

مقایسه روش‌های ارزیابی کیفیت خاک و ارتباط آن با عملکرد در اراضی چایکاری غرب استان گیلان

نقیسه یغمائیان مهابادی¹، حورا فیاض، عاطفه صبوری و احمد شیرین فکر

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ yaghmaeian_na@guilan.ac.ir

دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ haura.fayaz7264@gmail.com

دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان؛ a.sabourie@guilan.ac.ir

مربی پژوهش، گروه فناوری و مدیریت تولید، پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان؛

shirinfekr@gmail.com

دریافت: 99/6/29 و پذیرش: 99/12/23

چکیده

با توجه به افزایش فشارهای استفاده از زمین و آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی از نظر زیست محیطی، توسعه یک روش مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک به منظور دستیابی به تولید بهینه و پایدار محصول ضروری است. لذا این پژوهش با هدف شناسایی مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و مقایسه شاخص‌های کیفیت خاک به دست آمده از روش‌های مختلف و ارتباط آن با عملکرد چای در غرب استان گیلان صورت گرفت. در مجموع 66 نمونه خاک مرکب از عمق صفر تا 30 سانتی‌متر و برگ سبز چای در کرتی به وسعت 2 متر مربع به مرکزیت محل‌های نمونه‌برداری خاک از بخشی از باغات چای با عملکرد متفاوت برداشت شد. با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) از میان 15 ویژگی مؤثر بر کیفیت خاک، شش ویژگی شامل پتاسیم قابل جذب، کربن آلی، pH فسفر قابل جذب، روی قابل جذب و تعداد نماتد به‌عنوان حداقل نشانگرهای مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب گردید. سپس کیفیت خاک با استفاده از دو مدل شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمره (NQI) به روش‌های نمره‌دهی خطی و غیرخطی (LS و NLS) و هر کدام در دو مجموعه کل داده‌ها (TDS) و داده‌های حداقل (MDS) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که میانگین شاخص کیفیت خاک به جز شاخص‌های $IQI-NLS_{MDS}$ و $NQI-NLS_{MDS}$ در باغات با عملکرد بالا به طور معنی‌داری بیش‌تر از باغات با عملکرد پایین بود. ارزیابی کیفیت خاک باغات چای نشان داد که روش‌های نمره‌دهی خطی بر روش‌های غیرخطی برتری دارند، به طوری که شاخص‌های $IQI-LS$ و $NQI-LS$ برای هر دو مجموعه TDS (به ترتیب $R^2=0/55$ و $R^2=0/54$) و MDS (به ترتیب $R^2=0/45$ و $R^2=0/46$) همبستگی بیش‌تری با عملکرد چای نسبت به سایر شاخص‌ها نشان دادند. همچنین همبستگی بین دو مجموعه TDS و MDS برای شاخص $IQI-LS$ ($R^2=0/80$)، بیش‌تر از شاخص $NQI-LS$ ($R^2=0/59$) بود.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نمره، روش‌های نمره‌دهی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

مقدمه

کیفیت خاک، به عنوان ظرفیت خاک برای حمایت تولیدات گیاهی و حیوانی، حفظ و بهبود کیفیت آب و هوا، تأمین سلامت و سکونت‌گاه انسان در اکوسیستم‌های طبیعی و مدیریت‌شده تعریف شده است (گاو و ژو، 2008؛ دوران و پارکین، 1994). نظر به افزایش فشارهای استفاده از زمین و آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی از نظر زیست محیطی، توسعه یک روش مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک به منظور دستیابی به مدیریت پایدار و پیش‌بینی خطرات تخریب خاک ضروری است و پیامدهای زیادی در تولید محصولات کشاورزی دارد (آرمیس و همکاران، 2013؛ کی و همکاران، 2009). از بین روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت خاک، رویکرد شاخص کیفیت خاک (SQI)¹ به دلیل انعطاف‌پذیری، کمی بودن و مناسب بودن آن برای انواع مختلف خاک (یسواس و همکاران، 2017) و همچنین امکان تلفیق ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، بیش‌ترین کاربرد را دارد.

نشانگرهای مؤثر بر کیفیت خاک² معمولاً با واحدهای مختلف بیان می‌شوند، بنابراین نرمال کردن داده‌ها از طریق نمره‌دهی نشانگرها لازم و ضروری است. برای این منظور روش‌های نمره‌دهی خطی (LS)³ (سوانپول و همکاران، 2014؛ لیو و همکاران، 2014) و غیر خطی (NLS)⁴ (بای و همکاران، 2013؛ کمبردلا و همکاران، 2004) توسعه یافته‌اند. در روش‌های نمره‌دهی خطی و غیر خطی، به‌ترتیب روابط خطی و غیر خطی بین نمره کیفیت و داده‌های اندازه‌گیری شده، براساس حساسیت ویژگی‌های خاک نسبت به تغییرات کیفیت خاک، ایجاد می‌شود. در مرحله بعد، نمره ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک به صورت یک نمایه کیفیت تلفیق می‌شوند. این عمل از طریق، میانگین (سوورای و همکاران، 2015) جمع (کمبردلا و همکاران، 2004) و یا ضرب (امیری‌نژاد و همکاران، 2011) داده‌ها و اعمال وزن مناسب که از طریق نظر کارشناسی و یا محاسبات آماری برای هر ویژگی به دست می‌آید (گلوور و همکاران، 2000)، صورت می‌گیرد.

در حالی که تلاش‌های زیادی برای برآورد شاخص کیفیت خاک برای خاک‌های عمده در سراسر جهان انجام شده‌است، اما هیچ روش استاندارد و فراگیری برای توسعه

شاخص کیفیت خاک وجود ندارد (موکرچی و لال، 2014). از آنجایی که عملکرد محصول، به عنوان فاکتور زیستی گیاه برای پاسخ مستقیم به ویژگی‌های خاک به حساب آمده و تأثیر عواملی که ارتباط مستقیمی با کیفیت خاک ندارند را به حداقل می‌رساند؛ بنابراین عملکرد محصول به عنوان یکی از معیارهای اصلی ارزیابی کیفیت خاک پیشنهاد شده است (لی و همکاران، 2019). لی و همکاران (2019) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی کیفیت خاک و ارتباط آن با عملکرد گندم در مقیاس منطقه‌ای در چین انجام دادند. مزارع مورد مطالعه دارای سه سطح عملکرد (بالا، متوسط و پایین) بودند. با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)⁵، مجموعه داده‌های حداقل (MDS)⁶ انتخاب شدند. نتایج، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین SQI و عملکرد گندم را نشان داد که این بیانگر این موضوع است که MDS نماینده خوبی برای ارزیابی کیفیت مزارع گندم چین بودند. باروا و همکاران (2017) در پژوهشی در شمال شرقی هند (آسام) به شناسایی MDS برای ارزیابی شاخص کیفیت خاک در سیستم‌های کشت چای طولانی مدت پرداختند. مهم‌ترین نشانگرهای مؤثر بر کیفیت خاک باغات چای شامل نیتروژن قابل دسترس، نیتروژن کل و کلسیم بودند. قلوبی و همکاران (2018) تغییرات کیفیت خاک در اثر تغییر کاربری اراضی جنگلی به باغ چای را با دو روش شاخص رتبه تجمعی و توابع نمره‌دهی دانشگاه کرنل مورد مطالعه قرار دادند.

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر تغییر کاربری اراضی بر کیفیت و سلامت خاک با استفاده از هر دو روش معنی‌دار بود و کربن آلی خاک به عنوان مهم‌ترین نشانگر مؤثر بر کیفیت خاک تعیین شد. همتی و همکاران (1398) با بررسی تأثیر شاخص‌های کیفیت خاک بر عملکرد برنج نشان دادند، زمانی که شاخص تجمعی ساده و وزن‌دار کیفیت خاک با استفاده از MDS تعیین شوند، اختلاف معنی‌داری بین شاخص کیفیت خاک شالیزارهای با عملکرد پایین و بالا مشاهده می‌شود؛ به بیان دیگر، مجموعه MDS به شکل مؤثرتری اختلاف کیفیت خاک شالیزارهای با بهره‌وری متفاوت را نشان می‌دهد. نوری و همکاران (1398) در ارزیابی کمی کیفیت خاک بخشی از اراضی خشک و نیمه‌خشک استان ایلام نشان دادند، استفاده از مجموعه داده‌های حداقل به جای مجموعه کل داده‌ها، برای شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمره قابل اطمینان است.

