درجه‌بندی نمایه کیفیت حاصلخیزی خاک برمبنای عملکرد برنج در شالیزارهای بخش کوچصفهان استان گیلان

شهریار بابازاده جعفری، محمد فیضیان[1] و ناصر دوات‌گر

دانشجوی دکتری دانشگاه لرستان؛ **babazadeh50@yahoo.com**

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان؛ **feizian.m@lu.ac.ir**

دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **n.davatgar@areeo.ac.ir**

دریافت: **1400/2/8** و پذیرش: **1400/9/29**

چکیده

برنج (*Oryza sativa L.*) یکی از محصولات زراعی و راهبردی کشور است، یکی از عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد برنج، شناخت وضعیت حاصلخیزی و کیفیت خاک‌های شالیزاری است. این مطالعه با هدف تعیین کیفیت حاصلخیزی خاک و شناسایی عوامل محدود کننده آن در اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان انجام شد. بدین منظور، پیش از کشت برنج، تعداد 130 نمونه خاک مرکب سطحی با توزیع جغرافیایی یکنواخت برای اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت خاک تهیه شد و سپس عملکرد برنج در 70 موقعیت مکانی اندازه‌گیری شد. از تجزیه به مؤلفه اصلی و منطق فازی به ترتیب برای تهیه مجموعه حداقل داده‌های مؤثر و رتبه بندی کیفی ویژگی خاک استفاده شد. پس از تعیین شاخص کیفیت خاک با استفاده از الگوریتم تلفیقی ارتباط آن با عملکرد برنج به روش‌های آماری(رگرسیون) و آمار مکانی بررسی شد. ویژگی‌های نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و آهن قابل استفاده، درصد رس و سیلت و گنجایش تبادل کاتیونی به عنوان مجموعه حداقل داده‌های مؤثر، 72% از تغییرات خاک‌های مطالعه شده را توصیف نمودند. اراضی شالیزاری واقع در نیمه غربی کوچصفهان محدودیت بیشتری در نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده خاک داشتند. این خاک‌ها همچنین کیفیت حاصلخیزی کمتری داشتند. بخشی از اراضی واقع در شمال و شمال شرقی ناحیه مطالعه شده با شاخص کیفیت خاک بیشتر از 0/95 در گروه خاک‌های خیلی حاصلخیز قرار داشتند. در این خاک‌ها عملکرد برنج نیز نسبت به دیگر مناطق بیشتر بود. کمترین میزان عملکرد برنج رقم هاشمی به مقدار3500 کیلوگرم در هکتار در نیمه جنوبی و بالاترین عملکرد 5272 کیلوگرم در هکتار در نیمه شرقی ناحیه مطالعه شده بدست آمد. با توجه به کمبود نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده به ترتیب در 36% و 50% از اراضی مطالعه شده، لازم است توصیه کودی این عناصر غذایی به صورت ویژه مکان و متناسب با کیفیت حاصلخیزی خاک انجام شود.

واژه‌های کلیدی: مجموعه حداقل داده‌ها، نیتروژن کل خاک، فسفر قابل استفاده، نمایه کیفیت خاک

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: لرستان، خرم آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

مقدمه

برنج از جمله محصولات زراعی است که در سبد غذایی خانوار ایرانی نقش مهمی دارد (حیدری کمال آبادی و همکاران، 1395). مصرف سرانه برنج در ایران 38 کیلوگرم است (علی نیا و همکاران، 1394). استان گیلان 26 درصد تولید و 24/6 درصد سطح زیر کشت شلتوک کشور را دارا است (آمارنامه کشاورزی، 1398). در این استان هر ساله بیش از 200 هزار بهره‌بردار در سطحی بیش از 238 هزار هکتار از اراضی شالیزاری، برنج کشت می‌کنند (بی‌نام، 1398). بهبود بهره‌وری اراضی شالیزاری می‌تواند ابزار مهمی برای افزایش تولید و تأمین امنیت غذایی باشد. یکی از ابزارهای مدیریت بهینه اراضی، آگاهی از کیفیت خاک است. مفهوم کیفیت خاک در برگیرنده ارزیابی ویژگی‌ها و فرآیندهای خاک است، زیرا آنها به توانایی عملکرد خاک به عنوان مؤلفه‌ای از یک زیست بوم سالم مربوط می‌شوند (بونمان و همکاران، 2018). ارزیابی کیفیت خاک در مسایل مربوط به تولید پایدار و امنیت غذایی، پایداری محیطی و نیز کیفیت و سلامت تغذیه انسان کمک می‌کند. شناخت کیفیت خاک در سامانه‌های مختلف مدیریتی با استفاده از شاخص کیفیت خاک (SQI)[1] امکان پذیر است.

شاخص کیفیت خاک (SQI) به بهره‌برداران کمک می‌کند تا اثرات مثبت و منفی فعالیت‌های مدیریتی بر تولید محصول را ارزیابی کنند (بهادری و پوراکایاستا، 2014). کیفیت خاک، گنجایش عملکردی یک خاک است (دوران و پارکین، 1994 ؛ کارلن و همکاران، 1994؛ شوکلا و همکاران، 2006). ارزیابی مناسب کیفیت خاک نیاز به اندازه‌گیری تعداد زیادی از ویژگی‌ها دارد (بولودا و همکاران، 2014). کیفیت خاک را نمی‌توان مستقیم اندازه‌گیری کرد زیرا کارکردهای ویژه آن که توسط زیست بوم‌ها ارائه می‌شود، متغیر بوده و به ویژگی‌ها و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بی‌شمار خاک متکی هستند که می‌توانند در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت باشند (دوران،2002؛ نانی پیری و همکاران، 2003؛ ون دیپنینگن و همکاران، 2006؛ اشپیگل و همکاران، 2015). بدین ترتیب انتخاب یک مجموعه پیش فرض از ویژگی‌های خاک به عنوان شاخص‌های کیفیت خاک صحیح نیست، زیرا این مجموعه در بین نظام‌های کشاورزی و بسته به اهداف مدیریتی متفاوت هستند.

تعیین شاخص کیفیت خاک (SQI) در سه گام انجام می‌شود: 1) انتخاب روش‌هایی برای تهیه یک مجموعه حداقلی از داده‌ها[2] (MDS)، 2) تبدیل ویژگی-های کمی خاک به ویژگی (متغیر) کیفی (از طریق نمره-دهی) و تعیین وزن هر یک از آنها و 3) تلفیق ویژگی کیفی در یک شاخص کیفیت خاک (آندریوس و همکاران، 2002).

دلی و همکاران (2018) در بررسی اثر ویژگی‌های شیمیایی اراضی شالیزاری منطقه کینیکی ژاپن بر عملکرد برنج گزارش کردند که در ناحیه مطالعه شده از تعداد نه ویژگی بررسی شده، تنها سیلیسیم، پتاسیم قابل استفاده و نیتروژن (به شکل آمونیوم) تأثیر مثبتی بر عملکرد برنج داشت. آنها همچنین اعلام کردند عملکرد تحت تأثیر مدیریت کشت و نوع رقم برنج نیز قرار دارد.

دارسو وینو و همکاران (2017) در مطالعه ارزیابی شاخص کیفیت خاک‌های شالیزاری اندونزی گزارش کردند، از بین کل ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های مطالعه شده ویژگی‌های مؤثر در شاخص کیفیت خاک اراضی شالیزاری عبارت از کربن آلی، چگالی ظاهری، پتاسیم قابل استفاده و نیتروژن کل بودند.

لیو و همکاران (2015) در پژوهشی در جنوب چین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک‌های شالیزار را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که بین شاخص کیفیت خاک و مقدار عملکرد برنج همبستگی مثبت و معنی‌دار (R^2=0/20) وجود دارد.

1. Soil Quality Index

2. Minimum Data set

ارزیابی‌های صورت گرفته نشان داد که اراضی شالیزاری استان گیلان دارای محدودیت حاصلخیزی خاک هستند (دواتگر و همکاران،1394). ارزیابی کیفیت حاصلخیزی اراضی شالیزاری استان گیلان بیشتر در دشت فومنات واقع در غرب استان انجام شد که نتایج نشان دهنده وجود تغییرات مکانی در عناصر غذایی پرمصرف و غیر یکنواختی در کیفیت حاصلخیزی خاک بود (دلسوز خاکی و همکاران، 2017؛ دواتگر و همکاران، 1398). شهرستان رشت که بخش کوچصفهان در آن قرار دارد، دارای بیشترین سطح کشت برنج در استان گیلان است. یکی از تنگناها و مشکلات توسعه در اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان پایین بودن مقدار عملکرد برنج است (اسدی پرور و همکاران، 1393). مقدار توصیه عمومی کودی برای گیاه برنج (رقم هاشمی) در استان گیلان عبارت از مصرف 60 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره، 45 کیلوگرم پنتا اکسید فسفر از منبع سوپر فسفات و 100 کیلوگرم اکسید پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم است (پاداشت دهکائی و همکاران، 1394).

