸	۸۸۰/۹۱	۱۳۸/۲۲	۱	۲/۸۱
نیتروژن زیست توده میکروبی	(mg-N.g-1 soil)	۸۱/۶۷	۱۴۶/۴۱	۹۵/۸۹	۸/۵۲	۲/۹۲	۱۵/۳۵
سهم میکروبی	(mg-c <sub>min</sub> .g-1 c <sub>oc</sub> )	۱/۹۴	۱۲/۵۶	۵/۴	۴۸/۲	۱/۳	۱/۱۵
ضریب متابولیک جرم مخصوص ظاهری	(mg CO <sub>2</sub> /gCmin.hr) (g/cm <sup>3</sup> )	۰/۸۴	۱/۵۴	۱/۱۴	۰/۱۴۴	۰/۳۲	-۰/۴۱
ظاهری		۰/۸۵	۱/۸۶	۱/۴۴	۰/۱۴۳	-۰/۹۳	۳/۳۸
درصد کربن آلی	%	۰/۵۸	۴/۶۲	۱/۹۱	۰/۷۵	۰/۹۸	۳/۳
درصد آهک	%						
معادل		۰/۶۷	۱۶/۶۷	۸/۰۱	۳/۳۹	۰/۲۱	-۰/۵۱

ادامه جدول ۱: ویژگی‌های آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده

ویژگی	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب تغییرات	چولگی	کشی‌دگی
pH		۵/۴	۶/۹۳	۶/۳۳	۰/۳۵	-۰/۴۶	۰/۱۱
EC	ds/m	۰	۰/۶۹	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۶۴	-۰/۵۷
تخلخل کل	%	۲۸/۳۸	۶۷/۲۱	۴۴/۵۴	۵/۴۹	۰/۹۲	۳/۴۲
درصد رس	%	۱۱/۴۳	۴۲/۴۴	۲۶/۳۹	۷/۴۷	۱۰/۲۱	-۰/۶۹
درصد شن	%	۶/۷۲	۵۹/۳۲	۳۱/۳۴	۱۲/۵۶	۰/۰۴	-۰/۷۱
درصد سیلت	%	۲۰/۷۸	۶۲/۵۵	۴۲/۲۵	۱۰/۵۲	۰/۲	-۰/۸

نتایج آماره توصیفی ویژگی‌های خاک - که در جدول شماره ۱ ارائه شده‌است - نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه، دامنه‌ای از بافت‌های سبک تا سنگین (۱۱ تا ۴۲ درصد رس) داشتند و بیشتر خاک‌ها دارای کلاس بافت لومی است. مقدار pH و درصد کربن آلی نمونه‌ها به ترتیب در محدوده ۶/۹۳-۵/۴ و ۵/۷-۴/۵ درصد و مقدار کربنات کلسیم معادل از ۰/۶۷ تا ۱۶/۶۷ درصد بود. حداکثر هدایت الکتریکی (EC) کمتر از دو دسی زیمنس در متر بود که غیر شور بودن خاک‌های منطقه را نشان می‌دهد. همچنین بالا بودن میانگین تنفس خاک بیش از ۱، با توجه به رقم جمعیت میکروبی خاک قابل توجه است. زیاد بودن ضریب تغییرپذیری در سطح خاک برای کربن توده زنده میکروبی، احتمالاً به دلیل عوامل انسانی نظیر عملیات خاک‌ورزی، استفاده از کوددهی در زمین‌های کشاورزی و افزایش هوموس در زمین‌های جنگلی است که به تغییر در یکنواختی سطح خاک منجر می‌شود (Wilding, 1988 & Zhou et al, 2020). در جدول شماره ۲، ۳ و ۴، نتایج حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) ویژگی‌های خاک ارائه شده‌است. ارزش ویژه به‌دست آمده ویژگی‌های مورد بررسی خاک، در جدول شماره ۲ ارائه شده‌است.

جدول ۲: ارزش ویژه به دست آمده از آنالیز تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) ویژگی‌ها

عوامل	ارزش‌های ویژه	
	ارزش کل	درصد تغییرات
عامل ۱	۴/۰۷	۲۵/۴۷
عامل ۲	۲/۴۱	۱۵/۰۶
عامل ۳	۱/۹۸	۱۲/۴۱
عامل ۴	۱/۷۴	۱۰/۹۲
عامل ۵	۱/۴۹	۹/۳۶
عامل ۶	۱/۲۹	۸/۰۷
عامل ۷	۰/۹۴	۵/۸۷
عامل ۸	۰/۷۲	۴/۴۸
عامل ۹	۰/۵۹	۳/۷
عامل ۱۰	۰/۵۲	۳/۲۴
عامل ۱۱	۰/۱۳	۰/۸۲
عامل ۱۲	۰/۰۹	۰/۵۵
عامل ۱۳	۰/۰۰۴۴	۰/۰۳
عامل ۱۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲۳
عامل ۱۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹
عامل ۱۶	۰	۰