1. Soil quality index

2. Soil quality indicators

3. Linear scoring

4. No-linear scoring

5. Principal component analysis

6. Minimum data set

نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن، از الک 2 میلی متری گذرانده شدند و برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک از جمله درصد ذرات معدنی اولیه خاک (رس، سیلت و شن) به روش هیدرومتری (گی و باودر، 1986)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)¹ به روش الک تر (کمپر و روزنا، 1986)، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین (بلاک و هارتج، 1986)، pH عصاره اشباع توسط دستگاه pH متر و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج (نودسن و همکاران، 1982)، کربن آلی خاک به روش والکی و بلک (والکی و بلک، 1934)، نیتروژن کل به روش کج‌جدال (هس، 1971)، فسفر قابل استفاده در خاک به روش اولسن (اولسن و همکاران، 1954)، غلظت پتاسیم قابل استفاده خاک به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و قرائت با دستگاه فلیم فوتومتر (نودسن و همکاران، 1982)، روی و مس با روش عصاره‌گیری با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی (لیندسی و نورول، 1978)، نماتد مولد زخم ریشه چای (*Pratylenchus loosi*) در خاک به کمک روش الک و سانتی‌فیوژ (جنکینز، 1964) و تنفس میکروبی به روش آندرسون (آندرسون، 1982) اندازه‌گیری شدند.

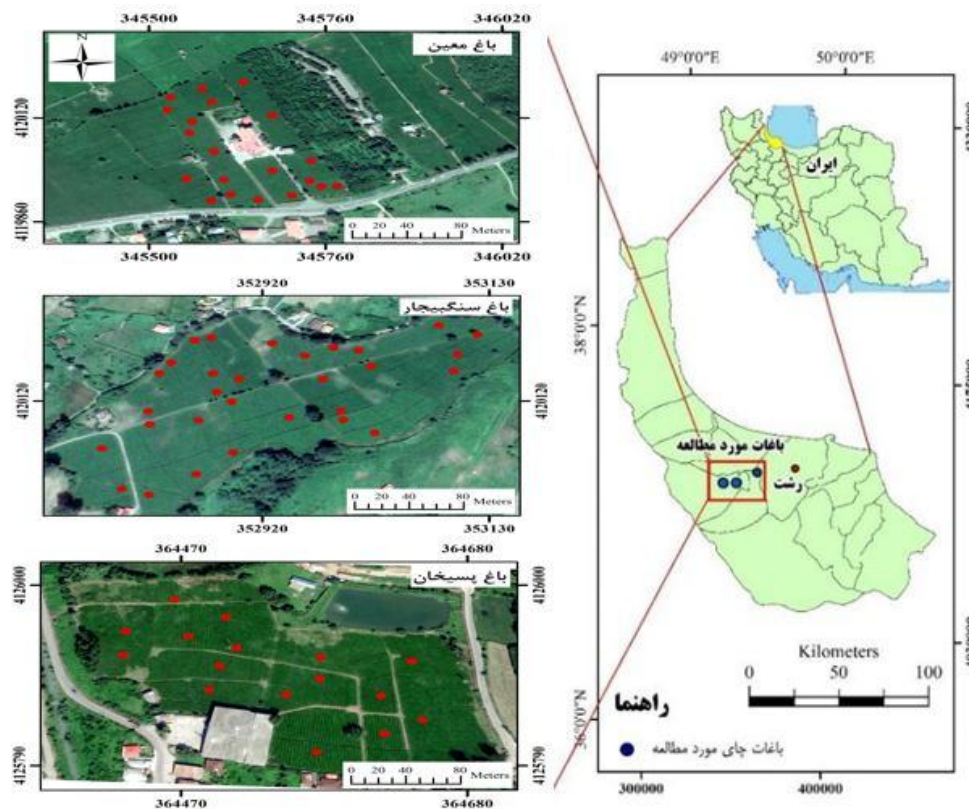
آگاهی از عوامل مؤثر بر کیفیت خاک و میزان عملکرد چای به منظور مدیریت بهینه، چگونگی مصرف نهاده‌ها و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد. مطالعات اندکی در مورد مقایسه و انتخاب روش مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک اراضی چای‌کاری انجام شده است. همچنین در مورد تأثیر کیفیت خاک بر عملکرد چای در باغات استان گیلان اطلاعات چندانی در دسترس نیست. بنابراین تحقیق حاضر به منظور تعیین مجموعه داده‌های حداقل مؤثر بر کیفیت خاک باغات چای، ارزیابی کیفیت خاک با استفاده از شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمو به روش‌های نمره‌دهی خطی و غیرخطی در باغات چای با عملکردهای متفاوت در غرب استان گیلان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

منطقه مورد مطالعه در باغات چای غرب استان گیلان واقع در شهرستان‌های فومن (باغ‌های معین و سنگ‌بیجار) و شفت (شامل باغ پسیخان) در محدوده بین طول‌های جغرافیایی 30° 15' 49" و 26° 28' 49" شرقی و عرض‌های جغرافیایی 12° 08' 37" و 16° 16' 37" شمالی قرار دارد (شکل 1). بر اساس اطلاعات دوره آماری 1387 تا 1397 ایستگاه هواشناسی رشت، میانگین درجه حرارت سالیانه، 15/8 درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالیانه، 5. 1337 میلی‌متر می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک، به ترتیب یودیک و ترمیک و سیمای اراضی منطقه، اراضی پست با شیب کمتر از 2 درصد است. به منظور دستیابی به اهداف پژوهش لازم بود باغات چای با عملکردهای متفاوت به گونه‌ای انتخاب شوند که شرایط اقلیمی، عملیات کشاورزی و مدیریت زراعی در آنها تقریباً یکسان باشد. جمعاً 66 نمونه خاک مرکب (20 نمونه از باغ معین، 30 نمونه از باغ سنگ‌بیجار و 16 نمونه از باغ پسیخان) به روش نمونه‌برداری تصادفی از عمق صفر تا 30 سانتی‌متر در فاصله بین ردیف‌های چای برداشت شد. 33 نمونه برگ سبز چای در کرتی به وسعت 2 متر مربع به مرکزیت محل‌های نمونه‌برداری خاک برداشت شد. به منظور تعیین متوسط عملکرد چای (وزن تر)، یک غنچه و دو برگ انتهایی چای در سه برداشت متوالی بهاره (برداشت اول در اواسط اردیبهشت، برداشت دوم در اوایل خرداد و برداشت سوم در اواخر خرداد ماه سال 1398) از سطح مذکور برداشت شد. لازم به ذکر است سه باغ مورد مطالعه تحت مدیریت واحد یک باغدار و با سیستم آبیاری بارانی قرار داشتند.

¹ Mean weight diameter



شکل 1- موقعیت جغرافیایی باغات مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

انتخاب، نمره‌دهی و وزن‌دهی نشانگرهای مؤثر بر کیفیت خاک

بیش از یک ویژگی برای هر مؤلفه، ویژگی‌های با ضرایب همبستگی بالا ($r > 0.6$) و وزن پایین‌تر حذف شدند (نبی‌الهی و همکاران، 2018). به منظور نمره‌دهی نشانگرهای مختلف، از روش‌های نمره‌دهی خطی و غیرخطی استفاده شد (گوا و همکاران، 2017). در روش نمره‌دهی خطی، سه نوع تابع برای نشانگرهای مختلف خاک مورد استفاده قرار گرفت. برای نشانگرهایی که با افزایش و یا کاهش مقدار آن‌ها، کیفیت خاک بهبود می‌یابد، به ترتیب توابع بیش‌تر-بهرتر³ (رابطه 1) و کمتر-بهرتر⁴ (رابطه 2) و برای نشانگرهایی که دارای دامنه بهینه هستند، تابع دامنه بهینه⁵ (رابطه 3) استفاده شد.