مصرف این مقدار ثابت و توزیع یکنواخت کود سبب می‌شود که در مناطق دارای حد کفایت عناصر غذایی، بیش بود عناصر غذایی، افزایش هزینه تولید و آلودگی‌های زیست محیطی مطرح شود؛ اما در مناطق دچار کمبود عناصر غذایی، کود مصرف شده جبران نیازمندی عناصر غذایی گیاه را ننموده و کمبود عنصر غذایی در خاک همچنان باقی می‌ماند. این بدین معنی است که توصیه‌های موجود، تغییرپذیری حاصلخیزی خاک و تنوع مزارع را از نظر وضعیت عرضه عناصر غذایی به گیاه و نیز پاسخ محصول در نظر نمی‌گیرند. بنابراین تعیین شاخص کیفیت حاصلخیزی و بهره‌وری خاک می‌تواند راهگشا باشد. این مطالعه با هدف: 1) ارزیابی کیفیت حاصلخیزی اراضی شالیزاری، 2) تعیین ویژگی‌های موثر بر آن و 3) بررسی تأثیر شاخص کیفیت خاک بر عملکرد برنج در اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان شهرستان رشت انجام شد.

مواد و روش ها

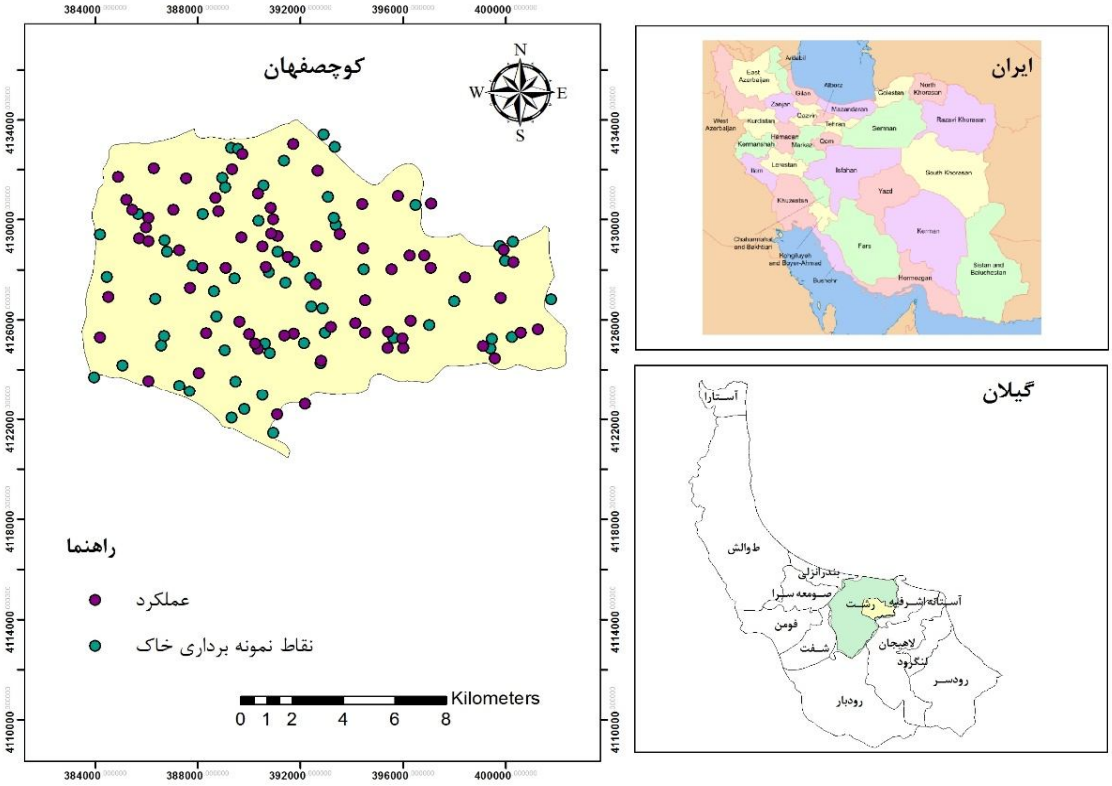
موقعیت منطقه

منطقه مطالعه شده شامل اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان از توابع شهرستان رشت به مساحت 11320 هکتار در مختصات جغرافیایی ′41 °49 تا ′53 °49 شرقی و ′13 °37 تا ′20 °37 شمالی است. این ناحیه دارای خاک‌های آبرفتی با شیب کمتر از 1 درصد و اقلیم منطقه بر پایه روش‌های طبقه بندی دومارتن و آمبرژه، بسیار مرطوب است. هم‌چنین طبق نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (بنایی، 1377) خاک‌های منطقه مطالعه شده دارای رژیم های رطوبتی یودیک و رژیم حرارتی مزیک و بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی، در رده‌های انتی سول، اینسپتی سول و آلفی سول طبقه‌بندی می‌شوند. بلندترین و پست‌ترین نقاط آن به ترتیب دارای ارتفاع 22/8 و 21/24- متر از سطح دریا است. میانگین درجه حرارت سالیانه، 15/8 درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالیانه، 1359 میلی‌متر می‌باشد و بیشترین کاربری اراضی منطقه، کشت محصول برنج است.

نمونه‌برداری خاک و تجزیه آزمایشگاهی

تعداد 130 نمونه خاک سطحی مرکب اراضی شالیزاری از عمق 30-0 سانتی متر با توزیع جغرافیایی یکنواخت پس از ثبت موقعیت جغرافیایی با دستگاه GPS نمونه‌برداری شد. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده و نقاط نمونه برداری در شکل یک نشان داده شده است. همچنین پرسش‌نامه‌ای در برگیرنده اطلاعات زراعی، مدیریت کود و آب برای هر یک از کشاورزان تهیه و تکمیل شد. نمونه‌های خاک، هوا خشک شده و پس از عبور از الک دو میلی‌متری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک (شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتر بایکاس، واکنش خاک (pH) در گل اشباع با الکترود شیشه‌ای، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع به روش هدایت سنجی، کربن آلی (OC) به روش اکسیداسیون تر، گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) به روش جایگزینی با استات سدیم در pH=7، فسفر قابل استفاده

(Ava.P) به روش اولسن، نیتروژن کل (TN) بر اساس روش کجلدال، پتاسیم قابل استفاده (Ava.K) به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم، عناصر کم‌مصرف قابل استفاده: روی (Zn)، آهن (Fe)، منگنز (Mn) و مس (Cu) به روش عصاره‌گیری با DTPA اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، محصول برنج به هنگام رسیدگی فیزیولوژی گیاه در 70 موقعیت جغرافیایی از سطحی به ابعاد 1 متر× 1 متر از مزرعه برداشت و پس از شمارش تعداد بوته‌ها و جداسازی کاه از خوشه، عملکرد دانه پس از توزین و تصحیح وزن در رطوبت 14 درصد محاسبه شد.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی بخش کوچصفهان و نقاط نمونه برداری خاک و عملکرد برنج در اراضی شالیزاری مطالعه شده

تجزیه و تحلیل‌های آماری

آمار توصیفی شامل آماره‌های میانگین، میانه، انحراف معیار، واریانس، تقارن (چولگی)، شکل (کشیدگی) و ضریب تغییرات برای پی بردن به ویژگی‌های آماری جامعه متغیرهای مورد مطالعه محاسبه شدند. بررسی توزیع فراوانی نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام شد. داده‌هایی که دارای توزیع فراوانی نرمال نبودند با استفاده تبدیل لگاریتمی یا ریشه مربعات به توزیع نرمال تبدیل شدند (وبستر و الیور، 2000). برای انجام تحلیل آمار توصیفی از نرم افزار SPSS (version 16.0) استفاده شد.

ارزیابی کیفیت خاک

شاخص کیفیت خاک (SQI) به روش مجموعه حداقل داده در سه گام تعیین شد (اندروز و همکاران، 2002 و 2003). در گام نخست با استفاده از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی[1] ویژگی‌هایی که نماینده بهتری از

[1] Principle Component Analysis

عوامل موثر بر کیفیت خاک بودند به عنوان مجموعه حداقل داده‌ها (MDS) انتخاب شدند.