مشاهده می‌شود که شش عامل از کل عوامل، ارزش ویژه بزرگ‌تر از ۱ دارد و بیش از ۸۰ درصد تغییرات را نشان می‌دهد؛ بنابراین، از این شش عامل برای انتخاب مجموعه MDS استفاده شد. در جدول شماره ۳، همبستگی عوامل مستخرج با ویژگی‌های مورد بررسی خاک ارائه شده است.

جدول ۳: همبستگی عوامل مستخرج با ویژگی‌های مورد بررسی خاک

عوامل مستخرج						ویژگی‌ها
عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴	عامل ۵	عامل ۶	
۰/۹۴۹	۰/۱۰۳	۰/۰۱۷	-۰/۰۳۵	۰/۱۸۳	-۰/۱۰۷	تنفس پایه خاک
۰/۹۸۳	۰/۱۲۰	۰/۰۳۶	۰/۰۲۳	۰/۰۴۲	-۰/۰۳۹	تنفس تحریک شده خاک
۰/۴۶۷	-۰/۰۱۴	۰/۱۲۱	-۰/۰۳۶	۰/۳۰۳	۰/۴۸۵	جمعیت میکروبی خاک
۰/۹۰۴	۰/۰۴۹	۰/۰۷۹	۰/۰۴۴	-۰/۲۵۰	۰/۱۸۸	کربن زیست توده میکروبی
۰/۸۱۰	۰/۱۰۹	۸۷/۰	۱۴۰/۰	-۰/۳۸۲	۰/۲۱۵	نیتروژن زیست توده میکروبی
۰/۰۵۹	۰/۴۹۹	-۰/۳۵۶	-۰/۶۶۵	۰/۰۱۷	۰/۲۹۹	سهم میکروبی
۰/۵۳۹	۰/۰۵۴	۰/۰۳۹	-۰/۱۱۷	۰/۵۹۰	-۰/۴۰۶	ضریب متابولیک
۰/۱۲۲	-۰/۷۱۵	۰/۳۵۶	-۰/۵۶۸	-۰/۰۵۶	-۰/۰۵۷	جرم مخصوص ظاهری
۰/۱۸۵	-۰/۴۲۰	۰/۴۴۸	۰/۶۷۷	-۰/۱۰۲	-۰/۲۲۲	درصد کربن آلی
۰/۰۷۹	۰/۲۶۸	۰/۳۲۶	-۰/۲۸۱	۰/۱۳۰	-۰/۴۴۹	درصد آهک معادل
-۰/۰۸۲	-۰/۰۲۴	۰/۴۸۲	۰/۱۲۳	۰/۰۰۵	۰/۳۹۳	pH
-۰/۰۰۹	۰/۰۴۸	-۰/۰۸۵	۰/۲۴۰	۰/۷۴۶	۰/۰۱۳	EC
-۰/۱۲۲	۰/۷۱۸	-۰/۳۵۶	۰/۵۶۸	۰/۰۵۴	۰/۰۵۷	تخلخل کل
-۰/۰۴۸	-۰/۵۹۱	-۰/۱۹۷	۰/۰۹۴	۰/۳۷۵	۰/۴۵۷	درصد رس
-۰/۲۲۷	۰/۶۱۸	۰/۷۰۲	۰/۰۸۳	۰/۰۲۰	-۰/۰۲۵	درصد شن
۰/۳۰۷	-۰/۳۲۳	-۰/۷۰۴	۰/۰۳۳	-۰/۲۹۰	-۰/۲۹۴	درصد سیلت

همان‌طور که مشاهده می‌شود تنفس پایه خاک، کربن و نیتروژن زیست توده میکروبی، بیشترین همبستگی را با عامل اول دارد که ۲۵ درصد تغییرات را نشان می‌دهد. همچنین جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل، بیشترین همبستگی را با عامل دوم دارد که این عوامل به ترتیب ۱۵ و ۱۲ درصد تغییرات را پوشش می‌دهد. بنابراین، پنج ویژگی تنفس پایه خاک، کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل، بیشترین همبستگی را با مهم‌ترین عوامل مستخرج با PCA داشتند و به عنوان مجموعه MDS انتخاب شدند