جهت کاهش تعداد متغیرهای مورد مطالعه و ایجاد مؤلفه‌های مستقل از هم، برای تعیین نشانگرهایی که بیش‌ترین نقش را در توجیه تغییرات ویژگی‌های خاک دارند، از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، استفاده شد. به منظور کاهش تعداد مؤلفه‌ها و انتخاب مجموعه داده‌های حداقل نشانگرهای مؤثر بر کیفیت خاک (MDS)، از معیار کایسر¹ (کایسر، 1960) استفاده شد. به این ترتیب که مطابق روش اندروز و همکاران (2002) و گواترتس و همکاران (2006) مؤلفه‌های اصلی با ارزش ویژه² بیش از یک در نظر گرفته شدند. بعد از انتخاب تعداد مؤلفه‌های اصلی، مهم‌ترین نشانگرها در داخل هر مؤلفه اصلی انتخاب می‌گردد. به این صورت است که درون هر مؤلفه اصلی، نشانگری که دارای بیش‌ترین وزن باشد به همراه نشانگرهایی که دارای اختلاف کمتر از 10 درصد با آن باشند به عنوان MDS انتخاب شدند. در صورت انتخاب

³. More is better

⁴. Less is better

⁵. Optimal range

¹. Kaiser criterion

². Eigen value

$$M(x) = \begin{cases} 0.1 & x < x_1 \\ 0.9 \times \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} + 0.1 & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 1 & x > x_2 \end{cases} \quad \text{رابطه 1}$$

$$L(x) = \begin{cases} 1 & x < x_1 \\ 1 - 0.9 \times \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0.1 & x > x_2 \end{cases} \quad \text{رابطه 2}$$

$$R(x) = \begin{cases} 0.1 & x < r_1 \\ 0.9 \times \frac{x - r_1}{r_2 - r_1} + 0.1 & r_1 \leq x \leq r_2 \\ 1 & r_2 < x \leq x_2 \\ 1 - 0.9 \times \frac{x - r_2}{x_2 - r_2} & x > x_2 \\ 0.1 & \end{cases} \quad \text{رابطه 3}$$

$$F(X) = \frac{1}{[1 + ((B - L) / X - L)^{25(B+X-2L)}]} \quad \text{رابطه 4}$$

به منظور تعیین وزن تعلق یافته به نشانگرهای خاک، برای مجموعه داده‌های کل موثر بر کیفیت خاک⁶ (TDS)، سهم هر ویژگی⁷ (COM) با استفاده از روش تجزیه عامل⁸ (FA) (توربرت و همکاران، 2008) به وسیله وسیله نرم افزار SAS محاسبه شد. سپس نسبت مقدار سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم کل ویژگی‌ها در مجموعه TDS، به عنوان وزن هر ویژگی برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در نظر گرفته شد (کی و همکاران، 2009). همچنین وزن‌های مربوط به مجموعه MDS، از درصد واریانس استاندارد حاصل از مؤلفه‌های اصلی (مقدار کل واریانس مؤلفه برای متغیرهای غیرهمبسته و نسبت مقدار کل واریانس مؤلفه به تعداد متغیرها برای متغیرهای همبسته) به دست آمد (شوگلا و همکاران، 2006).

محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک

در نهایت با تلفیق امتیازات و وزن مربوط به ویژگی‌های مختلف در هر نمونه خاک در قالب روابط آماری و ریاضی، شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمو (NQI) محاسبه شدند. مطابق رابطه 5 شاخص کیفیت تجمعی از مجموع حاصل ضرب نمره هر ویژگی در ضریب وزنی آن، محاسبه شد (اندرروز و همکاران، 2002).

در این روابط $M(x)$ تابع نمره‌دهی بیشتر-بهرتر، $L(x)$ تابع نمره‌دهی کمتر-بهرتر، $R(x)$ تابع نمره‌دهی دامنه بهینه، x_1 و x_2 به ترتیب حدود آستانه پایینی¹ و بالایی²، r_1 و r_2 به ترتیب مقادیر پایینی³ و بالایی⁴ دامنه بهینه و x مقدار ویژگی خاکی مورد نظر است.

حد آستانه بالایی مقداری از متغیر می‌باشد که مقادیر بیشتر از آن، تأثیری بر کیفیت خاک ندارد. حد آستانه پایینی نیز مقداری از متغیر می‌باشد که مقادیر کمتر از آن، تأثیری بر کیفیت خاک ندارد. توابع نمره‌دهی خطی و پارامترهای آن در جدول 1 ارائه شده است. پارامترهای توابع نمره‌دهی بر اساس نظرات کارشناسان پژوهشگاه چای لاهیجان و بررسی منابع و پژوهش‌های انجام شده (چروبین و همکاران، 2016، آرمینیس و همکاران، 2013 و کی و همکاران، 2009) تعیین شدند.

به منظور نمره‌دهی غیرخطی از رابطه زیر استفاده شد (گلوور و همکاران، 2000).

در این رابطه $F(x)$ نمره نشانگر خاک، x مقدار ویژگی خاکی مورد نظر، B مقداری از نشانگر مورد نظر که در آن تابع نمره‌دهی برابر $0/5$ است⁵، L حد آستانه پایینی و S شیب منحنی در نقطه B است. پارامترهای توابع غیرخطی در جدول 2 ارائه شده است.

1. Lower threshold

2. Upper threshold

3. Lower value of optimal range

4. Upper value of optimal range

5. Baseline Value

6. Total data set

7. Communalities

8. Factor analysis

جدول 1- توابع نمره‌دهی خطی و پارامترهای آن

نشانگر	واحد	نوع تابع	حد پایین	حد بالا
هدایت الکتریکی	dS/m	کمتر-بہتر	0/2	5/1
کربن آلی	%	بیش‌تر-بہتر	1	2/5
فسفر قابل جذب	mg/kg	بیش‌تر-بہتر	5	30
پتاسیم قابل جذب	mg/kg	بیش‌تر-بہتر	50	300
نیتروژن کل	g/100g	بیش‌تر-بہتر	03/0	0/15
pH	---	بہینہ	5/5	6/5
رس	%	بہینہ	15	35
سیلت	%	بہینہ	15	35
شن	%	بہینہ	35	70
میانگین وزنی قطر خاکدانه	mm	بیش‌تر-بہتر	5/0	3
جرم مخصوص ظاہری	g/cm ³	کمتر-بہتر	1/1	1/4
روی قابل جذب	mg/kg	بیش‌تر-بہتر	0/5	3
مس قابل جذب	mg/kg	بیش‌تر-بہتر	2	4
تنفس میکروبی	mg CO ₂ /g dry soil.24h	بیش‌تر-بہتر	1/0	25/1
نماتد خاک	No./g	کمتر-بہتر	5	80

جدول 2- پارامترهای توابع غیرخطی

نشانگر	واحد	B	L	S
هدایت الکتریکی	dS/m	0/85	0/2	-1/786
کربن آلی	%	1/75	1	1/667
فسفر قابل جذب	mg/kg	17/5	5	0/100
پتاسیم قابل جذب	mg/kg	175	50	0/010
نیتروژن کل	g/100g	0/09	03/0	20/833
pH	---	7/5	5/5	2/500
رس	%	25	15	0/125
سیلت	%	25	15	0/125
شن	%	52/5	35	0/071
میانگین وزنی قطر خاکدانه	mm	1/75	5/0	1/00
جرم مخصوص ظاہری	g/cm ³	1/25	1/1	-8/33
روی قابل جذب	mg/kg	1/75	0/5	1/00
مس قابل جذب	mg/kg	3	2	1/250
تنفس میکروبی	mg CO ₂ /g dry soil.24h	0/67	1/0	2/155
نماتد خاک	No./g	42/5	5	-0/033

B: مقداری از نشانگر که در آن تابع نمره‌دهی برابر 0/5 است، L: حد آستانه پایینی، S: شیب منحنی نمره‌دهی در نقطه B

رابطه 5

$$IQI = \sum_{i=1}^n WiNi$$

شاخص کیفیت نمو بر اساس مقادیر میانگین و حداقل امتیاز ویژگی‌ها طبق رابطه زیر محاسبه شد (بای و همکاران، 2013).

در این رابطه W_i وزن هر ویژگی، N_i مقدار نمره یا تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های خاک می باشد.