این کار با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی(PCA) در نرم افزار SPSS (version 16.0) انجام شد. از آزمون کایسر- مایر- اولکین[1] (KMO) و آزمون کروی بارتلت[2] در انجام PCA برای بررسی تناسب و کفایت داده‌ها استفاده شد. در صورتی که مقدار آزمون KMO بزرگ‌تر از 0/6 و آزمون بارتلت معنی‌دار شوند، انجام PCA سودمند خواهد بود. در این تحلیل، مولفه‌هایی که دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک بوده به عنوان مولفه اصلی (PC) جدا و بر اساس وزن ویژگی‌های خاک در هر عامل و مقدار بار عاملی آنها، مجموعه حداقل داده تعیین شد. در هر مولفه اصلی، ویژگی با بزرگ‌ترین بار عاملی به عنوان نخستین ویژگی انتخاب می‌شود و سپس اگر هر ویژگی دیگری در محدوده ده درصد بیشترین بار عاملی ویژگی نخست قرار گیرد به عنوان ویژگی‌های مهم بعدی در نظر گرفته می‌شود (اندروز و همکاران، 2004). هنگامی که در یک مولفه اصلی بیش از یک ویژگی انتخاب شد میزان ضریب همبستگی بین آنها تعیین کننده است. در هر مولفه فقط متغیرهایی که در دامنه 10 درصد از بزرگ‌ترین بار عاملی قرار دارند در مولفه باقی‌مانده و بقیه حذف می‌شوند (اندروز و همکاران، 2002b). با توجه به این که ویژگی‌های گزینش شده در MDS دارای واحدهای متفاوت بودند، برای حذف اثر واحدها استاندارد شدند. در گام دوم برای تبدیل ویژگی‌های کمی گزینش شده به ویژگی‌های کیفی از توابع عضویت فازی به عنوان توابع نمره‌دهی استفاده شد. با استفاده از توابع فازی موسوم به نمره‌دهی خطی، کمیت ویژگی‌های خاک به اعداد پیوسته در دامنه بین 0/1 تا 1 تبدیل شدند (ولاسکوئز و همکاران، 2007).

$$Y=0.1+\left(\frac{(X-b)}{(a-b)}\right)\times 0.9 \qquad \text{(رابطه 1)}$$

$$Z=1-\left(\frac{(X-b)}{(a-b)}\right)\times 0.9 \qquad \text{(رابطه 2)}$$

که در آن یک نشان دهنده عضویت کامل ویژگی مورد نظر دارای مقادیر مطلوب (بیشتر از سطح بحرانی) و یک دهم مرز نداشتن عضویت در مجموعه (مقدار ویژگی در کمترین) است. Y و Z مقادیر متغیرها بعد از تبدیل داده‌ها، X مقادیر داده‌های اولیه و b و a به ترتیب حد بحرانی پایین و بالا را در هر یک از متغیرها نشان می‌دهند. بر پایه بررسی منابع انجام شده به غیر از پتاسیم قابل استفاده (کاووسی و همکاران 1385) برای دیگر ویژگی‌های مجموعه MDS سطح بحرانی در اراضی شالیزاری کشور تعیین نشده است. از این رو در مطالعه حاضر برای سطوح بحرانی بالا و پایین متغیرها با استفاده از سطوح پیشنهادی منابع بین المللی (دابرمن و ابرتور، 1997و دابرمن و فیرهوست، 2000) و نظرات کارشناسی (دوات‌گر و همکاران، 1398 و ملکوتی و کاوسی، 1383) استفاده شد. از رابطه یک برای تابع تبدیل خطی "بیشتر بهتر است" ، از رابطه دو برای تابع تبدیل خطی "کمتر بهتر است" و برای حالت " بهینه بهتر است" از ترکیب دو رابطه یک و دو استفاده شد (تس فان جن، 2014).

در گام سوم پس از تعیین تابع عضویت ویژگی‌های گزینش شده در مجموعه حداقل داده، سرانجام شاخص کیفیت خاک با استفاده از رابطه زیر تعیین شد (سان و همکاران، 2003):

(رابطه 3)

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

که در آن SQI شاخص کیفیت خاک، Wi وزن هر یک از ویژگی‌ها، Ni امتیاز هر یک از ویژگی‌های مؤثر در کیفیت خاک و n تعداد ویژگی‌های مجموعه حداقل داده است. برای بدست آوردن وزن (Wi) هر ویژگی واقع در MDS از تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده شد و مقدار واریانس هر مولفه اصلی (PC_i) به مجموع کل واریانس همه مولفه‌های اصلی که دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک بودند تقسیم شد. خارج قسمت آن به عنوان وزن خاص به هر یک از ویژگی‌های زیر مجموعه هر مولفه اختصاص داده شد (سان و همکاران، 2003).

---

1. Kaiser Criterion
2. Bartlett's test

محاسبات مربوط به توابع فازی با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

آمار مکانی

پیش از استفاده از روش درون‌یابی زمین آماری، بررسی توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف صورت گرفت. داده‌ای که دارای توزیع نرمال نبود، با تبدیل‌های مناسب به توزیع نرمال تبدیل شد. برای تجزیه و تحلیل ساختار متغیرهای ناحیه‌ای مطالعه شده از نیم تغییرنما استفاده شد. تغییرنما در حقیقت سنجش‌گر میانگین عدم شباهت داده‌ها در دو موقعیت مکانی است (یانگ و همکاران، 2005). وبستر و الیور (2000) کمترین نمونه نیازمند برای بدست آوردن یک نیم تغییرنمای پایدار را 100 نمونه ذکر کرده‌اند. در این مطالعه از 130 نمونه خاک استفاده شد. برای محاسبه نیم تغییرنما از رابطه زیر استفاده شد (لوپز-گرانادوس و همکاران، 2002):

(رابطه 4)

$$\hat{\gamma}(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(x_i)-Z(x_i+h)]^2$$

که در آن $\gamma(h)$ نیم واریانس، N(h) تعداد جفت نقاطی است که فاصله آنها از هم به اندازه h است. Z (xi) و Z (xi+h) مقدار متغیر در دو نقطه است که به فاصله h از هم قرار دارند. برای برازش بهترین مدل تئوری (خطی، نمایی و کروی) بر نیم‌تغییرنمای تجربی از مجموع مربعات باقیمانده (RSS) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد (سان و همکاران، 2003). تمام متغیرهای مطالعه شده از مدل‌های دارای سقف (کروی و نمایی) پیروی کردند (نتایج نشان داده نشده است). مدل نیم تغییرنمای دارای سقف، نشان دهنده وجود ساختار مکانی در این متغیرها است و می‌توان از مولفه‌های آن در فرآیند درون‌یابی کریجینگ استفاده کرد. برای ارزیابی صحت پهنه‌بندی متغیرها از آماره‌های میانگین مطلق خطا (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) استفاده شد. ارزیابی ساختار مکانی با استفاده از نرم افزار+GS (نسخه5.1) و پهنه بندی ویژگی‌ها و شاخص‌های کیفی خاک با استفاده از Arc GIS (نسخه10.3.1) انجام شد.

نتایج و بحث

آمار توصیفی

خلاصه آماره‌های توصیفی برای ویژگی‌های خاک شالیزارهای مطالعه شده در جدول یک نشان داده شد. بر اساس آزمون کولموگروف_ اسمیرونوف قابلیت هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، مس قابل استفاده و درصد شن از توزیع غیرنرمال پیروی کردند. برای متغیرهای غیرنرمال با ضریب چولگی بزرگتر از یک (شن، فسفر و مس قابل استفاده) از تبدیل لگاریتمی و متغیرهای با ضریب چولگی بین نیم تا یک (قابلیت هدایت الکتریکی و نیتروژن کل) از ریشه مربعات استفاده شد (وبستر و الیور، 2000).