((Shahab et al, 2018 & Qi et al, 2009)). در تجزیه مؤلفه‌های اصلی، سهم هر ویژگی (COM) به معنی نسبتی از ثاریانس هر متغیر است که توسط عامل‌های مشترک ایجاد می‌شود و بدون واحد است. در جدول شماره ۵، سهم هر ویژگی در دو مجموعه MDS و TDS - که از تجزیه عامل (FA) به روش PCA به صورت جداگانه محاسبه شده - ارائه شده است. از تقسیم سهم هر ویژگی بر مجموع سهم‌ها در هر مجموعه، وزن آن ویژگی ( $W_i$ ) برای محاسبه شاخص IQI به دست آمد (Shahab et al, 2018 & Zhou et al, 2020). این وزن بیانگر نسبت سهم هر ویژگی در تعیین واریانس مشترک عوامل مستخرج در مجموعه مورد نظر است که به عنوان عامل تعیین‌کننده، اهمیت آن ویژگی در کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شود (Qi et al, 2009).

جدول ۴: وزن ویژگی‌های کیفیت خاک در دو مجموعه MDS و TDS با استفاده از تجزیه عامل (FA)

MDS		TDS		ویژگی
وزن	COM	وزن	COM	
۰/۱۶۸	۰/۹۹	۰/۰۶۳	۰/۷۷	تنفس پایه خاک
		۰/۰۷۶	۰/۹۳۴	تنفس تحریک شده خاک
		۰/۰۵۴	۰/۶۶	جمعیت میکروبی خاک
۰/۱۶۵	۰/۹۷۴	۰/۰۵۱	۰/۶۲۵	کربن زیست توده میکروبی
۰/۱۶۱	۰/۹۵۱	۰/۰۶۲	۰/۷۶۵	نیتروژن زیست توده میکروبی
		۰/۰۷۳	۰/۹۰۳	سهم میکروبی
		۰/۰۶	۰/۷۳۶	ضریب متابولیک
۰/۱۷۰	۱	۰/۰۸	۰/۹۸۲	جرم مخصوص ظاهری
		۰/۰۸	۰/۹۳۲	درصد کربن آلی
		۰/۰۴	۰/۵	درصد آهک معادل
		۰/۰۱۱	۰/۱۴۴	pH
		۰/۰۵۸	۰/۷۱	EC
۰/۱۷۰	۱	۰/۰۸	۰/۹۸۲	تخلخل کل
		۰/۰۵۹	۰/۷۲۴	درصد رس
		۰/۰۷۸	۰/۹۵۷	درصد شن
		۰/۰۷۲	۰/۸۸۹	درصد سیلت

بعد از انتخاب MDS و محاسبه وزن ویژگی‌های خاک، شاخص‌های سلامت خاک IQI و NQI با استفاده از دو مجموعه TDS و MDS توسط رابطه شماره ۱ و ۲ در نمونه خاک مورد بررسی محاسبه شد (Doran and Parkin, 1994). در جدول شماره ۵، آماره‌های توصیفی شاخص‌های سلامت خاک ارائه شده است.

جدول ۵: شاخص‌های آماری سلامت خاک

شاخص‌های سلامت خاک	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
$IQI_{TDS}$	۰/۵۵	۰/۸۷	۰/۶۹	۰/۰۶۲	۰/۲۵	۰/۵۳
$IQI_{MDS}$	۰/۴۱	۰/۸۲	۰/۶۷	۰/۰۷۸	-۰/۹۲	۱/۲۵
$NQI_{TDS}$	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲۹	۰/۰۰۳۱	-۰/۳۳	۷/۲۶
$NQI_{MDS}$	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۸۱	۰/۰۱۲۲	-۰/۸	۰/۴۸

مشاهده می‌شود که شاخص‌های سلامت خاک، توزیع نرمال دارد و  $NQI_{TDS}$ ، کمترین ضریب تغییرات را در بین شاخص‌های فوق به خود اختصاص داده است. همچنین میانگین  $IQI_{TDS}$  و  $IQI_{MDS}$  نزدیک به هم است که بیان می‌کند این شاخص با دو مجموعه داده مقادیر مشابهی محاسبه شده و بیانگر انتخاب درست مجموعه MDS است. به منظور بررسی کارایی مجموعه MDS انتخاب شده در تعیین سلامت خاک، همبستگی بین دو مجموعه (TDS و MDS) در دو شاخص مورد بررسی تعیین شد. همبستگی‌های به دست آمده برای دو کاربری متفاوت زمین (کشاورزی و مرتع) و کل نمونه‌های مورد مطالعه، در جدول شماره ۶ ارائه شده است. به طور کلی، همبستگی بین MDS و TDS شاخص‌های سلامت خاک در دو کاربری و در کل نمونه‌ها معنی‌دار است.

جدول ۶: همبستگی پیرسون (r) بین شاخص‌های سلامت خاک محاسبه شده با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های (MDS, TDS)

مجموع نمونه‌ها	IQI	NQI
کشاورزی	۰/۴۲**	۰/۴۲**
مرتع	۰/۶۶**	۰/۶**
کل نمونه‌ها	۰/۶۱**	۰/۵۵**

\*\* : همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد بین MDS و TDS

مشاهده می‌شود که در نمونه‌های مرتع و کل نمونه‌ها، همبستگی پیرسون بین TDS و MDS در شاخص IQI بیش از شاخص NQI است و در کشاورزی نیز همبستگی بین دو مجموعه داده مشابه است. Shahab و همکاران (۲۰۱۱) نیز همبستگی معنی‌داری را بین MDS و TDS مشاهده کردند. آنها  $R^2 = ۰/۶۲۷$  بین  $IQI_{MDS}$  و  $IQI_{TDS}$  و  $R^2 = ۰/۵۶۴$  بین  $NQI_{MDS}$  و  $NQI_{TDS}$  را گزارش کردند. همچنین مشاهده می‌شود که هر دو شاخص سلامت خاک - که با استفاده از حداقل ویژگی‌های منتخب (MDS) محاسبه شده‌اند - همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های محاسبه شده با مجموعه داده‌های کل (TDS) داشتند. این امر نشان می‌دهد که روش PCA، کارایی لازم را برای انتخاب مهم-ترین ویژگی‌های مؤثر بر سلامت خاک (MDS) از بین مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک داشته است (Zhou et al, 2020). شاخص‌های سلامت خاک محاسبه شده با استفاده از مجموعه کل داده‌ها (TDS)، تفاوت چندانی نسبت به MDS ندارد و می‌توان شاخص‌های سلامت خاک را با اطمینان قابل قبولی از مجموعه MDS - که از مجموعه کل داده‌ها تعداد کمتری دارد - تعیین کرد که به صرف زمان و هزینه کمتری برای برآورد سلامت خاک نیاز دارد. با توجه به این امر، می‌توان از مجموعه MDS به تنهایی برای برآورد شاخص‌های سلامت خاک استفاده کرد. Qi و همکاران (۲۰۰۹) نیز با استفاده از روش PCA، تعداد محدودی از ویژگی‌های خاک را از بین بیست ویژگی فیزیکی و شیمیایی به عنوان MDS انتخاب کردند. Shahab و همکاران (۲۰۱۳) نیز در بررسی کیفیت فیزیکی

خاک، از روش PCA برای انتخاب MDS استفاده کردند و از بین هیجده ویژگی فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت خاک، شش ویژگی منتخب را تعیین و شاخص‌های کیفیت خاک را بر اساس آن محاسبه کردند. به منظور تعیین تأثیر کاربری زمین بر سلامت خاک‌های منطقه مورد مطالعه، مقایسه میانگین بین شاخص‌های سلامت خاک اراضی کشاورزی و مرتعی به صورت جفت‌نشده صورت گرفت (جدول ۷). با توجه به نتایج جدول ۷، شاخص‌های سلامت خاک  $IQI_{MDS}$  و  $NQI_{MDS}$  - که با استفاده از مجموعه MDS به دست آمده‌اند - اختلاف معنی‌داری را بین سلامت خاک اراضی کشاورزی و مرتعی نشان نمی‌دهد؛ در حالی که شاخص‌های سلامتی که با استفاده از مجموعه TDS برآورد شده‌است، اختلاف معنی‌داری در سلامت خاک دو کاربری دارد.  $Chaplot$  (۲۰۱۳) نیز نشان داد که کاهش داده‌ها در تعیین کیفیت خاک، تأثیر عوامل مدیریتی را کاهش می‌دهد؛ در حالی که استفاده از تعداد بیشتر ویژگی‌ها برای محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک، تأثیر عوامل مدیریتی مانند نوع کاربری زمین بر کیفیت خاک را بهتر و اختلاف آنها را بیشتر نشان می‌دهد.

جدول ۷: مقایسه میانگین شاخص‌های سلامت خاک در نمونه خاک‌های کشاورزی و مرتعی

شاخص کیفیت خاک				
$NQI_{MDS}$	$NQI_{TDS}$	$IQI_{MDS}$	$IQI_{TDS}$	کاربری زمین
$0.0802^{n.s}$	$0.027^{**}$	$0.0662^{n.s}$	$0.0663^{**}$	کشاورزی
$0.0824^{n.s}$	$0.03^{**}$	$0.06776^{n.s}$	$0.07124^{**}$	مرتعی
$0.0818$	$0.0292$	$0.06735$	$0.07002$	کل نمونه‌ها

\*\* : تفاوت میانگین معنی‌دار در سطح یک درصد، n.s : فقدان تفاوت معنی‌دار

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

در جدول شماره ۸، درجه‌بندی خاک‌ها بر اساس شاخص‌های  $IQI$  و  $NQI$  ارائه شده‌است (Yanbing, 2009).

جدول ۸: دامنه امتیازات برای چهار درجه شاخص‌های کیفیت خاک (Yanbing, 2009)

دامنه امتیازات				
$NQI_{MDS}$	$NQI_{TDS}$	$IQI_{MDS}$	$IQI_{TDS}$	درجه
$>0.80$	$>0.55$	$>0.78$	$>0.76$	I
$0.80 - 0.70$	$0.55 - 0.45$	$0.78 - 0.68$	$0.76 - 0.66$	II
$0.70 - 0.60$	$0.45 - 0.35$	$0.68 - 0.58$	$0.66 - 0.56$	III
$<0.60$	$<0.35$	$<0.58$	$<0.56$	IV

مقایسه نتایج این پژوهش (جدول شماره ۵)، با حدود ارائه شده در جدول شماره ۸ نشان می‌دهد که خاک‌های منطقه مورد مطالعه از نظر سلامت خاک با شاخص  $IQI$  در هر دو مجموعه TDS و MDS انتخاب شده، در درجه II قرار می‌گیرد؛ در حالی که با شاخص  $NQI$  در درجه IV قرار می‌گیرد (Yanbing, 2009). با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه از نظر پوشش گیاهی جزء مناطق جنگلی و مراتع متراکم با تولید بالا محسوب می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که شاخص  $NQI$  درجه مناسبی از سلامت خاک را تعیین نکرده‌است. این امر می‌تواند به علت استفاده از ویژگی‌های بیولوژیکی در تعیین سلامت خاک باشد؛ در حالی که شاخص  $IQI$  با استفاده از ویژگی‌های بیولوژیکی، سلامت خاک را در سطح مطلوبی ارزیابی کرده‌است و این درجه‌بندی با شرایط منطقه انطباق بیشتری دارد. بنابراین،

استفاده از شاخص IQI برای ارزیابی سلامت خاک منطقه با استفاده از ویژگی‌های مورد استفاده در این پژوهش نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

همبستگی بین مجموعه‌های MSD و TDS در هر دو شاخص سلامت خاک (IQI و NQI)، در مرتع بیش از خاک‌های کشاورزی است. هر چند با وجود همبستگی بالاتر در مرتع می‌توان نتیجه گرفت که MDS منتخب در اراضی مرتعی بهتر از اراضی کشاورزی بیانگر TDS است، ولی با توجه به معنی‌دار بودن همبستگی، در اراضی کشاورزی نیز MDS منتخب کارایی لازم را برای تعیین کیفیت خاک دارد. در حالی که شهاب و همکاران (۲۰۱۱) برای برآورد کیفیت فیزیکی خاک با شاخص‌های IQI و NQI مشاهده کردند که MDS در اراضی کشاورزی نسبت به مرتع همبستگی بیشتری با TDS دارد. با توجه به اینکه مطالعه حاضر در مناطق حاشیه جنگلی شمال غرب ایران انجام شده و دارای مراتع متراکم و غنی است، شاخص‌های کیفیت خاک نیز غنی است و استفاده از مجموعه MDS به خوبی کیفیت آن را بیان می‌کند. در حالی که مطالعه Shahab et al (۲۰۱۱)، مربوط به مناطق خشک و نیمه خشک شمال شرق ایران با مراتع ضعیف است. در چنین مراتعی، شاخص‌های کیفیت خاک ضعیف است و استفاده از مجموعه TDS برای بیان کیفیت خاک مناسب‌تر است. همچنین در این مطالعه، بیشتر شاخص‌های منتخب مربوط به ویژگی‌های زیستی و سلامت خاک است و شاخص‌های محاسبه شده در هر دو کاربری کارایی لازم را دارد؛ در حالی که مطالعات قبلی در مورد این شاخص‌ها عمدتاً مبتنی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است (Shahab et al, 2018 & Zhou et al, 2020). به طور کلی، در این پژوهش پنج ویژگی تنفس پایه خاک، کربن زیست توده خاک، نیتروژن زیست توده خاک، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل خاک، روی سلامت خاک منطقه خانگانه نمین بیشترین تأثیر را داشتند.

## منابع

1. Abawi, G. S.; Gugino, B. K.; LaMondia, J. A.; & D. A. Neher, 2009. Train-the-trainer workshops as a platform for extending nematological outreach in the northeast region of the US. *J., Nematol*, 41, 300-397.
2. Alef, K., & P. Nannipieri., (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, London.
3. Allmaras, R. R.; Fritz, V. A.; Pflieger, F. L.; & S. M. Copeland, 2003. Impaired internal drainage and *Aphanomyces euteiches* root rot of pea caused by soil compaction in a finetextured soil. *Soil Till. Res.* 70, 41-52.
4. Anderson, J. P. E., 1982. Soil respiration in: *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, Edited by Page, AL., R.H. Miller, and D.R. Keeney, Agronomy Monograph, pp. 831-871.
5. Anderson, T. H., & K. H. Domsch., (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 21, 471-479.
6. Andrews, S. S.; Mitchell, J. P.; Mancinelli, R.; Karlen, D. L.; Hartz, T. K.; Horwath, W. R.; Pettygrove, G. S.; Scow, K. M.; & D. S. Munk, 2002. On-farm assessment of soil quality in California's central valley, *Agron. J.*, 94, 12-23.
7. Andrews, S. S.; Karlen, D. L.; & C. A. Cambardella, 2004. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evolution method, *Soil Science Society of America Journal*, 68, 1945-1962.
8. Aparicio, V., & J. L. Costa., (2007). Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. *Soil Till. Res.* 96, 155-165.
9. Arshad, M. A., & S. Martin., (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro ecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88, 153-160.

10. Bastida, F.; Zsolnay, A.; Hernandez, T.; & C. Garcia, 2008. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective, *Geoderma*, 147, 159-171.
11. Bending, G. D.; Turner M. K.; Rayns, F.; Marx, M. C.; & M. Wood, 2004. microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes, *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 1785- 1792.
12. Carter, M. R., 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions, *Agronomy Journal*, 94, 38-47.
13. Chaplot, V., 2013. Impact of Terrain Attributes, Parent Material and Soil Types on Gully Erosion, *Geomorph*, 186, 1-11.
14. Da Silva, A. P., & B. D. Kay., (1996). The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. *Plant Soil*. 184, 323-329.
15. Dane, J. H., & C. G. Topp., (2002). Methods of soil analysis. Part 4. SSSA Book Ser. No. 5, SSSA, Madison, WI.
16. Deng, Q.; Qin, F.; Zhang, B.; Wang, H.; Luo, M.; Shu, C.; Liu, H.; & G. Liu, 2015. Characterizing the morphology of gully cross-sections based on PCA: A case of Yuanmou Dry-Hot Valley, *Geomorphology*, 228, 703-713.
17. Doran, J. W., & A. J. Jones., (1996). Methods for Assessing Soil Quality. Special Publication No. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI.
18. Doran, J. W., & B. T. Parkin, (1994). Defining and assessing soil quality. In Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. F. and Stewart, B. A. (eds.) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Special Publication No. 35. Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 3–21.
19. Drury, C. F.; Zhang, T. Q.; & B. D. Kay, 2003. The nonlimiting and least limiting water ranges for soil nitrogen mineralization, *Soil Sci. Soc. Am. J*, 67, 1388-1404.
20. Gee, G. W., & D. Orr., (2002). Partical- size analysis. *Soil Science Society of America. Madison*. 16, 255-293.
21. Goberna, M.; Sánchez, J.; Pascual, J. A.; & C. Carcía, 2006. Surface and subsurface organic carbon microbial biomass and activity in a forest soil sequence, *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 2233-2243.
22. Gugino, B. K.; Idowu, O. J.; Schindelbeck, R. R. ; Van Es, H. M.; Moebius Clune, B. N.; Wolfe, D. W.; Thies, J. E.; & G. S. Abawi, 2009. Cornell soil health assessment training manual. Cornell University, Geneva, NY
23. Han W. J., & Q. T. Wu., (1994). A primary approach on the quantitative assessment of soil quality. *Chinese J. Soil Sci.* 25, 245-247.
24. Herrick, J. E.; Brown, J. R.; Tugel, A. J.; Shaver, P. L.; & K. M. Havstad, 2002. Application of soil quality to monitoring and management: paradigms from rangeland ecology, *Agron. J*, 94, 3-11.
25. Jenkinson, D. S., & D. S. Powlson., (1976). The effect of biotical treatments on metabolism in soil, V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*. 8, 189-202.
26. Jenkinson, D. S., & J. N. Ladd., (1981). Microbial biomass in soil, measurement and turnover. *Soil Biology and Biochemistry*. 5, 415-471.
27. Karlen, D. L.; Ditzler, C. A.; & S. S. Andrews, 2003. Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114, 145-156.
28. Karlen, D. L.; Mausbach, M. J.; Doran, J. W.; Cline, R. T.; Harris, R. F.; & G. E. Schuman, 1997. Soil quality: a concept definition and framework for evaluation, *Soil Sci. Soc. Amer. J*, 90, 644-650.
29. McGrath, D., & C. S. Zhang., (2003). Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. *Appl. Geochem.* 18, 1629-1639.
30. Naebi, H., Applied advanced statistics by SPSS, 2014. University of Tehran press. 404P.
31. Oliver, D. P.; Bramley, R. G. V.; Riches, D.; Porter, I.; & J. Edwards, 2013. A review of soil physical and chemical properties as indicators of soil quality in Australian viticulture, *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19, 129-139.

32. Page, A. L.; Miller, R. H.; & D. R. Keeney, 1982. Methods of Soil Analysis, part2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc, Soil Science Society of Aamerica, Madison, WI
33. Pankhurst, C.; Doube, B. M.; & V. V. S. R. Gupta, 1997. Biological indicators of soil health: synthesis. Pankhurst, (CAB International: Wallingford,UK) pp. 419-435.
34. Pauline, M., & E. David., (2008). Application of self-organizing maps for assessing soil biological quality, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 126, 139-152.
35. Qi, Y. B.; Darilek, J. L.; Huang, B.; Zhao, Y. C.; Sun, W. X.; & Z. Q. Gu, 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China, *Geoderma*.149, 325-334.
36. Qin, W.; Zhu, Q.; Zhao, L.; & G. Kuang, 2010. Topographic Characteristics of Ephemeral Gully Erosion in Loess Hilly and Gully Region Based on RS and GIS, *Trans. CSAE*, 26, 58-66.
37. Reynolds, W. D.; Drury, C. F.; Tan, C. S.; Fox, C. A.; & X. M. Yang, 2009. Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify soil physical quality, *Geoderma*, 152, 252-263.
38. Ritz, K.; Black, H. I. J.; Campbell, C. D.; Harris, J. A.; & C. Wood, 2009. Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific opinion to assist policy development, *Ecological Indicators*, 9, 1212-1221.
39. Robinson, T. P., & G. Metternicht., (2006). Testing the performance of spatial. interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*. 50, 97-108.
40. Schoenholtz, S. H.; Van Miegroet, H.; & J. A. Burger, 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities, *Forest Ecology and Management*, 138, 335-356.
41. Shahab, H.; Emami, H.; & GH. Haghnia, 2018. Effects of Gully Erosion on Soil Quality Indices in Northwestern Iran, *Journal of Agriculture Science and Technology*, 20, 1317-1329.
42. 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.
43. Shahab, H.; Emami, H.; Haghnia, Gh.; & A. Karimi, 2011. Determining most Important roperties for Soil Quality Indices of Agriculture and Range Lands in a some Parts of outhern Mashhad, *Journal of Water and Soil*, 25, 1197-1205.
44. Shapiro, S. S., & M. B. Wilk., (1965). An Analysis of Variance Test for Normality. *Biometrika*. 52(3-4), 591-611.
45. Shukla, M. K.; Lal, R.; & M. Ebinger, 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis, *Soil Tillage Res*, 87, 194-204.
46. Sun B.; Zhou S. L.; & Q. G. Zhao, 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China, *Geoderma*, 115, 85-99.
47. Torbert, H. A.; Krueger, E.; & D. Kurtene, 2008. Soil quality assessment using fuzzy modeling, *International Agrophysics*, 22, 365-370.
48. Walkly, A., & I. A. Black., (1934). An examination of Degtijaref method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. I. Experimental. *Soil Science Society of America Journal*. 79, 459- 465.
49. 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, *Agron. J*, 94, 23-32.
50. Wardle, D. A., 1998. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass a global-scale synthesis, *Soil Biology and Biochemistry*, 30, 1627-1637.
51. Wilding, L. P., 1985. Spatial variability: Its documentation, accommodation, and implication to soil survey. p. 166.
52. Yanbing, Q.; Darilek, J. L.; Biao, H.; Yongcun, Z.; Sun, W.; & Z. Gu, 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China, *Geoderma*, 149, 325-334.
53. Zhou, M.; Xiao, Y.; Li, Y.; Zhang, X.; Wang, G.; Jin, J.; Ding, G.; & X. Liu, 2020. Soil quality index evaluation model in responses to six-year fertilization practices in Mollisols, *Archives of Agronomy and Soil Science*, Published online.

## Determining of most important characteristics for soil health indices in Khaneghah Namin area

Zahra karimzadeh: MSc student of soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

Hossein shahab arkhazloo<sup>1</sup>: Assistant professor of soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

Ali ashraf soltani toolarood: Associate professor of soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili.

Shokrollah asghari: Associate professor of soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili.

Article History (Received: 2021/05/26 Accepted: 2021/08/17)

### Extended abstract

#### 1- Introduction

The ability of soil to provide products in the ecosystem, protect soil and water and perform its environmental functions reflects the quality and health of the soil. Soil health is an index for assessing soil functions such as crop production and growth of microorganisms. Soil health is affected by soil's physical, chemical, and biological properties, and its integrated evaluation needs to consider the collective effect of these characteristics. In this study, to present the cumulative soil health index, an integrated quality index (IQI) and Nemer quality index (NQI) were used. These indices are designed initially to assess soil quality, but they are used to assess soil health in this study. To determine these Indices, the most important characteristics affecting soil health were determined by the PCA method.

#### 2- Methodology

In this study, 72 soil samples were taken from 208 hectares in the Khaneghah Namin area of Ardabil province, which included 19 samples of agricultural lands and 53 samples of rangelands. In each soil sample, 16 physical, chemical, and biological properties of soil (pH, EC, organic carbon, percentage of lime, percentage of sand, silt and clay, porosity, bulk density, the population of soil microorganisms, basic microbial respiration, microbial respiration Substrate stimulated, microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen, biomass carbon to organic carbon ratio and metabolic fraction) were determined as total data set (TDS). Among these properties, five factors were obtained as minimum data set (MDS) using PCA. Then, soil health indices were calculated based on the two methods of the integrated quality index (IQI) and Nemer quality index (NQI), and using two TDS and MDS data sets. The significant correlation of indices calculated by TDS with MDS (Correlation of IQITDS with IQIMDS and NQITDS with NQIMDS) confirmed the efficiency of selected MDS to determine the soil health indices. Also, the difference of soil health indices between agricultural and rangelands was compared by a non-paired t-test.

#### 3- Results

Based on PCA results, five biological and physical soil properties were selected as the minimum data set. These properties include basal soil respiration, soil biomass carbon, soil biomass nitrogen, bulk density, and total soil porosity as the most important characteristics affecting soil health. In IQI index for a combination of soil properties as an integrated index, weighted scores of properties calculated. For scoring the soil properties used from fuzzy membership functions that scoring between 0-1. The commonality of properties is divided by the sum of commonalities in a data set to weighting the properties. The results showed that IQITDS and IQIMDS soil health indices rated the region's soils as grade II, while NQITDS and NQIMDS indices ranked the soils as grade IV. A significant correlation

<sup>1</sup>- Corresponding Author: [h.shahab@uma.ac.ir](mailto:h.shahab@uma.ac.ir)



was obtained between the indicators calculated with TDS and MDS in the region and rangeland and agricultural land use. The average IQITDS, IQIMDS, NQITDS, and NQIMDS indices in the rangeland were 0.71, 0.67, 0.03, and 0.082, respectively. The indices in agricultural fields were 0.66, 0.66, 0.027, and 0.08, respectively. The mean comparison between two land-use shows that IQITDS and NQITDS have a significant difference, and IQIMDS and NQIMDS do not have a significant difference. These results show that rangelands have significantly more soil health in comparison to agricultural lands. Also, these results show that the integrated quality index (IQI) is more suitable for evaluating soil health in comparison to nemero quality index (NQI).

#### **4- Discussion & Conclusions**

This study shows that the PCA method had efficient in selecting the most important characteristics that affect soil health. Qi et al. (2009) and Shahab et al. (2018) confirmed the PCA efficiency in MDS selection. It was also observed that the use of soil biological properties in determining the cumulative indices of IQI and NQI could lead to better modeling of soil quality and health so that most of the characteristics selected as MDS by PCA are the biological characteristics. Zhou et al. (2020) reported that the use of soil biological properties as indicators of soil health could be used to detect soil degradation. Comparison of soil health between agricultural and rangeland showed that cumulative indicators with TDS data could provide a better index for evaluating land use impact on soil health.

**Key Words:** Soil quality model, soil health model, factor analysis, Namin