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ava}^2 - P_{min}^2}{2}} \times \frac{n-1}{n} \quad \text{رابطه 6}$$

کل را تبیین می‌کنند (جدول 4). به بیان دیگر، مؤلفه‌های با ارزش ویژه کمتر از 1، بیانگر توصیف بخش کمتری از واریانس توسط آن مؤلفه نسبت به هر یک از متغیرهای مورد مطالعه هستند (توربرت و همکاران، 2008). در اولین مؤلفه اصلی، پتاسیم قابل جذب، در مؤلفه دوم، کربن آلی و نیتروژن کل، در مؤلفه سوم pH، در مؤلفه چهارم، فسفر و روی قابل جذب و در مؤلفه پنجم، تعداد نماتد به عنوان ویژگی‌های با بالاترین سهم و اختلاف کمتر از 10 درصد بودند. به‌منظور یافتن متغیرهای همبسته در هر مؤلفه از نتایج همبستگی پیرسون (جدول 5) استفاده شد. متغیرهای با بیش‌ترین سهم یا بزرگ‌ترین مقادیر بردار ویژه در مؤلفه دوم کربن آلی و نیتروژن کل همبستگی معنی‌داری با یکدیگر داشتند و کربن آلی با دارا بودن وزن بیش‌تر به عنوان MDS انتخاب گردید. در مؤلفه چهارم، فسفر و روی قابل جذب نیز با یکدیگر همبستگی معنی‌داری داشتند.

آرمنیس و همکاران (2013) بیان کردند در صورتی‌که متغیرهای همبسته در یک مؤلفه از عوامل مهم تأثیرگذار بر کیفیت خاک باشند، بایستی با توجه به اهمیت‌شان در مجموعه MDS باقی بمانند. بر این اساس فسفر و روی قابل جذب به‌عنوان مجموعه MDS در نظر گرفته شدند. در نهایت پتاسیم قابل جذب، کربن آلی، pH، فسفر قابل جذب، روی قابل جذب و تعداد نماتد به عنوان MDS انتخاب شدند. روان و همکاران (2013) افزایش عملکرد جای در مقادیر بیشتر پتاسیم قابل جذب خاک را گزارش کردند؛ کربن آلی خاک به طور گسترده‌ای به عنوان یکی از نشانگرهای مؤثر بر کیفیت خاک مورد استفاده قرار گرفته است که دلیل آن می‌تواند نقش قابل توجه ماده آلی در کارکردهای چندگانه خاک از قبیل تصفیه، ظرفیت بافری، پایداری فیزیکی، چرخه عناصر غذایی و به عنوان منبع اولیه غذا برای میکروارگانیسم‌ها باشد (کارتز، 2002). نتایج پژوهش رای و موکوپادهایی (2012) در هند نشان داد که pH به عنوان تأثیر گذارترین و مهم‌ترین ویژگی خاک بر عملکرد جای می‌باشد. روی یکی از مهم‌ترین عناصری است که در بسیاری از کارکردهای فیزیولوژیکی گیاهان ایفای نقش می‌کند. در برخی مطالعات، روی قابل جذب به عنوان یکی از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در مجموعه MDS در نظر گرفته شده است (ماستو و همکاران، 2007؛ بهادری و پوراکیاستا، 2014)، زیرا به عنوان یک عنصر مهم غذایی، اطلاعات زیادی را برای ارزیابی کارکردهای خاک از قبیل قابلیت دسترسی عناصر کم مصرف و تولید محصول فراهم می‌کند (لی و همکاران، 2019). سراجی و همکاران (1386) بیان کردند که با اسیدی شدن خاک، شرایط برای بیماری‌های ریشه به خصوص نماتد مولد زخم ریشه جای فراهم شده و امکان کاهش عملکرد محصول نیز وجود دارد.

در این رابطه، P_{ave} میانگین امتیاز تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر نمونه خاک، P_{min} حداقل امتیاز موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است.

هر کدام از شاخص‌های بالا برای هر یک از نمونه‌های خاک با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک شامل TDS و MDS و با استفاده از توابع نمره‌دهی خطی (LS) و غیرخطی (NLS) تعیین شدند. در نتیجه برای هر نمونه خاک، هشت شاخص کلی کیفیت خاک شامل $IQI-TDS-LS$ ، $IQI-MDS-LS$ ، $IQI-TDS-NLS$ ، $IQI-MDS-NLS$ ، $NQI-MDS-LS$ ، $NQI-TDS-LS$ ، $NQI-MDS-NLS$ و $NQI-TDS-NLS$ به دست آمد. به منظور مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت خاک در باغات مورد مطالعه، مقایسه میانگین شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از آزمون توکی در سطح پنج درصد و روابط همبستگی بین عملکرد محصول و شاخص‌های کیفیت خاک بررسی شد. در این پژوهش تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

نظر به اینکه باغات مورد مطالعه از نظر شرایط اقلیمی، عملیات کشاورزی و مدیریت زراعی تقریباً یکسان بودند، بنابراین بخشی از تفاوت عملکرد باغات انتخاب شده می‌تواند متأثر از تفاوت ویژگی‌های خاک باشد. به این ترتیب باغ معین، پسیخان و سنگ‌بیچار با میانگین عملکرد برگ سبز جای به میزان 4160، 3376 و 1693 کیلوگرم در هکتار در چین بهار به ترتیب به عنوان باغ با عملکرد بالا، متوسط و پایین در نظر گرفته شدند. آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک و عملکرد جای در سه باغ با عملکرد متفاوت در جدول 3 ارائه شده است. ژانگ و همکاران (2007) اعلام نمودند که ضریب تغییرات کم‌تر از 10 درصد، دلالت بر تغییرپذیری پایین ویژگی مورد نظر و ضریب تغییرات بالاتر از 90 درصد، بیانگر تغییرپذیری بالای آن است. بر این اساس ویژگی‌های خاک و عملکرد جای در باغات مورد مطالعه از تغییرپذیری متوسط و پایین برخوردار هستند که استفاده طولانی-مدت و مدیریت یکنواخت اراضی می‌تواند منجر به یکنواختی خاک شده و کاهش ضریب تغییرپذیری را به دنبال داشته باشد (فو و همکاران، 2010).

مجموعه داده‌های حداقل مؤثر بر کیفیت خاک

براساس نتایجی که از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) به دست آمد، پنج مؤلفه اصلی دارای ارزش ویژه بیش‌تر از 1 بودند که بیش از 73 درصد از واریانس کل را تبیین کرده‌اند. در واقع، هر یک از این پنج مؤلفه به ترتیب 65/24، 15/71، 14/18، 11/67 و 63/7 درصد از واریانس

جدول 3- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک و عملکرد چای در باغات با عملکرد متفاوت

عملکرد پایین			عملکرد متوسط			عملکرد بالا			واحد	ویژگی
ضریب تغییرات (%)	دامنه تغییرات	میانگین	ضریب تغییرات (%)	دامنه تغییرات	میانگین	ضریب تغییرات (%)	دامنه تغییرات	میانگین		
70/4	4/8 - 5/53	5/26	10/6	4/41 - 5/22	4/72	3/55	4/7 - 4/19	48/4	---	pH
10/15	0/12 - 0/19	0/14	03/5	0/16 - 0/18	0/17	11/71	0/14 - 0/21	0/16	dS/m	هدایت الکتریکی
12/00	1/20 - 1/80	1/62	23/33	1/1 - 3	1/80	47/23	1/03 - 2/96	1/92	%	کربن آلی
08/49	20/8 - 110	52/52	99/20	31/2 - 61/7	48/56	68/38	13/6 - 71/1	47/129	mg/kg	فسفر قابل جذب
62/43	69/72 - 227/89	119/59	16/35	58 - 309/52	211/78	20/15	216/38 - 321/9	271/37	mg/kg	پتاسیم قابل جذب
18/26	0/11 - 0/26	0/17	37/5	0/16 - 0/18	0/17	49/17	0/12 - 0/24	0/18	g/100g	نیترژن کل
25/7	40/00 - 50/00	45/05	19/04	34 - 57	45/44	84/11	27/00 - 41/00	35/53	%	شن
38/23	12/00 - 25/00	20/1	15/6	18 - 30	23/06	43/16	15/00 - 26/00	20/73	%	رس
39/11	28/00 - 40/00	34/85	22/82	19 - 43	31/50	03/10	36/00 - 51/00	43/73	%	سیلت
70/29	0/73 - 2/33	1/55	48/37	0/42 - 1/39	0/85	79/38	0/99 - 8/63	2/31	mm	میانگین وزنی قطر خاکدانه
82/10	0/95 - 1/32	1/13	03/14	0/71 - 1/08	0/91	52/11	0/66 - 1/05	0/9	g/cm ³	جرم مخصوص ظاهری
91/51	1/41 - 7/76	3/53	17/21	1/65 - 3/61	2/97	81/25	2/03 - 5/26	3/56	mg/kg	روی قابل جذب
14/24	1/84 - 4/24	2/84	41/25	2/5 - 5/38	3/91	47/15	3/37 - 5/56	4/30	mg/kg	مس قابل جذب
29/29	0/03 - 0/10	0/07	25/77	0/05 - 0/12	0/08	23/84	0/02 - 0/13	0/09	mg CO ₂ /g dry soil.24h	تنفس میکروبی
48/52	0/12 - 1/00	0/75	54/47	0/13 - 1	0/75	01/44	0/15 - 1/00	0/70	No./g	نماتد خاک
50/35	628 - 2443	1693	83/28	2330 - 4780	3377	05/36	1935 - 7134	4160	kg/ha	عملکرد