دامنه غلظت آهن قابل استفاده در اراضی مطالعه شده بین 3 تا 240 و میانگین آن 93 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. آهن به عنوان یکی از عناصر کم مصرف در کشت برنج ضروری است، اما غلظت زیاد آن سبب سمیت، ریزش برگ‌ها و مرگ گیاه برنج می‌شود (بورگس و همکاران، 2001). سطح بحرانی برای آشکار شدن کمبود آهن برای گیاه برنج، 4 تا 5 میلی‌گرم در کیلوگرم و برای سمیت آهن بیشتر از 300 میلی‌گرم در یک لیتر محلول خاک در نظر گرفته شده است (دابرمن و فیرهورست، 2000). دامنه روی قابل استفاده در اراضی مطالعه شده بین 1/7 تا 58/1 و میانگین آن 13 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. سطح بحرانی برای آشکار شدن کمبود روی برای گیاه برنج، 0/8 میلی‌گرم در کیلوگرم است (دابرمن و فیرهورست،2000). کمینه غلظت مس و منگنز قابل استفاده در خاک‌های شالیزاری مطالعه شده به ترتیب 3/6 و 9/9 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که بیشتر از حد بحرانی این دو عنصر به ترتیب 0/2 و 1 میلی‌گرم در کیلوگرم (دابرمن و فیرهورست،2000) است. با توجه به آن که کمینه عناصر کم مصرف (روی، آهن، مس و منگنز) بیشتر از حد بحرانی این عناصر در اراضی شالیزاری است، از

این رو نیازی به مصرف کودهای حاوی این عناصر نخواهد بود. گنجایش تبادل کاتیونی یکی از ویژگی‌های شیمیایی مهم خاک است که در جذب و رهاسازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نقش مؤثری دارد. دامنه گنجایش تبادل کاتیونی در اراضی مطالعه شده بین 17 تا 49 و میانگین آن 36/23 سانتی مول بار در کیلوگرم خاک بود.

دابرمن و ابرتور (1997) نشان دادند که خاک‌هایی که از گنجایش تبادل کاتیونی بیشتر از 20 سانتی مول بر کیلوگرم برخوردار باشند از توانایی بیشتری در نگهداری و عرضه عناصر غذایی برخوردار خواهند بود.

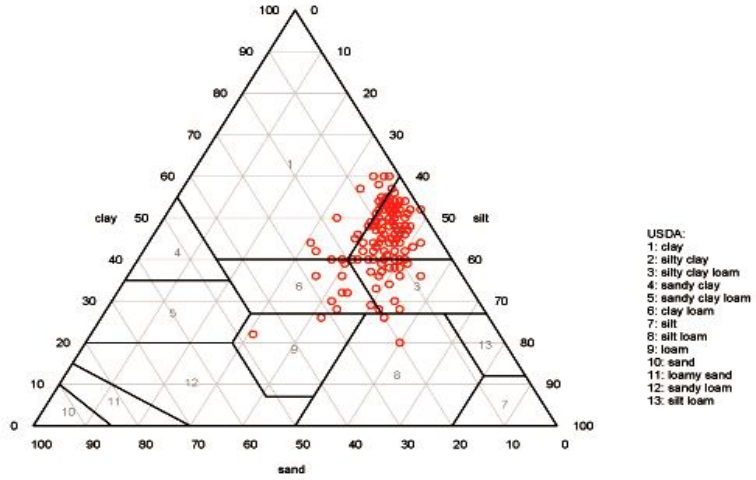
جدول 1- آماره های توصیفی ویژگی‌های خاک

نوع متغیر	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	واریانس	میانه	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات (درصد)
EC	دسی زیمنس برمتر	0/61	2/77	1/41	0/405	0/164	1/35	0/819	1/023	28/7
pH	-	6/33	7/60	7/19	0/187	0/035	7/21	-1/011	3/45	2/6
CEC	سانتی‌مول بار/ کیلوگرم خاک	17	49	36/23	4/65	21/69	36	-0/563	1/58	12/9
OC	درصد	0/74	5/72	2/24	0/909	0/827	1/99	1/133	1/34	40/6
TN	درصد	0/07	0/56	0/218	0/085	0/007	0/2	1/09	1/39	39/3
AP	میلی گرم/کیلوگرم	2/8	41/70	12/44	8/34	69/65	9/65	1/76	2/98	67/0
AK	میلی‌گرم/کیلوگرم	95	390	258	54/84	3007/5	258	-0/027	-0/068	21/2
Fe	میلی‌گرم/کیلوگرم	3	204	93	30/10	906/03	92/1	0/521	2/22	32/3
Cu	میلی‌گرم/کیلوگرم	3/6	25/7	9	2/253	5/07	8/5	4/04	27/89	26/1
Mn	میلی‌گرم/کیلوگرم	9/9	107/7	32	18/55	344/2	26	1/683	3/12	58/6
Zn	میلی‌گرم/کیلوگرم	1/7	58/1	13	9/48	90/05	9/7	1/793	4/13	72/6
Si	درصد	31	60	44	5/02	25/26	44	0/13	0/61	11/4
C	درصد	20	60	44/56	8/19	67/13	45	-0/585	0/161	18/4

EC: قابلیت هدایت الکتریکی، pH: واکنش خاک، CEC: گنجایش تبادل کاتیونی، OC: کربن آلی، TN: نیتروژن کل،Ava.P: فسفرقابل استفاده،Ava.K : پتاسیم قابل استفاده، Fe: آهن قابل استفاده، Cu: مس قابل استفاده، Mn: منگنز قابل استفاده، Zn: روی قابل استفاده، Silt: سیلت، Clay: رس

انطباق توزیع اندازه ذرات معدنی خاک بر مثلث بافت نشان داد که بیشتر خاک‌های شالیزاری ناحیه مطالعه شده به ترتیب در کلاس‌های بافتی نسبتاً سنگین رسی سیلتی و لوم رسی سیلتی قرار دارند (شکل 2). ضریب تغییرات (CV) معیاری از تغییر پذیری نسبی است. ویلدینگ و درس (1983) متغیرهای با CV بیشتر از 35 درصد را در گروه متغیرهای با تغییرات زیاد گروه بندی کردند. هرگاه ضریب تغییرات یک ویژگی از خاک زیاد باشد، نشان دهنده تنوع عوامل تأثیر گذار بر رفتار آن ویژگی است (ترانگمار و همکاران، 1985). روی قابل استفاده دارای بیشترین مقدار ضریب تغییرات (72/6 درصد) و pH (2/6 درصد) کمترین است. مقدار این شاخص برای شن، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، روی و منگنز قابل استفاده بیش از 35 درصد بود. علت CV زیاد در فسفر قابل استفاده و نیتروژن کل می‌تواند ناشی از عوامل مدیریتی مانند تفاوت در مدیریت زراعی کشاورزان، شدت گلخرابی، تاریخ کاشت، مدیریت آبیاری و تفاوت در نوع و مقدار مصرف کودهای دارای نیتروژن و فسفر باشد (دواتگر و همکاران، 1398). نتایج ارزیابی پرسشنامه‌های تهیه شده از کشاورزان نشان داد که مصرف کودهای اوره در دامنه 46 تا 300 با میانگین 200 کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات 30/5 درصد، سوپرفسفات تریپل از 0 تا 167 با میانگین 84 کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات 52 درصد، سولفات پتاسیم از 0 تا 100 با

میانگین 18 کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات 19 درصد قرار داشتند.



شکل 2- توزیع بافت نمونه‌های خاک مطالعه شده در مثلث کلاس بافت طبقه بندی USDA.

دامنه pH خاک در اراضی مطالعه شده بین 6/33 تا 7/60 و میانگین آن 7/19 است. pH مناسب خاک برای برنج بین 6 تا 7 است، چون در این pH قابلیت دسترسی بیشتر عناصر پر مصرف و کم مصرف زیاد است (دابرمن و فیرهورست،2000).

تعیین مجموعه حداقل داده‌ها

ضرایب همبستگی خطی بین ویژگی‌های مطالعه شده در جدول دو نشان داد که از 77 جفت مقایسه، 50 جفت آن در سطح احتمال یک و پنج درصد دارای همبستگی معنی‌دار بودند که این پدیده احتمال موفقیت در کاهش داده‌ها از راه تجزیه به مولفه‌های اصلی را توجیه می‌کند. در این مطالعه اندازه ضریب KMO، 0/76 (بیشتر از 0/6) و مقدار آزمون بارتلت (Bartlett's test) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان می‌دهند تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش داده و متغیرهای مطالعه شده سودمند باشد.

برمبنای تجزیه مؤلفه‌های اصلی چهار مؤلفه دارای مقادیر ویژه بیش از یک بودند (جدول3). این چهار مولفه 72/07 درصد از تغییرات خاک‌ها را توصیف نمودند. در مولفه اصلی اول (PC1) ویژگی کربن آلی و بدنبال آن نیتروژن کل دارای بیشترین بار عاملی (به ترتیب 0/92 و 0/93) بودند. کربن آلی مهم‌ترین منبع تأمین کننده بومی نیتروژن در خاک است. از این رو می‌توان این مؤلفه را در ارتباط با عامل بومی تأمین نیتروژن در خاک در نظر گرفت. از آنجایی که ضریب همبستگی خطی بین این دو ویژگی برابر با 0/96 ($P\leq0.01$) بود، تنها نیتروژن کل به عنوان یکی از ویژگی‌های مجموعه (MDS) انتخاب شد. در مولفه اصلی دوم (PC2) سه ویژگی به ترتیب پتاسیم قابل استفاده (0/81)، گنجایش تبادل کاتیونی(0/79) و رس(0/73) دارای بیشترین بار عاملی بودند. رس و گنجایش تبادل کاتیونی بر پتاسیم خاک مؤثر هستند. از این رو مولفه دوم را می‌توان به عنوان عوامل موثر بر پتاسیم قابل استفاده در نظر گرفت. از آنجایی که این ویژگی‌ها دارای ضریب همبستگی زیاد نبودند، هر سه به عنوان ویژگی‌های مستقل برای مجموعه (MDS) انتخاب شدند.