مقایسه شاخص‌های مختلف کیفیت خاک

معنی‌داری با یکدیگر نشان می‌دهند. با توجه به این مهم که میزان عملکرد محصول به عنوان یکی از کارکردهای مهم خاک، وابسته به کیفیت خاک است، انتظار می‌رود خاک‌های با کیفیت بالا از عملکرد محصول بیش‌تری نسبت به خاک‌های با کیفیت پایین برخوردار باشند. بنابراین می‌توان اظهار داشت به جز شاخص‌های کیفیت خاک $IQI-NLS_{MDS}$ و $NQI-NLS_{MDS}$ ، سایر شاخص‌ها می‌توانند برای ارزیابی کیفیت خاک اراضی چایکاری تا حد قابل قبولی مورد استفاده باشند.

در مرحله بعد، هریک از ویژگی‌ها با استفاده از توابع خطی و غیر خطی امتیازدهی شده و وزن‌های مجموعه TDS و MDS محاسبه شدند. وزن‌های تعلق یافته به مجموعه TDS و MDS در جدول 6 آمده است. میانگین هشت شاخص کیفیت خاک در جدول 7 نشان داده شده است. به جز شاخص‌های کیفیت خاک $IQI-NLS$ و $NQI-NLS$ برای مجموعه MDS، در مورد سایر شاخص‌ها، بیش‌ترین و کمترین شاخص کیفیت خاک به ترتیب مربوط به باغ با عملکرد بالا و پایین است که از لحاظ آماری اختلاف

جدول 4- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک برای پنج مؤلفه اول

مؤلفه 5	مؤلفه 4	مؤلفه 3	مؤلفه 2	مؤلفه 1	نشانه‌ها
221/1	867/1	268/2	513/2	945/3	مقادیر ویژه
631/7	666/11	176/14	709/15	655/24	درصد واریانس نسبی
837/73	206/66	539/54	364/40	655/24	درصد واریانس تجمعی
بردارهای ویژه					
156/0	234/0	-744/0	-092/0	409/0	pH
072/0	137/0	-242/0	267/0	0/673	هدایت الکتریکی
032/0	-236/0	504/0	0/694	381/0	کربن آلی
459/0	0/669	168/0	236/0	207/0	فسفر قابل جذب
220/0	055/0	-318/0	354/0	0/791 ^b	پتاسیم قابل جذب
-162/0	281/0	-460/0	606/0	-494/0	شن
-151/0	-656/0	-329/0	028/0	280/0	رس
241/0	079/0	629/0	-609/0	333/0	سیلت
-161/0	057/0	-071/0	230/0	541/0	تنفس میکروبی
-214/0	076/0	557/0	264/0	-062/0	میانگین وزنی قطر خاکدانه
207/0	069/0	134/0	271/0	-664/0	جرم مخصوص ظاهری
-200/0	0/742	192/0	-101/0	174/0	روی قابل جذب
-070/0	061/0	007/0	-486/0	701/0	مس قابل جذب
298/0	-303/0	357/0	0/672 ^a	348/0	نیترژن کل
0/732	-288/0	-157/0	-311/0	-248/0	نماتد

^a اعداد پررنگ به‌عنوان بیش‌ترین وزن در نظر گرفته شدند. ^b اعداد پررنگ که زیر آنها خط کشیده شده است، به‌عنوان MDS انتخاب شدند.

جدول 5- ضرایب همبستگی برای مؤلفه‌های با بیش‌ترین وزن برای پنج مؤلفه اول

نماتد	روی قابل جذب	فسفر قابل جذب	pH	نیترژن کل	کربن آلی	پتاسیم قابل جذب
						1
					1	0/362 [*]
				1	0/867 ^{**}	0/417 [*]
			1	-0/174	-0/339	0/554 ^{**}
		1	0/101	0/198	0/129	0/320
	1	0/411 [*]	0/056	-0/212	0/007	0/054
1	-0/294	-0/044	0/044	-0/140	-0/276	-0/087

^{**} و ^{*} به ترتیب همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال 0/01 و 0/05 را نشان می‌دهد.

جدول 6- وزن ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک در مجموعه‌های MDS و TDS

وزن (Weight)		سهم (COM)	ویژگی	وزن (Weight)		سهم (COM)	ویژگی
MDS	TDS			MDS	TDS		
	0/084	941/0	درصد سیلت	0/195	0/072	809/0	pH
	0/033	379/0	تنفس میکروبی		0/069	780/0	هدایت الکتریکی
	0/038	435/0	میانگین وزنی قطر خاکدانه	0/216	0/081	907/0	کربن آلی
	0/051	580/0	جرم مخصوص ظاهری	0/076	0/070	785/0	فسفر قابل جذب
0/076	0/059	667/0	روی قابل جذب	0/333	0/078	875/0	پتاسیم قابل جذب
	0/066	736/0	مس قابل جذب		0/083	928/0	درصد شن
	0/081	909/0	نیترژن کل		0/057	641/0	درصد رس
				0/104	07/01	802/0	نماتد

جدول 7- مقایسه میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در باغات با عملکردهای مختلف

میانگین			شاخص کیفیت خاک
عملکرد بالا	عملکرد متوسط	عملکرد پایین	
0/69 ^a	0/65 ^a	0/57 ^b	TDS
0/62 ^a	0/62 ^a	0/49 ^b	MDS
0/66 ^a	0/64 ^a	0/56 ^b	TDS
0/68 ^a	0/75 ^a	0/50 ^b	MDS
0/49 ^a	0/43 ^b	0/38 ^b	TDS
0/45 ^a	0/44 ^a	0/34 ^b	MDS
0/46 ^a	0/41 ^b	0/39 ^b	TDS
0/35 ^a	0/38 ^a	0/34 ^a	MDS

IQI-LS: شاخص کیفیت تجمعی با نمره‌دهی خطی، IQI-NLS: شاخص کیفیت تجمعی با نمره‌دهی غیرخطی، NQI-LS: شاخص کیفیت نمره با نمره‌دهی خطی و NQI-NLS: شاخص کیفیت نمره با نمره‌دهی غیرخطی (حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد).

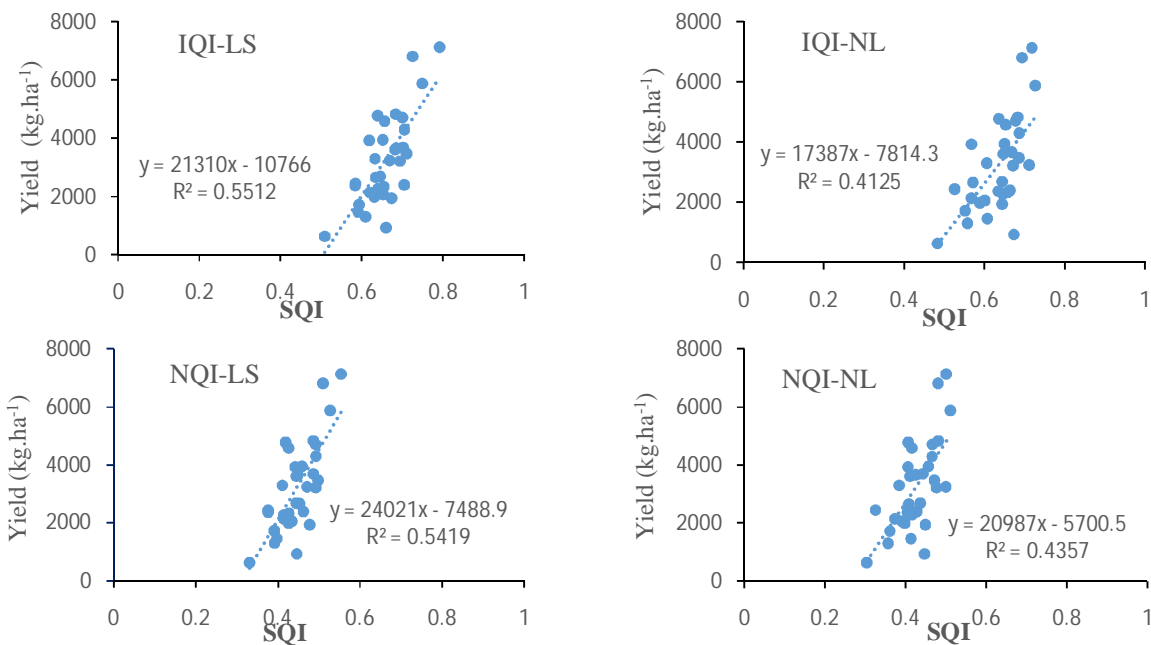
رابطه شاخص‌های کیفیت خاک با عملکرد محصول

در مطالعات انجام شده، ارزیابی روش‌های تعیین کیفیت خاک از طریق ارتباط شاخص کیفیت خاک و عملکرد محصول کمتر مورد توجه قرار گرفته است (لیو و همکاران، 2014؛ واسو و همکاران، 2016). به منظور ارزیابی دقت شاخص‌های کیفیت خاک، همبستگی هر یک از شاخص‌های کیفیت خاک با عملکرد چای بررسی شد (شکل‌های 2 و 3). همان‌طور که مشاهده می‌شود همبستگی مثبتی بین شاخص‌های کیفیت خاک و میزان عملکرد محصول برای تمامی روش‌ها و هر دو مجموعه MDS و TDS وجود دارد. شاخص‌های IQI-NLS و NQI-NLS برای هر دو مجموعه TDS (به ترتیب $R^2=0/41$ و $R^2=0/43$) و MDS (به ترتیب $R^2=0/30$ و $R^2=0/18$) همبستگی ضعیف‌تری را نسبت به سایر شاخص‌ها نشان می‌دهند. به عبارتی شاخص‌های کیفیت خاک که با استفاده از این دو روش محاسبه شده‌اند، به

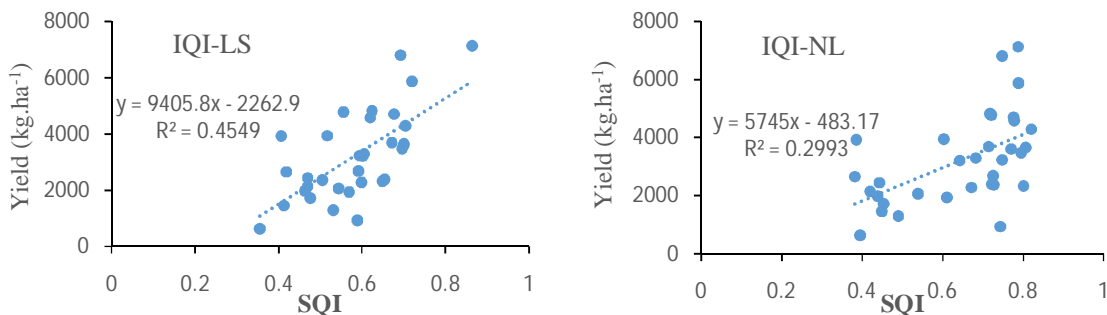
خوبی نتوانسته‌اند تغییرات عملکرد در ارتباط با کیفیت خاک را توجیه نمایند. بر اساس نتایج فوق می‌توان اظهار داشت که در مطالعه حاضر دقت روش‌های نمره‌دهی خطی (IQI-LS و NQI-LS) بیشتر از روش‌های غیرخطی (IQI-NLS و NQI-NLS) می‌باشد. گوا و همکاران (2017) نیز در مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت خاک برای اراضی کشاورزی در دو ایالت چین نتایج مشابهی در مورد برتری روش‌های خطی بر غیر خطی را گزارش کردند. آنان علت احتمالی این مسئله را این‌گونه بیان کردند که روش‌های غیرخطی نیاز به اطلاعات کمتری در مورد سیستم‌های خاک و گیاه در منطقه مورد مطالعه نسبت به روش‌های خطی دارند؛ اما با این حال امکان افزایش دقت روش‌های غیرخطی از طریق اصلاح پارامترهای مدل وجود دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که روش NQI-NLS اختلافات عددی کوچکتری بین بالاترین و کمترین مقدار شاخص کیفیت خاک را نسبت به سایر روش‌ها در باغات با عملکرد متفاوت نشان می‌-

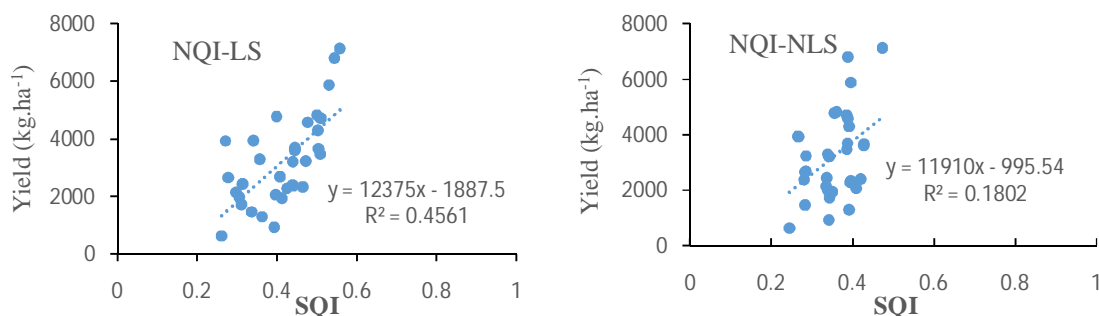
صرف‌نظر کرد. به این ترتیب از نظر دقت و قابلیت استفاده، شاخص‌های IQI-LS و NQI-LS بر سایر روش‌ها برتری دارند. در مقابل برخی محققین معتقدند که استفاده از روش‌های غیرخطی برای تعیین کیفیت خاک اگرچه دشوار است اما می‌تواند کارکردهای سیستم را بهتر از روش خطی نشان دهد (عسکری و هولدن، 2014؛ رئیسی و کبیری، 2016).

دهد (جدول 7). با توجه به این که یکی از اهداف اصلی درجه‌بندی کیفیت خاک، ارائه مشاوره به کشاورزان است که آیا مشکلات مربوط به کیفیت خاک در باغات و مزارع آنان وجود دارد و چگونه می‌توانند کیفیت خاک را بهبود بخشند؟ اگر دامنه تغییرات شاخص‌های کیفیت خاک کم باشد، شناسایی و طبقه‌بندی کیفیت خاک دشوار است (گوا و همکاران، 2017)؛ بنابراین، قابلیت استفاده روش NQI-NLS محدودتر از سایر روش‌ها است و می‌توان از آن