در مولفه اصلی سوم (PC3) آهن و فسفر قابل استفاده دارای بیشترین بار عاملی به ترتیب (0/78 و

0/64) بودند. از آنجا که آهن و فسفر از عناصر ضروری برای رشد گیاه برنج هستند، این دو ویژگی به عنوان مولفه سوم در نظر گرفته شدند. این دو ویژگی دارای ضریب همبستگی خطی بالایی (r=0/55**) نبودند. در نتیجه هر دو ویژگی به عنوان ویژگی‌های مستقل در مجموعه (MDS) انتخاب شدند. در مولفه اصلی چهارم (PC4) سیلت دارای بیشترین بار عاملی (0/790-) بود و ویژگی دیگری با بار عاملی در محدوده 10درصدی آن وجود نداشت و بنابراین به عنوان آخرین ویژگی برای (MDS) انتخاب شد. سیلت به همراه رس، ذرات غالب معدنی در اجزای بافت خاک منطقه بودند (جدول1). سیلت نقش مستقیم در ذخیره عناصر غذایی ندارد، اما به همراه رس در نگهداری بیشتر آب مؤثر هستند و به نظر می‌رسد با افزایش رطوبت در خاک امکان دسترسی شکل محلول عناصر غذایی به گیاه بیشتر فراهم باشد.

وضعیت ناحیه‌ای ویژگی مجموعه حداقل داده‌ها

در مجموعه داده‌های حداقل ویژگی‌هایی از عناصر غذایی (نیتروژن کل، فسفر و آهن قابل استفاده) و مرتبط با بهره‌وری و حاصلخیزی خاک (رس، سیلت، کربن آلی و گنجایش تبادل کاتیونی) قرار گرفتند. دابرمن و اوبرتور (1997) سطح بحرانی رس را برای خاک‌های شالیزاری 35 درصد اعلام نمودند. بر این مبنا فقط در حاشیه شرقی ناحیه مطالعه شده مقدار رس کمتر از 35 درصد است (شکل 3-الف). رس خاک بر ذخیره عناصر غذایی و نگهداری آب موثر است. از سوی دیگر فوژن دو و همکاران (2016) نشان دادند که در خاک‌های با کلاس بافت رسی مقدار محصول بیشتر از خاک‌های با بافت شنی بود. کربن آلی خاک مهم‌ترین منبع عرضه بومی نیتروژن کل در خاک است (دابرمن و اوبرتور، 1997). سطح بحرانی کربن آلی در خاک‌های شالیزار دو درصد است (دابرمن و فیرهورست،2000). نزدیک به 35 درصد از اراضی شالیزاری کوچصفهان (5466 هکتار) دارای کربن آلی کمتر از دو درصد بود (شکل 3-ج). توزیع مکانی دو ویژگی کربن آلی و نیتروژن کل خاک شباهت زیادی داشتند (شکل 3 - ج و د). در اراضی دچار محدودیت کربن آلی توانایی خاک در عرضه بومی نیتروژن خاک کم می‌شود. نیتروژن عنصری بسیار پویا در خاک است و سطح بحرانی آن برای گیاه برنج در کشور تعیین نشده، هر چند به نقل از دوات‌گر همکاران (2015) و ملکوتی و کاوسی (1383) کمیت 0/2 درصد گزارش شده است. اراضی شالیزاری واقع در بخش‌هایی از شمال، جنوب، غرب و مرکز خاک‌های مطالعه شده دارای نیتروژن کل کمتر از 0/2 درصد بودند (شکل 3-د). توزیع مکانی فسفر قابل استفاده و کربن آلی خاک در نیمه غربی با یکدیگر شباهت داشتند (شکل 3-ج و ه). سلطانی و همکاران (1396) با ارزیابی تغییرات مکانی شکل‌های مختلف فسفر و فسفر قابل استفاده نیز نشان دادند که بین توزیع مکانی فسفر قابل استفاده و کربن آلی شباهت وجود دارد. یانگ و چن (2019) نشان دادند که افزایش کربن آلی خاک منجر به افزایش فسفر قابل استفاده و آسانی توانایی جذب فسفر توسط گیاه می‌شود.

نزدیک به 50 درصد از سطح اراضی شالیزاری مطالعه شده دارای غلظت فسفر قابل استفاده کمتر از سطح بحرانی 12 میلی‌گرم در کیلوگرم (کریمی امیرکیاسر و همکاران، 1392) بودند. به نظر می‌رسد این وضعیت افزون بر تأثیر کمبود کربن آلی در برخی از نواحی می‌تواند ناشی از استمرار کشت برنج بدون مصرف کودهای فسفاته توسط کشاورزان باشد. نتایج ارزیابی پرسش‌نامه‌ای نیز نشان داد که 60 درصد از کشاورزان از کودهای فسفره به مقدار کم استفاده می‌کنند. عواملی مانند نداشتن آگاهی از نقش عنصر فسفر در افزایش کمی و کیفی عملکرد گیاه برنج، فقدان منابع کافی از کودهای فسفره، افزایش قیمت کود (به علت حذف یارانه) و وجود کودهایی با کیفیت کم در استقبال نکردن کشاورزان نسبت به مصرف کودهای فسفره در آن‌ها زیاد است. غلظت پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های مطالعه شده در دامنه 95 تا 390 با میانگین 258 میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشت (جدول 1). با توجه به سطح بحرانی 120 میلی‌گرم درکیلوگرم (کاووسی و همکاران، 1385) تقریباً تمام منطقه از نظر پتاسیم قابل استفاده در حد کفایت بود

جدول 2- ضریب همبستگی خطی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اراضی شالیزاری

	EC	pH	OC	TN	AP	AK	CEC	Fe	Cu	Mn	Zn	Si	C
pH	0/59 **												
OC	0/78 **	-0/63**											
TN	0/77 **	-0/61**	0/95 **										
AP	0/27 **	-0/35**	0/43**	0/39**									
AK	0/18 *	-0/089	0/068	0/1	-0/096								
CEC	0/153	-0/159	0/25**	0/28**	0/042	0/40 **							
Fe	0/32 **	-0/52**	0/49 **	0/49**	0/55 **	0/21*	0/035						
Cu	0/155	-0/31**	0/17 *	0/19*	0/21	0/24 **	0/20	0/19*					
Mn	0/66 **	-0/48 **	0/79**	0/82 **	0/39**	0/20*	0/32 **	0/41**	0/15				
Zn	0/139	-0/17 *	0/23**	0/24 **	0/134	0/20*	0/102	0/27**	0/23**	0/25**			
Si	0/106	-0/135	0/114	0/109	0/20*	-0/20*	0/127	0/122	-0/168	0/06	-0/11		
C	-0/10	0/17 *	-0/26**	0/25**	-0/39**	0/63 **	0/32 **	-0/24**	0/13	-0/13	0/0	-0/49**	

جدول3- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی برای انتخاب ویژگی‌های موثر به عنوان مجموعه حداقل داده‌ها

مولفه‌های اصلی	مولفه 1	مولفه 2	مولفه 3	مولفه 4
ارزش ویژه	4/79	2/28	1/26	1/02
درصد واریانس	36/87	17/58	9/71	7/90
درصد واریانس تجمعی	36/8	54/4	64/17	72/07
قابلیت هدایت الکتریکی	0/88	0/043	0/026	0/049
اسیدیته گل اشباع	-0/66	0/027	-0/37	-0/062
گنجایش تبادل کاتیونی	0/24	0/79	0/007	-0/306
کربن آلی	0/93	-0/001	0/219	-0/05
نیتروژن کل	0/93	0/034	0/212	-0/04
فسفرقابل جذب	0/30	-0/16	0/63	-0/31
پتاسیم قابل جذب	0/06	0/81	0/19	0/28
آهن قابل جذب	0/34	0/003	0/78	-0/05
مس قابل جذب	0/16	0/04	0/34	0/60
منگنز قابل جذب	0/82	0/16	0/20	-0/04
روی قابل جذب	0/08	0/15	0/59	0/28
سیلت	0/08	-0/09	0/15	-0/79
رس	-0/19	0/72	-0/25	0/46

اعداد پررنگ دارای بیشترین بار عاملی بودند. اعداد پررنگ که زیر آنها خط کشیده شده است به عنوان MDS انتخاب شدند.

(شکل 3- و). از این رو احتمال پاسخ گیاه برنج به مصرف کود پتاسیم کم خواهد بود. مهم‌ترین علت کافی بودن غلظت پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده می‌تواند آورد پتاسیم از راه رودخانه سپیدرود به عنوان مهم‌ترین منبع تامین آب این اراضی باشد. غلظت پتاسیم در آب رودخانه سپیدرود در دامنه 2/7 تا 4/7 با میانگین 3/8 میلی‌گرم در لیتر قرار داشت (دوات‌گر و همکاران، 1394). نیاز آبی گیاه برنج در استان گیلان 9385 مترمکعب در هکتار است (یزدانی و همکاران، 1399). از این رو انتظار می‌رود در طول فصل رشد 35/66 کیلوگرم در هکتار پتاسیم به خاک افزوده شود. توزیع مکانی آهن قابل استفاده به علت آن که غلظت آن در تمام خاک‌های ناحیه مطالعه شده بیشتر از سطح بحرانی بود نشان داده نشده است.

تعیین شاخص کیفیت خاک

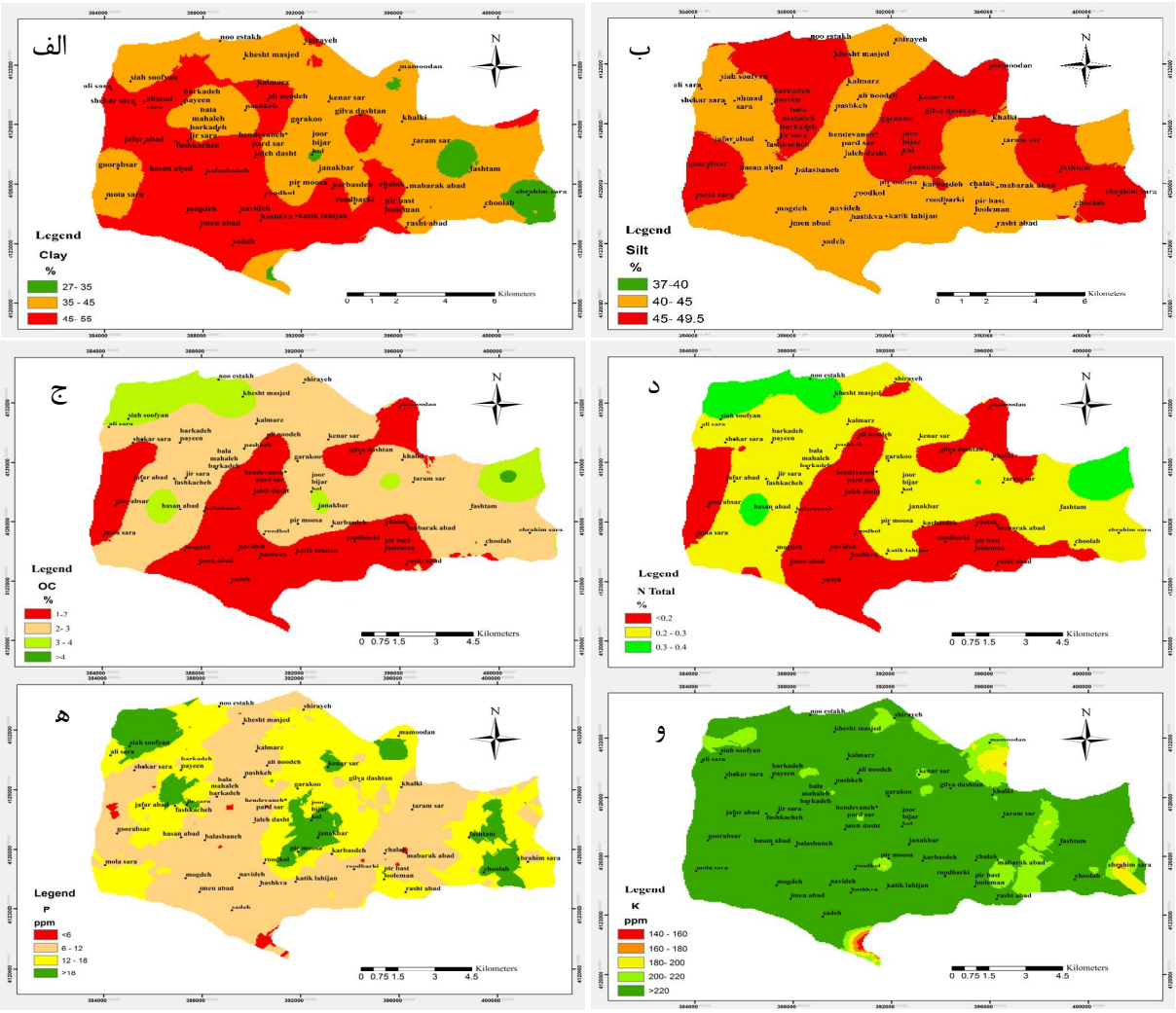
در مجموعه حداقل داده‌ها مقدار هر یک از ویژگی‌های رس، سیلت، گنجایش تبادل کاتیونی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم و آهن قابل استفاده با استفاده از تابع نمره‌دهی خطی (روابط 1و2) به مقادیر بین یک دهم تا یک تبدیل شدند. حدود بحرانی و نوع تابع خطی استفاده شده برای این ویژگی‌ها در جدول چهار نشان داده شدند. مقدار SQI برای هر نمونه خاک مطالعه شده در دامنه 0/62 تا 1 با میانه 0/93 قرار داشت که نشان دهنده وضعیت نسبی خوب کیفیت خاک منطقه است.

جدول 4- حدود بحرانی پایین (b) و بالا (a) ویژگی‌های MDS برای استفاده در توابع تبدیل خطی

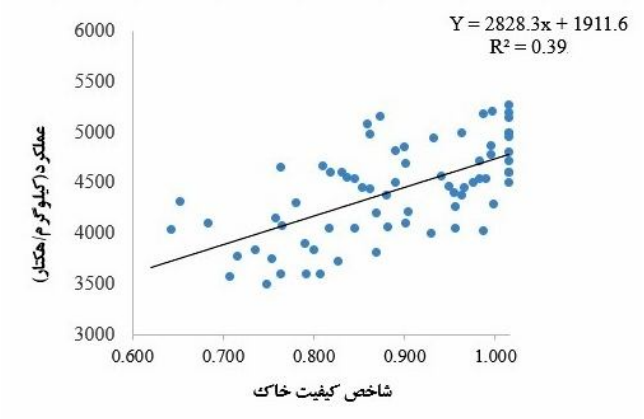
ویژگی‌ها	واحد	b	a	نوع تابع خطی
CEC	$Cmol^+/kg$	10	20	بیشتر بهتر است
TN	%	0/1	0/2	بیشتر بهتر است
OC	%	1	2	بیشتر بهتر است
P(Av)	mg/kg	6	12	بیشتر بهتر است
K(Av)	mg/kg	120	160	بیشتر بهتر است
Fe	mg/kg	2/5	4/5	بیشتر بهتر است
Silt	%	0	38	بیشتر بهتر است
Clay	%	27	35	بیشتر بهتر است

با افزایش شاخص کیفیت خاک عملکرد گیاه به صورت خطی افزایش می‌یابد(شکل 3). بر مبنای ضریب تبیین (R^2) شاخص کیفیت خاک توانست 39 درصد از تغییرات عملکرد گیاه را توجیه کند. تغییرات عملکرد گیاه افزون بر ویژگی‌های خاک تابعی از خصوصیات ژنتیکی گیاه و مدیریت زراعی است (میرنیا و محمدیان، 1384). دی لی و همکاران (2018) نشان دادند که کیفیت خاک می‌تواند تاثیر مثبت بر میزان محصول داشته باشد. دابرمن و فیرهورست (2000) نیز بیان داشتند در برنج فاریاب بخشی از کاهش عملکرد می‌تواند ناشی از کمبود نیتروژن، فسفر، پتاسیم و دیگر عناصر غذایی خاک باشد. این یافته‌ها دلالت می‌کند که شاخص کیفیت خاک می‌تواند به عنوان ابزاری امید بخش برای تلفیق اثر ویژگی‌های حاصلخیزی خاک در تصمیم سازی مدیریتی استفاده شود. پهنه‌بندی شاخص SQI نشان داد که بیشتر اراضی از کیفیت حاصلخیزی خوبی برخوردارند. اراضی شالیزاری واقع در غرب و جنوب کوچصفهان از کیفیت حاصلخیزی خاک ضعیف‌تری نسبت به بخش‌های شمالی برخوردار می‌باشند (شکل 4- الف). این اراضی از محدودیت بیشتری در مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده برخوردار بودند (شکل 3). اراضی واقع در شمال، شرق و مرکز با شاخص کیفیت خاک بیشتر از 0/9، وضعیت حاصلخیزی مناسب داشتند. در این اراضی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده از سطح بحرانی بیشتر بودند (شکل 3). میانگین عملکرد محصول

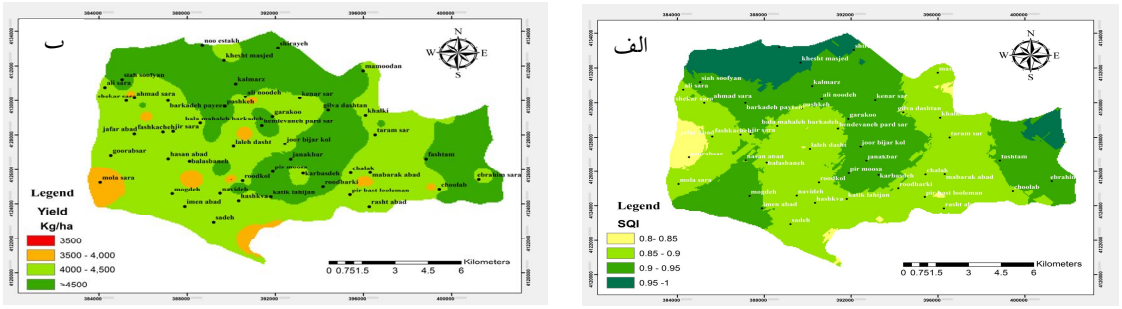
برنج (رقم هاشمی) در استان گیلان 4336 کیلوگرم در هکتار است (بی‌نام، 1398). دامنه تغییرات عملکرد گیاه برنج در منطقه بین 3500 و 5272 با میانگین 4366 کیلوگرم در هکتار بود. مقادیر عملکرد بزرگ‌تر از 4500 کیلوگرم در هکتار در بخش‌های شمالی، شرقی و مرکزی بدست آمد. اما اراضی واقع در غرب و جنوب از عملکرد کمتری برخوردار بودند. با توجه به نقشه‌های توزیع عناصر غذایی به نظر می‌رسد برخی از عوامل اصلی کلیدی شکاف عملکرد برنج در این مناطق کمبود کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و مدیریت نامناسب مصرف کودهای شیمیایی باشد. بر پایه توزیع مکانی SQI و عملکرد، بیشترین سطح اراضی به شاخص SQI بزرگ‌تر از 0/9 و عملکرد بیشتر از 4000 کیلوگرم در هکتار تعلق داشت (شکل 5 و جدول 5).



شکل 3- توزیع مکانی ویژگی‌های مجموعه حداقل داده‌ها به روش کریجینگ در اراضی شالیزاری کوچصفهان



شکل 4- رابطه بین عملکرد برنج و شاخص کیفیت خاک



شکل 5- نقشه تخمین عملکرد و شاخص کیفیت خاک در اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان

جدول 5- مساحت کلاس‌های شاخص کیفیت خاک (SQI) و عملکرد در اراضی مطالعه شده کوچصفهان

کلاس SQI	مساحت اراضی (هکتار)	کلاس عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	مساحت اراضی (هکتار)
0/8_0/85	446	کوچکتر از 3600	3
0/85 _0/9	7462	3600-4000	695/5
0/9_0/95	6250	4000-4500	8579
0/95_1	1478	بیشتر از 4500	6357

نتیجه‌گیری نهایی

بهبود بهره‌وری خاک اراضی شالیزاری ابزار مهمی برای دستیابی به تولید پایدار و اقتصادی است. یکی از ابزارهای مدیریت اراضی و بهبود بهره‌وری خاک بررسی کیفیت خاک است. از اقدامات موثر برای کاهش خلاء عملکرد، مشخص کردن کیفیت، توان و محدودیت‌های خاک است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد تعیین کیفیت خاک با استفاده از مجموعه حداقل داده‌ها و شاخص‌های تلفیقی کیفیت خاک، راهکارهای خوبی برای دستیابی به تولید مطلوب و کاهش شکاف عملکرد با توجه به وضعیت حاصلخیزی و کیفیت خاک منطقه است. نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده خاک از مهم‌ترین ویژگی‌های اصلی مؤثر بر کیفیت خاک و عملکرد در ناحیه مطالعه شده بودند. با توجه به غیر یکنواختی در توزیع مکانی نیتروژن کل و فسفر قابل

استفاده و کمبود این دو به ترتیب در 36 و50 درصد از اراضی لازم است توصیه کودی این عناصر غذایی بصورت ویژه مکان و متناسب با وضعیت عناصر غذایی در خاک انجام شود.

فهرست منابع:

1. احمدی، ک. عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف. عبدشاه، ه و کاظمیان، آ. 1399. آمارنامه کشاورزی سال زراعی 98-1397 جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی. 89 صفحه
2. اسدی پرور، م. کریمی، ش. و ساجدی، م. 1393. سیمای کشاورزی مرکز جهاد کشاورزی کوچصفهان. گزارش تحلیلی از فعالیت‌های بخش کوچصفهان. انتشارات سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان
3. بنائی، م.ح.، 1377. نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران، مقیاس 1:250000. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
4. بی‌نام. 1398. آمار وضعیت برنج کاری استان گیلان. سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان
5. پاداشت دهکایی، ف.، تجددی طلب، ک.، حسینی چالشتری، م.، و همکاران 1394. راهنمای برنج (کاشت، داشت، برداشت و پس از برداشت). انتشارات نشر آموزش کشاورزی. 757 صفحه
6. حیدری کمال آبادی، ر.، نبی زاده زوالپیرانی، م.، مجاوریان، س.م.، خانکشی پور، غ. و دزیانی، س . 1395. عوامل موثر بر مقدار مصرف برنج در سبد غذایی خانوارهای شهرستان رشت. نشریه اقتصاد کشاورزی و توسعه. شماره 96 : 126-109
7. دوات‌گر، ن.، زارع،ا.، شکوری کتیگری، م.، رضائی، ل و همکاران. 1394. بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری استان گیلان. نشریه مدیریت اراضی. جلد 3، شماره 1:1-13.
8. دوات‌گر، ن.، شکوری کتیگری، م.، رضائی. ل.، دلسوز خاکی، ب.، شکری واحد، ح.، و کاووسی، م. 1398. تغییرات مکانی وضعیت حاصلخیزی خاک شالیزارهای بخش جنوبی دشت فومنات. نشریه پژوهش‌های خاک. جلد 33 شماره 2: 141-155
9. دوات‌گر، ن.، کاووسی، م. یزدانی، م.ر.، رضایی، م. شکوری کتیگری، م. رضائی، ل. رودپیما، م. دریغ گفتار، ف. پیکان، م. احمدزاده، س. کشتکار، ف. و عطار، ا .1394. شناسایی و ارزیابی منابع آلاینده و کیفیت آب‌های سطحی کشاورزی دشت گیلان با استفاده از سامانه GIS (فاز اول دشت مرکزی گیلان). گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور
10. علی‌نیا، ف.، نوری دلاور، م.ز.، حسینی چالشتری، م.، و قدسی، م. 1394. تحول در تولید برنج کشور از طریق معرفی ارقام پرمحصول سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور
11. کاووسی، م. و م. ج.، ملکوتی. 1385. تعیین حد بحرانی پتاسیم با عصاره گیر استات آمونیوم در شالیزارهای گیلان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 10، صفحات 113 الی 124.
12. کریمی امیرکیاسر، م.، کاووسی، م. و شکری واحد، ح. 1392، غلظت بحرانی فسفر در خاک‌های شالیزار استان گیلان. نشریه دانش آب و خاک . جلد 23 شماره 1: 123-134.
13. محمود سلطانی، ش، دوات‌گر، ن، شکوری، م و م. پیکان. 1396. تغییرات مکانی شکل‌های مختلف فسفر در اراضی شالیزاری. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد 25 شماره 5: 109-93.
14. ملکوتی، م.ج و کاووسی، م. 1383. تغذیه متعادل برنج. انتشارات سنا.

15.میرنیا، خ و محمدیان، م. 1384. برنج، اختلالات عناصرغذایی، مدیریت عناصرغذایی. انتشارات دانشگاه مازندران. 436 صفحه.

16.یزدانی، م.ر.، اسدی، ر و عرب زاده، ب. 1399. تعیین آب مصرفی برنج در استان‌های گیلان و مازندران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور

17.یزدانی، م. 1379. تعیین مقدار عرضه پتاسیم توسط منابع مختلف آب آبیاری به شالیزارهای استان گیلان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور

18. Andrews S.S., Karlen D.L and C.A. Cambardella, .2004. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal. 68:1945-1962.
19. Andrews, S. S, and C. R. Carroll. 2002. Designing a soil quality assessment for sustainable agroecosystem management. Ecological Applications. 11: 1573–1585.
20. Andrews, S. S., Florab, C. B. Mitchell, J. P., and Karlen, D. L. 2003. Growers perceptions and acceptance of soil quality indices. Geoderma, 114: 187– 213.
21. Andrews, S.S., Mitchell, P.J., Mancinelli, R., Karlen K.L., Hartz T.K., Horwath W.R., Pettygrove G.S., Scow K.M., and Munk D.S. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. Agronomy Journal. 94: 12–23.
22. Bhaduri, D., and Purakayastha, T.J., 2014. Long-term tillage, water and nutrient management in rice-wheat cropping system: assessment and response of soil quality. Soil Tillage Research. 144: 83–95.
23. Boluda, R., Roca-Pérez, L., Iranzo, M., Gil, C., and Mormeneo, S., 2014. Determination of enzymatic activities using a miniaturized system as a rapid method to assess soil quality. European Journal of Soil Science. 65: 286–294.
24. Borges, M., DeMello, W.V., Abrahao, A.P., Jordao, C.P., and Simas, N.B. 2001. Methods for evaluation of easily dedusible iron and manganese in paddy soils. Communication Soil Science and Plant Analysis. 32: 3009-.2203.
25. Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z.G., de Goede, R., Mäder, P., Sukkel, W., Brussaard, L., 2018. Soil quality – a review. Soil Biology and Biochemistry. 120, 105–125. Bullock, D.G., 1992. Crop rotation. Critical Reviews in Plant Sciences. 11: 309–326.
26. D Li, T Nanseki, Chomei, Y and Fukuhara, Y .2018. Impact of soil chemical properties on rice yield in 116 paddy fields sampled from a large-scale farm in Kinki region, Japan. 4th International Conference on Agricultural and Biological Sciences., Hangzhou, China
27. Darsowiyono S., Rosariastuti R. Pranoto P. and, Okvitasari F. 2017. Assessment of paddy soil quality index based on differences in the productivity of paddy in Wonogiri Regency. Journal of Agricultural Studies, 5 (2):181-189.
28. Delsouz Khaki, B., Honarjoo, N., Davatgar, N., Jalalian, A., Torabi Golsefidi, H., 2017. Assessment of two soil fertility indices to evaluate paddy fields for rice cultivation. Sustainability 9: 1–13
29. Doberman, A., and Fairhurst, T. 2000. Rice nutrient disorders and nutrient management. International Rice Research Institute.
30. Dobermann, A., Oberthur, T., 1997. Fuzzy mapping of soil fertility. a case study on irrigated rice land in the Philippines. Geoderma, 77: 317–339.
31. Doran JW, Parkin BT. Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA, editors. Defining Soil quality for a Sustainable Environment. Madison: Soil Science Society of America Journal.1994. pp. 3–21.
32. Doran, J.W., 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. Agriculture, Ecosystems and Environment. 88: 119–127.

33. Dou F, Soriano J, Tabien RE, Chen, K. 2016. Soil texture and cultivar Effects on Rice (*Oryza sativa*, *L.*) Grain Yield, Yield Components and Water Productivity in Three Water Regimes. PLoS ONE 11(3): e0150549.
34. Karlen, D.L., Stott, D.E., 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A.(Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America. Madison; WI, pp.53–72.
35. Liu, Z., Zhou, W., Li, S., He, P., Liang, G., Lv, J., and Jin, H. 2015. Assessing soil quality of gleyed paddy soils with different productivities in subtropical China. Catena. 133: 293-302.
36. Lopez-Granados, F., M. Jurado-Exposito., S. Atenciano., A. Garcıa-Ferrer., M. Sanchez de la Orden., and L. Garcıa-Torres. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. Plant and Soil. 246: 97–105.
37. Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M.T., Landi, L., Pietramellara, G., Renella, G., 2003. Microbial diversity and soil functions. European Journal Soil Science. 54: 655–670
38. Shukla, M. K., Lal, R and Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil and Tillage Research, 87(2): 194-204.
39. Spiegel, H., Zavattaro, L., Guzmán, G., D'Hose, T., Pecio, A., Lehtinen, T., Schlatter, N., ten Berge, H., and Grignani, C., 2015. Compatibility of agricultural Management Practices and Mitigation and Soil Health: Impacts of Soil Management Practices on Crop Productivity, on Indicators for Climate Change Mitigation, and on the Chemical, Physical and Biological Quality of Soil.
40. Sun, B., Zhou, S., and Zhao, Q., 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China.Geoderma.115 (1-2):85-99
41. Tesfahunegn, G.B., 2014. Soil quality assessment strategies for evaluating soil degradation in northern Ethiopia. Applied and Environmental Soil Science. https://doi.org/10.1155/2014/646502
42. Trangmar, B.B., Yost, R.S., and Uehara, G. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy. 38: 45-94.
43. Van Diepeningen, A.D., de Vos, O.J., Korthals, G.W., van Bruggen, A.H.C., 2006. Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils. Applied Soil Ecology. 31:120–135.
44. Velasquez, E., Lavelle, P., and Andrade, M. 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. Soil Biology and Biochemistry. 39(12): 3066-3080.
45. Webster, R., and Oliver, M. A. 2000. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley and Sons.
46. Wilding, L.P., and Dress, L.R. 1983. Spatial variability and pedology. In: Wilding, L.P., Smeckand, N.E., and Hall, G.F. (eds.). Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and interactions. Elsevier Science Pub. Pp: 83-116.
47. Yang, X., Chen, X., and Yang, X., 2019. Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. Soil and Tillage Research, 187: 85-91.
48. Yong, J., Wenju, L., Dazhong, W., Yuge, Z., and Wenbo, C. 2005. Spatial heterogeneity of DTPA extractable zinc in cultivated soils induced by city pollution and use. Science in China Series. C: Life Science. 48 (1): 82-91.

Evaluation of Spatial Variation of Soil Fertility Quality and Its Relationship with Rice Yield in Paddy Fields of Kuchesfahan District, Guilan Province

S. Babazadeh, M. Feizian[1], and N. Davatgar
PhD candidate, Lorestan University; E-mail: babazadeh50@yahoo.com
Associate Professor, Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad, Iran; E-mail: feizian.m@lu.ac.ir
Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj; E-mail: n.davatgar@areeo.ac.ir
Received: April, 2021, and Accepted: December, 2021

Abstract

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the strategic agricultural products of Iran. Recognizing the fertility status and quality of paddy soils is the effective factors on increasing rice yield. The aim of this study was to determine the quality of soil fertility and identify its limiting factors in paddy fields of Kuchesfahan District, Iran. For this purpose, before rice cultivation, a total of 130 composite soil samples with uniform geographical distribution were collected and prepared to measure some important physical and chemical properties affecting soil quality. Then, rice yield was measured in 70 locations. Principal component analysis and fuzzy logic were used to prepare the minimum effective data set and qualitative ranking of soil properties, respectively. After determining the soil quality index using the integrated algorithm, its relationship with rice yield was determined by statistical methods and spatial statistics using regression method. As the minimum effective data set, the total N, available P, K, Fe, percentages of clay and silt, and cation exchange capacity described 72% of the studied soil changes. Paddy fields in the western half of Kuchesfahan had more deficiency in total N and available P. These soils were also of lower fertility quality. Some of the lands located in the north and northeast of the study area had a soil quality index of more than 0.95 and were in the very fertile group. In these soils, the yield of rice was higher than other areas. The lowest yield of Hashemi cultivar was 3500 kg/ha in the southern half, and the highest yield was 5272 kg/ha in the eastern half of the study area. Due to deficiency of total N and available P in 36% and 50% of the studied lands, respectively, it is necessary that fertilizer application for these nutrients be site-specific and in proportion to their soil fertility status.

Keywords: Oryza sativa L., Minimum data set, Soil quality index, Total nitrogen, Available phosphorus

[1]. Corresponding author: Soil Sciences of Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University of Khorramabad