شکل 2- ارتباط بین شاخص‌های کیفیت خاک در مجموعه TDS و عملکرد چای





شکل 3- ارتباط بین شاخص‌های کیفیت خاک در مجموعه MDS و عملکرد چای

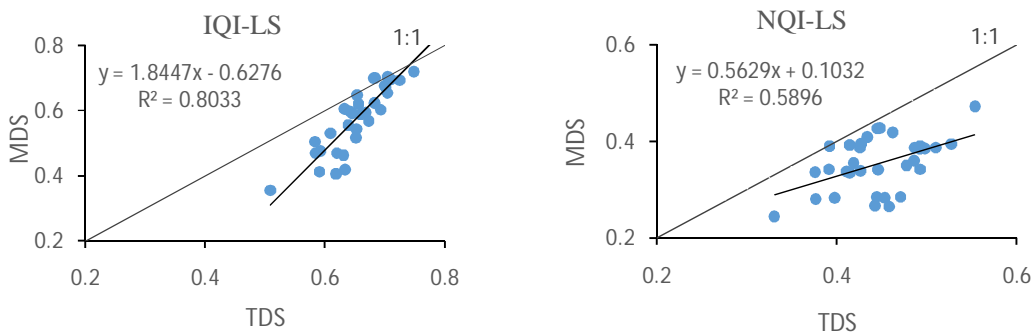
رابطه بین شاخص‌های کیفیت خاک در مجموعه کل

داده‌ها و مجموعه داده‌های حداقل

به طور معمول استفاده از مجموعه کل داده‌ها (TDS) منجر به بهبود ارزیابی جامع کیفیت خاک و افزایش دقت ارزیابی‌ها می‌شود. اما تجزیه و تحلیل‌های پیچیده با توجه به تعداد زیادی از ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک، پرمهت، پرهزینه و وقت‌گیر هستند. بنابراین در نظر گرفتن تعداد محدودتری از نشانگرهای خاک که نماینده بهتری از کیفیت خاک باشند، به عنوان MDS توصیه شده است (ایماز و همکاران، 2010؛ نگو-مگبا و همکاران، 2015). با توجه به اینکه در مطالعه حاضر ارزیابی روش‌های IQI-LS و NQI-LS نشان داد که این روش‌ها دقیق‌تر و کاربردی‌تر هستند، بنابراین قابلیت استفاده این دو روش بر اساس مجموعه داده‌های حداقل (MDS) به جای مجموعه کل داده‌ها (TDS) مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل 4). همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب تبیین بین دو مجموعه TDS و MDS برای شاخص IQI-LS ($R^2 = 0/80$) بیشتر از شاخص NQI-LS ($R^2 = 0/59$) است. دلیل این موضوع می‌تواند این باشد که برخلاف IQI که بر وزن ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک تأکید دارد، NQI تأثیر عوامل محدودکننده را برجسته می‌کند و از حداقل نمره ویژگی برای محاسبه شاخص کیفیت خاک

استفاده می‌کند (کی و همکاران، 2009). از آنجایی که مجموعه حداقل داده‌ها از مجموعه داده‌های کل انتخاب می‌شوند؛ ممکن است در برخی از نقاط نمونه‌برداری، ویژگی‌های محدودکننده، از مجموعه MDS حذف شده باشد و دقت ارزیابی شاخص NQI-LS کاهش یابد.

به منظور مقایسه روش‌های IQI-LS و NQI-LS برای برآورد شاخص کیفیت خاک، چنانچه برآورد حاصل از مجموعه داده‌های حداقل، مشابه برآورد حاصل از مجموعه کل داده‌ها باشد، می‌توان استفاده از مجموعه داده‌های حداقل به جای مجموعه کل داده‌ها را توصیه کرد. بر همین اساس شکل 4 نشان می‌دهد در هر دو روش IQI-LS و NQI-LS مجموعه داده‌های حداقل نمی‌توانند برآورد درست و قابل قبولی از کیفیت خاک باغات چای داشته باشند. رحمانی‌پور و همکاران (2014) و کی و همکاران (2009) با مقایسه دو شاخص IQI و NQI به ترتیب در شمال ایران و جنوب شرقی چین گزارش کردند که روش IQI برای ارزیابی کیفیت خاک از کارایی بیش‌تری برخوردار است. همچنین برتری مدل IQI-LS بر اساس مجموعه MDS، توسط گوا و همکاران (2017) گزارش شد و به‌کارگیری آن را در مقیاس‌های بزرگ‌تر پیشنهاد کردند.



شکل 4- ارتباط بین شاخص‌های کیفیت خاک در مجموعه TDS و MDS

نتیجه‌گیری کلی

معنی‌داری با یکدیگر نشان داشتند. ارزیابی کیفیت خاک اراضی چایکاری نشان داد که روش‌های نمره‌دهی خطی (IQI-NLS و NQI-LS) بر روش‌های غیرخطی (IQI-NLS و NQI-NLS) برتری دارند. به عبارتی شاخص‌های IQI-LS و NQI-LS به خوبی توانسته‌اند تغییرات عملکرد در ارتباط با کیفیت خاک را توجیه نماید. به‌طور کلی همبستگی معنی‌دار شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد چای مؤید این مطلب است که شاخص‌های کیفیت خاک می‌توانند به‌عنوان ابزاری مؤثر و عملی برای ارزیابی روابط متقابل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و تولید محصول استفاده شوند. به عبارتی یک شاخص کیفیت خاک که به درستی تعیین شده باشد، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای هدایت یک هدف استراتژیک و منطقه‌ای به منظور دستیابی به تولید پایدار فراهم آورد.

ارزیابی کیفیت خاک و ایجاد تعادل بین میزان تولید محصول و بهبود کیفیت منابع طبیعی یکی از مسائل مورد توجه در مدیریت پایدار خاک‌ها به‌منظور تولید بهینه کشاورزی و حفظ منابع طبیعی است. در این راستا توسعه یک شاخص کیفیت خاک مناسب برای انواع اراضی کشاورزی لازم و ضروری می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که شش ویژگی پتانسیم قابل جذب، کربن آلی، pH، فسفر قابل جذب، روی قابل جذب و تعداد نماتد بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک باغات چای مورد مطالعه داشتند. به جز شاخص‌های کیفیت خاک IQI-NLS و NQI-NLS برای مجموعه MDS، در مورد سایر شاخص‌ها، بیش‌ترین و کمترین شاخص کیفیت خاک به ترتیب مربوط به باغ با عملکرد بالا و پایین بود که از لحاظ آماری اختلاف

فهرست منابع:

1. همتی، س.، یغمائیان مهابادی، ن.، فرهنگی، م. و صبوری، ع. 1398. ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک و ارتباط آن با عملکرد برنج در شالیزارهای مرکزی استان گیلان. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، 9 (1): 135-150.
2. سراجی، ع.، پورجم، ا.، تنهامعافی، ز. و صفایی، ن. 1386. مطالعه زیست‌شناسی و دینامیک جمعیت نماتد مولد زخم ریشه چای (*Pratylenchus loosi*) در ایران. فصلنامه علمی - پژوهشی بیماری‌های گیاهی، 43 (1): 98-115.
3. نوری، ن.، رستمی نیا، م.، کشاورزی، ع. و رحمانی، ا. (1398). 'ارزیابی کمی و پهنه‌بندی پراکنش مکانی شاخص کیفیت خاک در بخشی از اراضی خشک و نیمه‌خشک غرب ایران (مطالعه موردی: منطقه کن سرخ، استان ایلام). مجله تحقیقات آب و خاک ایران، 50 (7): 1719-1701.
4. Amirinejad, A. A., Kamble, K., Aggarwal, P., Chakraborty, D., Pradhan, S., & Mittal, R. B. 2011. Assessment and mapping of spatial variation of soil physical health in a farm. *Geoderma*, 160(3-4), 292-303.
5. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In: A.L. Page and R.H. Mille (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Micro Biological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp. 831-871.
6. Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Mitchell, J. P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems & environment*, 90(1), 25-45.
7. Armenise, E., Redmile-Gordon, M. A., Stellacci, A. M., Ciccicarese, A., & Rubino, P. 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 130, 91-98.
8. Askari, M. S., & Holden, N. M. 2014. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma*, 230, 131-142.
9. Bhaduri, D., & Purakayastha, T. J. 2014. Long-term tillage, water and nutrient management in rice-wheat cropping system: Assessment and response of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 144, 83-95.
10. Baruah, N., Medhi, B. K., Borah, N., Baruah, A. M., & Saikia, G. K. 2017. Effect of long term tea cultivation in soil quality in deep, fine loamy, well drained soil of Jorhat district,

- Assam. *Journal of Soil and Water Conservation*, 16(4), 347-355.
11. Bi, C. J., Chen, Z. L., Wang, J. and Zhou, D. 2013. Quantitative assessment of soil health under different planting patterns and soil types. *Pedosphere*, 23(2), 194-204
 12. Biswas, S., Hazra, G. C., Purakayastha, T. J., Saha, N., Mitran, T., Roy, S. S. & Mandal, B. 2017. Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. *Geoderma*, 292, 34-48.
 13. Blake, G. R., & Hartge, K. H. 1986. Bulk density. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp. 363-375.
 14. Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Andrews, S. S., & Karlen, D. L. 2004. Watershed-scale assessment of soil quality in the loess hills of southwest Iowa. *Soil and Tillage Research*, 78(2), 237-247.
 15. Cao, Z. H., & Zhou, J. M. 2008. *Soil quality of China*. Science Press, Beijing.
 16. Carter, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy journal*, 94(1), 38-47.
 17. Cherubin, M.R., Karlen, D.L., Cerri, C.E.P., Franco, A.L.C., Tormena, C.A., Davies, C.A., & Cerri, C.C. 2016. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. *PLoS ONE* 11:3. 1-26.
 18. Doran, J. W. & Parkin, T. B. 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*. Soil Science Society of America, Inc., Special Publication, Madison, WI, USA, pp. 3-21.
 19. Fu, W., Tunney, H., & Zhang, C. 2010. Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. *Soil and Tillage Research*, 106(2), 185-193.
 20. Gee, G. W., & Bauder, J. M. 1986. Particle-size analysis. In: A., Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 383-411.
 21. Gholoubi, A., Emami, H. & Alizadeh, A., 2018. Soil quality change 50 years after forestland conversion to tea farming. *Soil Research*, 56(5), 509-517.
 22. Glover, J. D., Reganold, J. P., & Andrews, P. K. 2000. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agriculture, ecosystems & environment*, 80(1-2), 29-45.
 23. Govaerts, B., Sayre, K. D., & Deckers, J. 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.
 24. Guo, L., Sun, Z., Ouyang, Z., Han, D., & Li, F. 2017. A comparison of soil quality evaluation methods for Fluvisol along the lower Yellow River. *Catena*, 152, 135-143.
 25. Hesse, P. R. 1971. *A text book of soil chemical analysis*. John Murray. London. 556 p.
 26. Imaz, I., Rubio-Martínez, M., García-Fernández, L., García, F., Ruiz-Molina, D., Hernando, J. & Maspoch, D. 2010. Coordination polymer particles as potential drug delivery systems. *Chemical communications*, 46(26), 4737-4739.
 27. Jenkins, W. R. B. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant disease reporter*, 48(9).
 28. Kaiser, H. F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and psychological measurement*, 20(1), 141-151.
 29. Kemper, W. D. & Rosenau, R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: A., Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 425-442.

30. Knudsen, D., Peterson, G. A. & Pratt, P. F. 1982. Lithium, sodium and potassium. In: A.L. Page (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2.* America Society of Agronomy. Madison, WI. pp. 225-246.
31. Li, P., Shi, K., Wang, Y., Kong, D., Liu, T., Jiao, J. & Hu, F. 2019. Soil quality assessment of wheat-maize cropping system with different productivities in China: Establishing a minimum data set. *Soil and Tillage Research*, 190, 31-40.
32. Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428.
33. Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., Li, S., He, P., & Liang, G. 2014. Soil quality assessment of Albic soils with different productivities for eastern China. *Soil and Tillage Research*, 140, 74-81.
34. Masto, R. E., Chhonkar, P. K., Singh, D., & Patra, A. K. 2007. Soil quality response to long-term nutrient and crop management on a semi-arid Inceptisol. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118(1-4), 130-142.
35. Mukherjee, A., & Lal, R. 2014. Comparison of soil quality index using three methods. *PLOS ONE*, 9(8), e105981.
36. Nabiollahi, K., Golmohamadi, F., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., & Davari, M. 2018. 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.
37. Ngo-Mbogba, M., Yemefack, M., & Nyeck, B. 2015. Assessing soil quality under different land cover types within shifting agriculture in South Cameroon. *Soil and Tillage Research*, 150, 124-131.
38. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean, L. A. 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. U.S. Department of Agriculture: Washington, D.C., USDA Circ. 939.
39. Qi, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., & Gu, Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149(3-4), 325-334.
40. Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H. A., Fereidouni, Z., & Bandarabadi, S. R. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indicators*, 40, 19-26.
41. Raiesi, F., & Kabiri, V. 2016. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Ecological Indicators*, 71, 198-207.
42. Ray, S. K., & Mukhopadhyay, D. 2012. A study on physicochemical properties of soils under different tea growing regions of West Bengal (India). *International Journal of Agriculture Sciences*, 4(8), 325.
43. Ruan, J., Ma, L., & Shi, Y. 2013. Potassium management in tea plantations: Its uptake by field plants, status in soils, and efficacy on yields and quality of teas in China. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(3), 450-459.
44. Shukla, M. K., Lal, R., & Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 194-204.
45. Svoray, T., Hassid, I., Atkinson, P. M., Moebius-Clune, B. N., & van Es, H. M. 2015. Mapping soil health over large agriculturally important areas. *Soil Science Society of America Journal*, 79(5), 1420-1434.
46. Swanepoel, P. A., Du Preez, C. C., Botha, P. R., Snyman, H. A., & Habig, J. 2014. Soil quality characteristics of kikuyu-ryegrass pastures in South Africa. *Geoderma*, 232, 589-599.
47. Torbert, H. A., Krueger, E., & Kurtener, D. 2008. Soil quality assessment using fuzzy

- modeling. *International Agrophysics*, 22(4), 365-370.
48. Vasu, D., Singh, S. K., Ray, S. K., Duraisami, V. P., Tiwary, P., Chandran, P., & Anantwar, S. G. 2016. Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, 282, 70-79.
49. Walkley, A., & Black, I. A. 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(1), 29-38.
50. Zhang, X. Y., Yue-Yu, S. U. I., Zhang, X. D., Kai, M. E. N. G., & Herbert, S. J. 2007. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. *Pedosphere*, 17(1), 19-29.

Comparison of Soil Quality Evaluation Methods and Their Relationships with Tea Yield in West Guilan Province

N. Yaghmaeian Mahabadi¹, H. Fayyaz, A. Sabouri, and A. Shirinfekr

Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran; E-mail: yaghmaeian_na@guilan.ac.ir

MSc., Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran; E-mail: haura.fayaz7264@gmail.com

Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran; E-mail: a.sabourie@guilan.ac.ir

Agronomy & Technology Department, Tea Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Lahijan, Iran; Email: shirinfekr@gmail.com

Received: September, 2020 and Accepted: March, 2021

Abstract

Developing an appropriate methodology to evaluate soil quality is urgent and has great implications in sustainable agricultural production. This study was carried out with the aim of determining the minimum data set (MDS) for soil quality evaluation and the comparison of soil quality evaluation methods in tea cultivation with different productivities in west Guilan province. Sixty-six soil samples were collected from 0 to 30 cm depth. The green tea leaves were harvested at a 2 m² plot at each site. In this research, using the principal component analysis (PCA) method, among 15 physical, chemical and biological soil indicators as total data set (TDS), available potassium, organic carbon, pH, available phosphorus, available zinc and nematode were determined as the MDS. Then, the soil quality of tea cultivation with different productivities was evaluated by Integrated Quality Index (IQI) and Nemoro Quality Index (NQI) using two linear and non-linear scoring methods (LS and NLS) and two soil indicator selection approaches, a Total Data Set (TDS) and a Minimum Data Set (MDS). The results showed that all mean soil quality indices of the high productivity tea cultivation except IQI-NLS_{MDS} and NQI-NLS_{MDS} were significantly higher than low productivity tea cultivation. It was found that linear scoring methods are superior to non-linear. So that, the correlations between soil quality indices and crop yields for the IQI-LS and NQI-LS methods were stronger than in the other methods in both TDS ($R^2=0.55$ and 0.54 , respectively) and MDS ($R^2=0.45$ and 0.46 , respectively). The correlation between TDS and MDS evaluated by the IQI-LS ($R^2=0.80$) were higher than that by NQI-LS ($R^2=0.59$).

Keywords: Integrated quality index, Nemoro quality index, Scoring methods, PCA.

¹ Corresponding author: Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht.