نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۹، ص. ۱۱۳۹-۱۱۲۵

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 5, Nov.-Dec. 2020, p. 1125-1139

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی شاخص‌های کیفیت خاک در کشتزارهای گندم آبی در منطقه نظرآباد در غرب استان البرز

رسول میرخانی[۱]- علی‌رضا واعظی[۲*]- حامد رضایی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵

چکیده

آگاهی از کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در کشاورزی برای مدیریت بهینه کشتزارها و دستیابی به بیشترین بهره‌وری اقتصادی ضروری است. در این مطالعه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) در ۹۵ کشتزار و عملکرد محصول گندم آبی در ۳۲ کشتزار در اراضی زراعی شهرستان نظرآباد استان البرز تعیین شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای انتخاب داده‌های مؤثر بر کیفیت خاک مورد استفاده قرار گرفت و شاخص کیفیت تجمعی وزنی (IQI_w) و ساده (IQI_a) و نیز شاخص کیفیت نمورو (NQI) با استفاده از کل ویژگی‌های خاک و حداقل ویژگی های انتخاب شده تعیین شدند. نتایج نشان داد که بین مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک (بین IQI_w ، IQI_a و NQI) که بر مبنای حداقل ویژگی‌ها و یا کل ویژگی‌های خاک به‌دست آمده‌اند، همبستگی معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) است. همچنین بین عملکرد گندم آبی و شاخص‌های IQI_w ($r=۰/۶۱$)، IQI_a ($r=۰/۵۸$) و NQI ($r=۰/۵۸$) که با استفاده از کل ویژگی‌های خاک تعیین شده بود، همبستگی معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) است و این همبستگی در روش استفاده از حداقل ویژگی‌ها به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۶۷ و ۰/۶۲ است. با توجه به نتایج، شاخص‌های NQI، IQI_w و IQI_a به دست آمده بر مبنای حداقل ویژگی‌های خاک، حدود ۸۲ درصد کشتزارهای منطقه نظرآباد از کیفیت خاک خیلی خوب و خوب برخوردارند و حدود ۱۱ درصد کیفیت متوسط و حدود ۷ درصد کیفیت پایین و خیلی پایین دارد. با استفاده از نتایج این پژوهش، ضمن آگاهی از وضعیت کیفیت خاک منطقه، برای برنامه‌ریزی مدیریت پایدار اراضی کشاورزی منطقه می‌توان بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نمورو، عملکرد گندم

مقدمه

خاک وظایف یا کارکردهای مختلفی دارد که از آن جمله می‌توان به توانایی تولید محصول، ذخیره کربن، نگهداری آب، چرخه عناصر غذایی و تصفیه آب اشاره کرد. از این‌رو بسته به هدف استفاده از خاک، می‌توان کیفیت آن را مورد توجه قرار داد. از دیدگاه کشاورزی، کیفیت خاک عبارت از توانایی تولید محصول یا باروری خاک است. در خصوص کیفیت خاک تعاریف زیادی ارائه شده که در بیشتر آن‌ها، تأکید اصلی بر توانایی خاک در انجام وظایف مورد نظر است (۷).

برای مثال کارلن و همکاران (۱۳) و دی پاول اوبید و لل (۶) کیفیت خاک را توانایی دائم یک خاک در انجام وظایف خود به‌عنوان یک سیستم حیاتی زنده در داخل اکوسیستم و تحت بهره‌برداری‌های متفاوت تعریف نمودند، به‌گونه‌ای که علاوه بر حفظ حاصلخیزی بیولوژیکی توانایی بهبود کیفیت آب و هوا و همچنین تأمین‌کننده سلامت انسان، حیوان و گیاه را دارا باشد. در کشورهای درحال توسعه به علت آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی از نظر زیست‌محیطی، توجه به کیفیت خاک دارای اهمیت اقتصادی زیادی است (۳۵). آگاهی از وضعیت کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در کشاورزی و منابع طبیعی برای مدیریت بهینه اراضی و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی ضروری است.

از شاخص‌های کیفیت خاک برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده می‌شود (۳۶). از جمله این شاخص‌ها می‌توان به شاخص کیفیت

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: vaezi.alireza@gmail.com)
۳- دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v34i5.85526

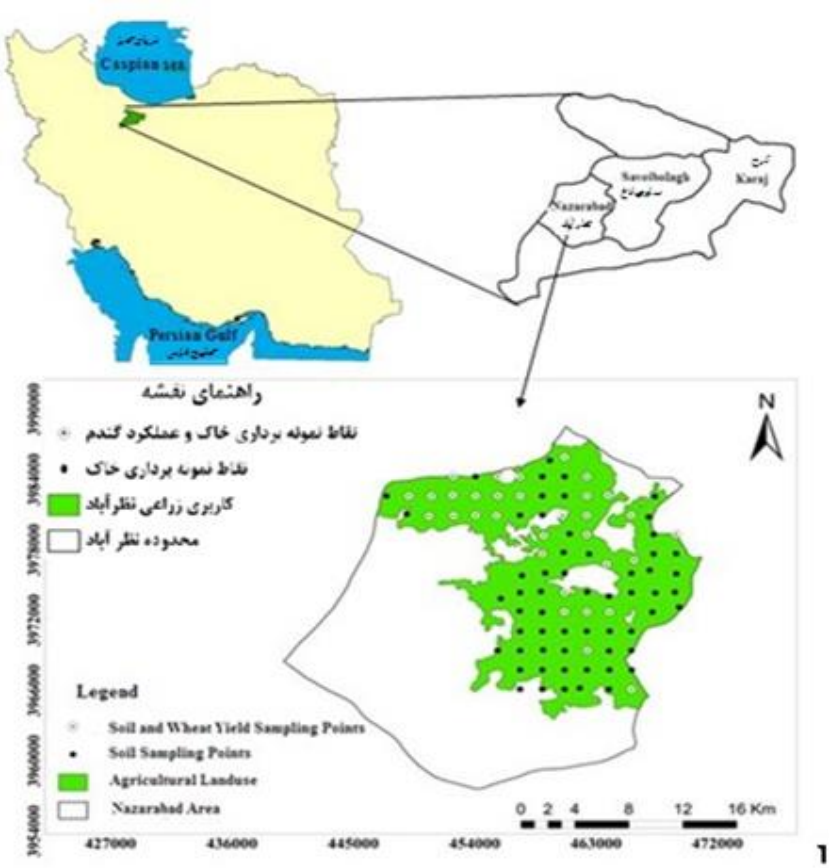
نمورو[1] (NQI)، شاخص کیفیت خاک تجمعی ساده[2] (IQI_a) و وزنی[3] (IQI_w) اشاره کرد. در این شاخص‌ها ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در قالب یک معادله ریاضی با هم ترکیب و به صورت کمی ارائه می گردد. شاخص‌های کیفیت خاک اغلب منطقه‌ای هستند و نمی‌توان به‌طور ثابت و در همه مناطق از یک مجموعه از شاخص‌ها برای تعیین کیفیت خاک استفاده نمود (۳). شاخص‌های کیفیت خاک را می توان با روش‌های کمی یا کیفی تعیین کرد. ارزیابی کیفی، بر پایه تعیین طبیعت ویژگی‌ها است، اما ارزیابی کمی بر پایه اندازه‌گیری دقیق ویژگی‌ها و تلفیق آن‌ها با الگوریتم‌های معین است. زمانی که نیاز است تا داده‌های مربوط به کیفیت خاک به‌صورت نقشه ارائه شود، ارزیابی کمی، روشی مناسب‌تر است (۸). ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک می‌توانند مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و یا ترکیبی از آن‌ها باشند (۱). با توجه به آن‌که نمی‌توان همه ویژگی‌ها را اندازه‌گیری نمود، اغلب از حساس‌ترین آن‌ها در برابر تغییرات استفاده می‌شود که بر اساس آن حداقل مجموعه داده‌ها[4] (MDS) بسته به اهداف و شرایط مطالعات پایش انتخاب می‌گردد. شاخص‌های انتخاب شده بایستی با فرایندهای زیست‌بوم دارای همبستگی باشد (۷ و ۱۵). شاخصی که بتواند به بهترین شکل کیفیت خاک را تبیین کند باید دربرگیرنده شیوه‌های تعریف‌شده برای گزینش، نمره‌دهی و وزن‌دهی ویژگی‌های خاک باشد و نیز مدل جامعی که امکان مقایسه خاک‌های مناطق مختلف را به‌صورت علمی فراهم کند، داشته باشد (۲۳). برای ایجاد چنین شاخصی باید: ۱) ویژگی‌هایی که به‌خوبی بیانگر کیفیت خاک باشد، گزینش شوند، ۲) برای ویژگی‌های منتخب خاک وزن داده شود و ۳) اعتبارسنجی شاخص با استفاده از یک مدل انجام گردد.

در خصوص تعیین شاخص کیفیت خاک پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است برای مثال لی و همکاران (۱۶) در شالیزارهای شهرستان یجینگ در استان جیانگشی چین با روش تجزیه به مؤلفه های اصلی[5] (PCA) حداقل مجموعه داده‌ها را تعیین و شاخص کیفیت تجمعی (IQI) را محاسبه کردند. نتایج، همبستگی معنی‌داری را بین شاخص کیفیت خاک و عملکرد برنج نشان داد ($p<۰/۰۱$). شهاب آرخازلو و همکاران (۲۸) با بررسی کیفیت خاک‌های کشاورزی و مرتعی منطقه ده شورخ واقع در جنوب مشهد در شمال شرق ایران نشان دادند که ۷۸ درصد از خاک‌های مرتعی و ۱۳ درصد خاک‌های کشاورزی دارای توابع توزیع اندازه منافذ مطلوب بودند. رحمانی‌پور و همکاران (۲۴) با پژوهشی در زمین‌های کشاورزی استان قزوین نشان دادند که مدل شاخص کیفیت تجمعی ($r= ۰/۳۴$) بهتر از مدل شاخص کیفیت نمورو ($r=۰/۲۳$) بود و استفاده از حداقل داده‌ها را بدلیل کاهش هزینه برای ارزیابی کیفیت خاک پیشنهاد کردند. در پژوهشی سنچز ناوارو و همکاران (۲۷) در استان مورکیا[6] در جنوب غرب اسپانیا به روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) حداقل داده‌های لازم (MDS) انتخاب و کیفیت خاک با استفاده از شاخص کیفیت نرمال شده (QI_N) بررسی شد. نتایج نشان داد که ۱۲، ۳۲، ۱۵، ۱۹ و ۲۲ درصد از منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب دارای کیفیت بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و خیلی پایین بود. گانگ و همکاران (۹) با بررسی شاخص کیفیت تجمعی خاک‌های کشاورزی، شور و قلیا، ماسه‌ای، جنگلی و بیابانی در حوزه رودخانه کریا در جنوب چین نشان دادند که خاکهای بیابانی، ماسه‌ای و شور و قلیا دارای کیفیت پایین ($SQI <۰/۵۵$) و خاک‌های کشاورزی و جنگلی دارای کیفیت متوسط ($۰/۵۵ < SQI <۰/۷$) هستند. جیوهوز و همکارن (۱۱) در پژوهشی در شرق مجارستان نشان دادند که استفاده از مؤلفه‌های اصلی با ارزش ویژه بیشتر از یک می‌تواند ۸۵ درصد از تغییرات ویژگی‌های خاک را بیان کند و رگرسیون خطی چندگانه به روش گام به گام با استفاده از مؤلفه اصلی همبستگی معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) با میانگین عملکرد نسبی گندم دارد. چنگ و همکاران (۴) در پژوهشی با بررسی ضریب همبستگی بین عملکرد پرتقال و شاخص کیفیت خاک نشان دادند که دقت وزن‌دهی به روش تجزیه رگرسیون چندگانه ($r=۰/۴۴$) نسبت به وزن‌دهی به روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ($r=۰/۳۵$) برتر است. رنجبر و همکاران (۲۶) با پژوهشی در برخی از مناطق زعفران کاری منطقه قائن در خراسان جنوبی نشان دادند که شاخص کیفیت تجمعی (IQI) با استفاده از مجموعه کل داده‌ها ($r=۰/۴۴$) مؤثرترین روش برای ارزیابی کیفیت خاک در مزارع زعفران است. نبی‌اللهی و همکاران (۲۰) پژوهشی در اراضی کشاورزی تحت تأثیر شوری استان کردستان نشان دادند که ارزیابی کیفیت خاک با استفاده از IQI_w ($R^2 = ۰/۸۲$) بهتر از IQI_a ($R^2 = ۰/۷۸$) و IQI_n ($R^2 = ۰/۷۴$) بود و استفاده از مجموع کل داده‌ها نیز بهتر از مجموعه حداقل داده‌ها بود. سینگ و همکاران (۳۰) در پژوهشی با بررسی تغییرات کیفیت خاک های آبرفتی پس از ۴۰ سال استفاده از کود شیمیایی و کشت مداوم محصولات کنف، برنج و گندم نشان دادند که کاربرد کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم طی ۲۰ سال موجب تبدیل خاک کلاس III به کلاس II و طی ۴۰ سال موجب تبدیل کلاس II به کلاس I شده است. با توجه به نتایج، همبستگی بالایی بین RSQI و CRI ($r =۰/۸۲$) و همبستگی معنی‌داری بین RSQI و عملکرد محصول کنف ($r=۰/۸۹$)

1- Nemero quality index
2- Additive soil quality index
3- Weighted additive soil quality index
4- Minimum data set
5- Principal component analysis
6- Murcia

و عملکرد گندم (r=۰/۹۰) مشاهده شد. ولی عملکرد برنج ۴۴ درصد نسبت به عملکرد اولیه کاهش داشت.

شاخص‌های کیفیت خاک اغلب منطقه‌ای هستند و نمی‌توان به طور ثابت و در همه مناطق از یک مجموعه از شاخص‌ها برای تعیین کیفیت خاک استفاده نمود (۳). ویژگی‌های مورد نیاز برای ارزیابی کیفیت خاک برای مناطق مختلف به دلیل تغییرات اقلیمی و مدیریتی، متفاوت است. اگرچه پژوهش‌های گسترده‌ای در ایران و سایر نقاط جهان در مورد شاخص‌های کیفیت خاک انجام گرفته است لیکن اغلب اطلاعات جنبه منطقه‌ای داشته، قابل استفاده در سایر مناطق اقلیمی مانند مناطق خشک و نیمه خشک و محصولات مختلف کشاورزی مانند گندم و ذرت نیستند. در این پژوهش ضمن آن‌که شاخص‌های کیفیت خاک در ابعاد وسیع در منطقه خشک و نیمه خشک بررسی می‌شود، نقش آن‌ها در عملکرد گندم نیز ارزیابی می‌گردد. با وجود قرار گرفتن استان البرز در منطقه نیمه خشک، این استان رتبه دوم کشوری را در میانگین عملکرد گندم آبی کشور دارد. لذا ارزیابی کیفیت خاک منطقه و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت خاک و عملکرد گندم آبی در این منطقه ضروری است. بنابراین این پژوهش به‌منظور ارزیابی کیفیت خاک منطقه انجام گرفت و تأثیر ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و عملکرد گندم آبی در منطقه نظرآباد بررسی شد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت محل نقاط نمونه‌برداری خاک در استان البرز

Figure 1- Map of the study area and location of soil sampling points in Alborz province

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

کشتزارهای شهرستان نظرآباد محدوده‌ای از کشتزارهای آبی استان البرز با تناوب گندم و ذرت است که در ناحیه غرب استان با وسعتی حدود ۲۶۰۰۰ هکتار قرار گرفته، ۳۰ درصد از اراضی کشاورزی استان را شامل می‌شود. منطقه نظرآباد در موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این منطقه با میانگین بارندگی سالیانه ۲۳۸ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. در این مطالعه کل کشتزارهای نظرآباد مطالعه شد.

نمونه‌برداری خاک و تجزیه نمونه

کل منطقه مورد مطالعه به ۹۵ شبکه مربعی به ابعاد ۱۶۵۰ متر × ۱۶۵۰ متر تقسیم و نمونه‌های خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) از ۹۵ مزرعه برداشت شد (شکل ۱). نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شد و ویژگی‌های فیزیکی شامل اندازه‌گیری شن، سیلت، رس به روش هیدرومتری، پایداری ساختمان خاک به روش الک تر، چگالی ظاهری به روش سیلندر، چگالی حقیقی به روش پیکنومتر، تخلخل خاک از طریق چگالی ظاهری و حقیقی، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی دائم به وسیله صفحات فشاری، آب قابل استفاده از طریق رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی دائم، هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت (برای نمونه‌های با بافت متوسط) و بار افتان (برای نمونه‌های با بافت سنگین) (۲) و ویژگی‌های شیمیایی شامل شوری عصاره اشباع به وسیله EC سنج، واکنش گل اشباع به وسیله pH سنج، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک (۳۴)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (۲۲)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (۲۱) و پتاسیم قابل استفاده به روش استخراج با استات آمونیوم یک نرمال، سدیم محلول خاک به وسیله دستگاه فلیم فتومتر و مقدار کلسیم و منیزیم محلول با استفاده از عصاره اشباع خاک توسط روش کمپلکسومتری و از طریق تیتراسیون با EDTA در حضور معرف‌های اریوکروم بلاک‌تی و موروکساید (۲۲)، اندازه‌گیری و نسبت جذب سدیم (SAR) محاسبه شد (۲۲). از بین مزرعه‌های انتخاب شده، ۳۲ مزرعه تحت کشت گندم بودند و عملکرد دانه گندم در هر مزرعه با استفاده از روش کیل‌گیری با استفاده از شبکه یک متر مربعی اندازه گیری شد.

انتخاب حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک

برای انتخاب حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، در نرم افزار SPSS ۲۴ با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، مؤلفه‌های اصلی (PC) و ارزش ویژه (EV) تعیین شد. سپس در مؤلفه‌هایی با ارزش ویژه بالای یک، در هر مؤلفه، ویژگی با بالاترین ضریب بارگذاری انتخاب و ویژگی‌هایی با اختلاف ده درصد از بالاترین ضریب بارگذاری در هر مؤلفه به عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب شدند. ضریب بارگذاری، نشان‌دهنده توان مؤلفه‌های تعیین شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه است. برای تعیین مناسب بودن داده‌ها برای PCA از ضریب KMO استفاده شد. مقدار این ضریب همواره بین صفر و یک متغیر است. در صورتی‌که مقدار این ضریب کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب نیستند و اگر بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد با احتیاط بیشتر از داده‌ها می‌توان استفاده کرد. اگر بین ۰/۷ تا ۱ باشد تجزیه به مؤلفه های اصلی در کاهش داده‌ها مؤثر است (۱۲). یکی از فرض‌های اساسی در تحلیل عاملی این است که بین متغیرها باید همبستگی وجود داشته باشد. لذا برای اطمینان از وجود همبستگی بین متغیرها از آزمون بارتلت استفاده شد (۱۰). همچنین با توجه به این که ویژگی‌های انتخاب‌شده دارای واحدهای متفاوتی هستند، به‌منظور این‌که بتوان آن‌ها را در قالب یک شاخص کلی درآورد، ویژگی‌ها باید بدون واحد شوند. برای این منظور از توابع عضویت فازی استفاده شد (۳۲). با استفاده از توابع عضویت فازی، ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه خاک به امتیازات بدون بعد صفر (کمترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) تا یک (بیشترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) تبدیل شدند (۳۷).

سه نوع منحنی نمره‌دهی "Less is better"، "More is better" و "Optimum range" برای تبدیل مقادیر به امتیاز استفاده شد. منحنی‌های نمره‌دهی "More is better" و "Less is better" به‌ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲) و منحنی "Optimum range" از تلفیق روابط (۱) و (۲) به دست آمد (۱۸).

$$f(x,a,b)=\begin{cases}0 & x\le a\\ 2\left(\dfrac{x-a}{b-a}\right)^2 & a\le x\le \dfrac{a+b}{2}\\ 1-2\left(\dfrac{x-b}{b-a}\right)^2 & \dfrac{a+b}{2}\le x\le b\\ 1 & x\ge b\end{cases} \qquad (۱)$$

$$f(x,a,b)=\begin{cases}1 & x\le a\\ 1-2\left(\dfrac{x-a}{b-a}\right)^2 & a\le x\le \dfrac{a+b}{2}\\ 2\left(\dfrac{x-b}{b-a}\right)^2 & \dfrac{a+b}{2}\le x\le b\\ 0 & x\ge b\end{cases} \qquad (۲)$$

که در آنها: f(x) امتیاز ویژگی که بین صفر و یک است، x مقدار ویژگی، a مقدار آستانه پایین ویژگی و b مقدار آستانه بالای ویژگی هستند.

جدول ۱- طبقه بندی شاخص‌های کیفیت خاک (۲۰)

Table 1- Classification of soil quality grades

شاخص Index	روش انتخاب ویژگی Indicator method	کلاس کیفیت خاک (Soil quality grade)				
		خیلی خوب (I) Very high	خوب (II) High	متوسط (III) Moderate	پایین (IV) Low	خیلی پایین (V) Very high
NQI	حداقل ویژگی‌ها (MDS)	> 0.44	0.38- ۰0.44	0.31- 0.38	0.24- 0.31	< 0.24
	کل ویژگی‌ها (TDS)	> 0.48	0.41-0.48	0.34- 0.41	0.27- 0.34	< 0.27
IQI_a	حداقل ویژگی‌ها (MDS)	> 0.70	0.60- 0.70	0.50- 0.60	0.40- 0.50	< 0.40
	کل ویژگی‌ها (TDS)	> 0.71	0.61- 0.71	0.51- 0.61	0.41- 0.51	< 0.41
IQI_w	حداقل ویژگی‌ها (MDS)	> 0.69	0.59- 0.69	0.49- 0.59	0.39- 0.49	< 0.39
	کل ویژگی‌ها (TDS)	> 0.72	0.62- 072	0.52- 0.62	0.42- 0.52	< 0.42

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم در نمونه‌های اندازه‌گیری شده (n=۹۵)

Table 2- Soil physical and chemical properties and the yield of wheat in determined samples

ویژگی‌های خاک (soil properties)		کمینه (Min)	بیشینه (Max)	میانگین (Average)	انحراف معیار (Std. deviation)	کشیدگی (Skewness)	چولگی (Kortosis)
شن	Sand (%)	16.50	92.00	45.40	18.70	0.56	-0.50
سیلت	Silt (%)	1.50	48.50	29.50	11.40	-0.84	-0.13
رس	Clay (%)	3.00	45.00	25.10	9.20	0.09	-0.43
چگالی ظاهری	BD($g.cm^{-3}$)	1.20	1.72	1.45	0.12	0.08	-0.28
تخلخل	F (%)	35.23	54.40	45.60	4.30	-0.21	-0.18
میانگین وزنی قطر خاکدانه	MWD (cm)	0.00	2.48	0.64	0.45	0.97	2.07
آب قابل دسترس	AW (%)	4.94	19.90	12.28	3.06	-0.11	-0.07
هدایت هیدرولیکی اشباع	Ks ($m.day^{-1}$)	0.001	4.89	0.77	0.95	1.91	4.06
اسیدیته	pH	7.22	8.47	7.97	0.23	-1.04	1.86
هدایت الکتریکی	EC ($dS.m^{-1}$)	0.56	18.16	2.68	2.83	2.75	9.84
ماده آلی	OM (%)	0.46	4.68	1.61	0.35	1.50	5.69
کربنات کلسیم معادل	CCE (%)	7.70	34.60	16.19	4.35	0.69	3.11
نسبت جذب سدیم	SAR	0.48	217.00	5.52	2.07	9.56	29.50
فسفر قابل استفاده	P_{ava} ($mg.kg^{-1}$)	3.00	174.00	27.50	33.24	2.21	4.88
پتاسیم قابل استفاده	K_{ava} ($mg.kg^{-1}$)	135.00	1455.00	436.00	238.00	1.76	4.44
آهن	Fe ($mg.kg^{-1}$)	1.70	17.36	5.82	2.48	1.24	3.64
مس	Cu ($mg.kg^{-1}$)	0.62	3.38	1.74	0.63	0.63	0.35
منگنز	Mn ($mg.kg^{-1}$)	2.56	22.22	9.04	3.74	1.29	1.95
بور	B ($mg.kg^{-1}$)	0.00	19.89	2.75	2.55	4.82	28.4
روی	Zn ($mg.kg^{-1}$)	0.22	4.92	1.21	1.01	1.86	3.36
تنفس میکروبی	SMR ($mg\ CO_2.\ day^{-1}.g^{-1}$)	0.31	1.79	0.92	0.27	0.34	0.48
عملکرد دانه	Grain Yield ($kg.ha^{-1}$)	2700	10000	5934	1592	0.51	0.34

جدول ۳- همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم در نمونه‌های اندازه‌گیری شده

Table 3- Correlation between soil physical and chemical properties and the yield of wheat in measured samples

	Sand	Silt	Clay	BD	F	Ks	AW	MWD	pH	EC	OM	TNV	SAR	P_{ava}	K_{ava}	Fe	Mn	Zn	Cu	B	SMR	Yield
Sand	1																					
Silt	-0.93**	1																				
Clay	-0.89**	0.65**	1																			
BD	0.02	-0.03	0.0	1																		
F	-0.06	0.09	0.01	-0.98**	1																	
Ks	0.67**	-0.59**	-0.63**	-0.24**	0.23*	1																
AW	-0.89**	0.85**	0.76**	0.19*	-0.13	-0.62**	1															
MWD	-0.63**	0.52**	0.63**	-0.11	0.12	-0.45**	0.51**	1														
pH	0.11	-0.19*	0.01	0.0	-0.04	0.08	-0.10	-0.01	1													
EC	-0.05	0.07	0.0	0.01	0.02	-0.06	0.04	-0.05	-0.54**	1												
OM	-0.48**	0.36**	0.53**	-0.31**	0.29**	-0.37**	0.43**	0.52**	-0.17*	0.06	1											
TNV	-0.24*	0.04	0.43**	-0.12	0.08	-0.20*	0.22*	0.27**	0.11	-0.12	0.55**	1										
SAR	-0.04	0.03	0.04	0.03	-0.02	-0.07	0.03	-0.07	-0.22*	0.30**	0.07	0.03	1									
P_{ava}	-0.08	0.04	-0.13	-0.16	0.13	-0.07	0.05	0.04	-0.23*	0.25**	-0.54**	0.21*	-0.11	1								
K_{ava}	-0.13	0.08	0.17*	-0.11	0.07	-0.11	0.11	0.04	0.16	0.24*	0.38**	0.09	0.25**	0.72**	1							
Fe	-0.09	0.0	0.19*	-0.08	0.02	-0.14	0.04	0.15	0.02	-0.23*	0.42**	0.17	-0.05	0.34**	0.18**	1						
Mn	-0.22*	0.24**	0.14	0.12	-0.10	-0.16	-0.23*	-0.15	-0.36**	0.29**	-0.22*	-0.14	-0.05	-0.36**	0.26**	0.19*	1					
Zn	-0.14	0.12	0.13	-0.18*	0.18*	-0.03	0.09	-0.04	-0.38**	0.33**	0.48**	0.20*	-0.09	0.82**	0.46**	0.33**	0.43**	1				
Cu	-0.67**	0.63**	0.60**	-0.03	0.04	-0.48**	0.52**	0.40**	-0.27**	0.16	0.34**	0.04	0.09	0.25**	0.26**	0.33**	0.43**	0.32**	1			
B	0.11	-0.10	-0.09	-0.01	0.02	0.09	-0.09	-0.09	0.12	0.09	0.13	0.01	0.03	0.26**	0.35**	0.13	0.08	0.04	-0.06	1		
SMR	-0.42**	0.34**	۰/۴۴**	-0.25**	0.25**	-0.19*	0.42**	0.44**	0.10	-0.08	0.55**	0.33**	0.03	0.18*	0.23	0.30**	-0.01	0.05	0.22*	0.36**	1	
Yield	0.05	0.02	-0.11	-0.15	-0.13	0.01	-0.11	0.16	-0.28	0.37*	-0.17	0.30*	0.26	0.35*	-0.10	-0.31*	-0.05	0.33*	-0.22	-0.21	-0.04	1

علائم استفاده شده در معادلات عبارتند از: P_{ava}: فسفر قابل استفاده، K_{ava}: پتاسیم قابل استفاده،pH: واکنش،TNV: کربنات کلسیم معادل، Fe: آهن، Zn: روی، Cu: مس، Mn: منگنز،B: بور، EC: شوری، SAR: نسبت سدیم تبادلی،OM: ماده آلی،Silt: سیلت، Clay: رس، BD: چگالی ظاهری،F: تخلخل،AW: آب قابل دسترس،MWD: پایدار ساختمان خاک‌دانه، Ks: هدایت هیدرولیکی اشباع،SMR: تنفس میکروبی خاک.

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح یک درصد و ۵ درصد است.

در ادامه سهم اشتراک‌پذیری[1] هر ویژگی به روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌وسیله نرم‌افزارهای SPSS ۲۴ انجام شد سپس نسبت مقدار سهم اشتراک‌پذیری هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم اشتراک‌پذیری کل ویژگی‌ها در هر مجموعه، به‌عنوان وزن هر ویژگی برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در نظر گرفته شد. سپس وارد معادلات شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی ساده (IQI_A) و وزنی (IQI_W) و کیفیت نمورو (NQI) (۷) شدند و در نهایت یک مقدار به‌عنوان شاخص کیفیت خاک ارائه شد (۲۳). شاخص کیفیت خاک تجمعی ساده (IQI_A) و وزنی (IQI_W) به ترتیب به‌صورت زیر هستند:

$$IQI_W = \sum_{i=1}^{n} S_i W_i \qquad (۳)$$

$$IQI_A = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_i}{n} \qquad (۴)$$

که در آنها: S_i مقدار هر ویژگی خاک (امتیاز ویژگی)، W_i وزن هر ویژگی خاک و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است (۱۸). شاخص کیفیت نمورو (NQI) از رابطه زیر به دست آمد:

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ava}{}^2 + P_{\min}{}^2}{2}} \times \frac{n-1}{n} \qquad (۵)$$

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

جدول ٤- تست بارتلت و KMO

Table 4- Bartlett`s test and Kaiser-Meyer-Olkin

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)		**0.72**
آزمون کرویت بارتلت (Bartlett`s test)	آماره کای اسکوار Approx. Chi-Square	2102.4
	درجه آزادی (df)	210
	معنی‌داری (Significance)	0.0001

اعتبارسنجی شاخص‌های کیفیت خاک

برای اعتبارسنجی شاخص‌های کیفیت خاک، همبستگی بین عملکرد گندم آبی و شاخص‌های کیفیت نمورو (NQI)، تجمعی ساده (IQI_a) و وزنی (IQI_w) در کل ویژگی‌های خاک و نیز در حداقل ویژگی‌های انتخاب شده خاک تعیین شد و بهترین شاخص کیفیت خاک برای منطقه نظرآباد معرفی شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک کشتزارها

جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم را در نمونه‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. با توجه به میانگین رس (۲۵ درصد)، سیلت (۳۰ درصد) و شن (۴۵ درصد)، بیشتر نمونه‌ها دارای بافت لوم و لوم رسی هستند. مقدار pH خاک‌های منطقه در محدوده ۸/۴۷– ۷/۲۲ و میانگین آن حدود ۸ است. نظر به اینکه pH مطلوب برای رشد گندم ۷ است (۳۱)، لذا pH خاک کشتزارهای منطقه بالاتر از حد مطلوب برای رشد گندم است. منطقه مورد مطالعه از نظر مقدار آهن، روی، منگنز، بر، مس، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، شوری و سدیمی بودن محدودیتی برای رشد گندم ندارد. به‌دلیل ماده آلی پایین، منطقه مورد مطالعه از نظر پایداری ساختمان و آب قابل دسترس ضعیف و دارای محدودیت است. با توجه به وجود تغییرات زیاد ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه، عملکرد گندم در منطقه به شدت متغیر است و از ۲۷۵۰ تا ۱۰۵۰۰ کیلوگرم با میانگین عملکرد ۵۹۳۰ کیلوگرم در هکتار تغییر می‌کند.

جدول ۳ همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم در کشتزارهای گندم آبی را نشان می‌دهد. عملکرد دانه گندم همبستگی معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) با فسفر قابل استفاده ($r=۰/۳۵$)، آهن ($r=۰/۳۱$)، روی ($r=۰/۳۳$)، شوری ($r=۰/۳۷$) و کربنات کلسیم معادل ($r=۰/۳۰$) دارد. بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، تنفس میکروبی خاک با ویژگی‌های فیزیکی، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل، آهن و بر همبستگی معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) دارد. آب قابل استفاده و هدایت هیدرولیکی اشباع بیشترین همبستگی ($p<۰/۰۱$) را با اجزای بافت خاک، پایداری ساختمان خاک و کربن آلی دارند.

جدول ۴ نتایج آزمون بارتلت و KMO را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مقادیر KMO بالاتر از ۰/۷ است و آزمون بارتلت در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار است و نشان می‌دهد که داده‌ها برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و انتخاب حداقل ویژگی‌ها مناسب هستند.

انتخاب مؤلفه‌های اصلی کیفیت خاک

جدول ۵ مقادیر ارزش ویژه (EV)، درصد تجمعی واریانس و ضریب بارگذاری ویژگی‌های انتخاب شده را در مؤلفه‌های انتخاب شده نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، شش مؤلفه دارای مقدار ارزش ویژه (EV) بزرگ‌تر از یک هستند. در مؤلفه اول با ارزش ویژه ۶/۰۶، شن با بالاترین ضریب بارگذاری ۰/۹۰–، مؤلفه دوم با ارزش ویژه ۳/۱۷، فسفر قابل استفاده با ضریب بارگذاری ۰/۷۷، مؤلفه سوم با ارزش ویژه ۲/۴۸، چگالی ظاهری با ضریب بارگذاری ۰/۶۶–، مؤلفه چهارم با ارزش ویژه ۱/۷۷، تخلخل با ضریب بارگذاری ۰/۶۳–، مؤلفه

1- Communality

پنجم با ارزش ویژه ۱/۳۱، نسبت جذب سدیم (SAR) با ضریب بارگذاری ۰/۶۳، مؤلفه ششم با ارزش ویژه ۱/۱۶، بر (B) با ضریب بارگذاری ۰/۶۰، با بالاترین ضریب بارگذاری در هر مؤلفه به‌عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب شدند و رس و آب قابل استفاده در مؤلفه اول، روی در مؤلفه دوم و کربنات کلسیم معادل در مؤلفه ششم با ضریب بارگذاری بالا تا ۱۰ درصد کمتر از بالاترین ضریب بارگذاری مؤلفه‌های مربوط نیز انتخاب شدند سپس در هر مؤلفه همبستگی بین ویژگی‌های انتخاب شده بررسی شد.

در مؤلفه اول بین شن، رس و آب قابل استفاده، در مؤلفه دوم بین فسفر قابل استفاده و روی و در مؤلفه سوم بین چگالی ظاهری و تخلخل همبستگی بالایی وجود داشت. بر این اساس در مؤلفه اول شن، در مؤلفه دوم فسفر قابل استفاده، در مؤلفه سوم چگالی ظاهری، در مولفه پنجم نسبت جذب سدیم و در مؤلفه ششم کربنات کلسیم معادل و بر به عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) انتخاب شدند. جیوهوز و همکاران (۱۱) نشان دادند که استفاده از مؤلفه‌های اصلی با ارزش ویژه بیشتر از یک می‌تواند ۷۶ درصد از تغییرات ویژگی‌های خاک را بیان کند.

جدول ۶ منحنی نمره‌دهی، حد بهینه، حد کمینه و بیشینه محدود کننده ویژگی‌های اندازه‌گیری شده برای رشد محصول گندم آبی را نشان می‌دهد. با استفاده از توابع عضویت فازی، ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه خاک به امتیازات بدون بعد صفر تا یک تبدیل شدند. برای این منظور برای ویژگی‌های تخلخل، پایداری خاکدانه‌ها، آب قابل دسترس، هدایت هیدرولیکی اشباع، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، آهن، منگنز، مس، روی و تنفس میکروبی از منحنی "Less is better"، برای ویژگی‌های نسبت جذب سدیم، چگالی ظاهری، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل از منحنی "Less is better" و برای ویژگی‌های مانند واکنش، شن، سیلت و رس از منحنی "Optimum range" استفاده شد (۵).

وزن‌دهی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده

جدول ۷ مقادیر اشتراک‌پذیری و وزن ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در دو روش (استفاده از کل ویژگی‌ها و استفاده از حداقل ویژگی های انتخاب شده) را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، در هر دو سری (کل و حداقل ویژگی‌ها)، ویژگی‌های فیزیکی وزن بالاتری نسبت به ویژگی‌های شیمیایی خاک دارند. بنابراین منطقه مورد مطالعه از نظر ویژگی‌های فیزیکی دارای محدودیت کمتری نسبت به ویژگی‌های شیمیایی خاک است. لذا با مدیریت کوددهی مناسب و بهبود ویژگی-های شیمیایی خاک می‌توان کیفیت خاک منطقه را بهبود بخشید. کاربرد کود دامی علاوه بر بهبود شرایط شیمیایی خاک موجب بهبود شرایط فیزیکی خاک مثل افزایش آب قابل دسترس، بهبود ساختمان خاک شده و موجب بهبود کیفیت خاک و افزایش عملکرد گندم آبی خواهد شد. همچنین با توجه به اسیدیته خاک منطقه، با مدیریت کوددهی مناسب و استفاده از اصلاح کننده‌هایی مثل گوگرد می‌توان اسیدیته خاک را کاهش داد و شرایط جذب عناصر غذایی را بهبود و موجب افزایش عملکرد گندم شد. رمضانی و همکاران (۲۶) با بررسی کیفیت خاک در منطقه خوزستان اشاره کردند که pH بالا (۷/۲۷-۸/۱۹) با کاهش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف بیشترین محدودیت را برای رشد گیاهان و کاهش کیفیت خاک داشتند. خادم و همکاران (۱۴) طی پژوهشی نشان دادند که با افزایش گوگرد به خاک اسیدیته خاک کاهش یافته و میزان عناصر کم مصرف آهن و منگنز قابل جذب خاک افزایش یافته است.

جدول ۵- مقادیر ارزش ویژه، درصد تجمعی واریانس و ضریب بارگذاری ویژگی‌های انتخاب شده در مؤلفه‌ها

Table 5- Eigenvalues, cumulative percent of variance and loading coefficient of selected properties in the components

	Components مؤلفه‌ها					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
ارزش ویژه (Eigen value)	6.06	3.17	2.48	1.77	1.31	1.16
درصد تجمعی واریانس (Cumulative percent)	28.84	43.93	55.74	64.19	7.44	75.97
P_{ava}	-	**0.77**	-	-	-	-
Zn	-	0.71	-	-	-	-
AW	0.81	-	-	-	-	-
TNV	-	-	-	-	-	**-0.59**
B	-	-	-	-	-	**0.60**
SAR	-	-	-	-	**0.63**	-
BD	-	-	**-0.66**	0.57	-	-
F	-	-	0.63	-0.63	-	-
Clay	0.85	-	-	-	-	-
Sand	**-0.90**	-	-	-	-	-

جدول ٦- تابع نمره‌دهی، حد بهینه، کمینه و بیشینه محدود کننده ویژگی‌های اندازه‌گیری شده برای رشد گندم

Table 6- Scoring functions and upper, optimum and lower threshold values of measured properties for wheat growth

ویژگی‌های خاک soil properties			تابع نمره‌دهی scoring Function	حد کمینه محدود کننده Lower threshold values	حد بهینه محدود کننده Optimum threshold values	حد بیشینه محدود کننده Upper threshold values
شن	Sand (٪)		Optimum renge	10	40	85
سیلت	Silt (٪)		Optimum renge	20	40	60
رس	Clay (٪)		Optimum renge محدوده مناسب	10	20	60
چگالی ظاهری	BD ($g.cm^{-3}$)	شنی و شن لومی	Less is better کمتر بهتر است			1.8
		لوم شنی				1.75
		لوم و لوم رسی شنی لومی رسی				1.7
						1.65
		لومی رسی سیلتی رسی				1.5
						1.4
تخلخل	F (٪)	شنی و شن لومی	More is better بیشتر بهتر است			32
		لوم شنی				34
		لوم و لوم رسی شنی لومی رسی				36
						38
		لومی رسی سیلتی رسی				43
						47
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	MWD (cm)		More is better	0		3.38
آب قابل دسترس	AW (٪)		More is better	15		25
هدایت هیدرولیکی اشباع	Ks ($m.day^{-1}$)		More is better	0.002		2
اسیدیته	pH		Optimum renge	5	7	8.4
هدایت الکتریکی	EC ($dS.m^{-1}$)		Less is better	6		20
ماده آلی	OM (٪)		More is better	0		2
کربنات کلسیم معادل	CCE (٪)		Less is better	15		50
نسبت جذب سدیم	SAR		Less is better	13		20
فسفر قابل استفاده	P_{ava} ($mg.kg^{-1}$)		More is better	5		15
پتاسیم قابل استفاده	K_{ava} ($mg.kg^{-1}$)		More is better	100		200
آهن	Fe ($mg.kg^{-1}$)		More is better	2.5		7.5
مس	Cu ($mg.kg^{-1}$)		More is better	0		0.5
منگنز	Mn ($mg.kg^{-1}$)		More is better	3		10
بور	B ($mg.kg^{-1}$)		More is better	1		3
روی	Zn ($mg.kg^{-1}$)		More is better	0.25		1
تنفس میکروبی	SMR (mg CO_2. $day^{-1}.g^{-1}$)		More is better	0		1.78

وضعیت کیفیت خاک منطقه

جدول ۸ وضعیت کیفیت خاک در زمین‌های کشاورزی منطقه نظرآباد را با استفاده از شاخص‌های کیفیت نمورو (NQI) و تجمعی ساده (IQI_a) و وزنی (IQI_w) در کل ویژگی‌ها و حداقل ویژگی‌های انتخاب شده نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، منطقه نظرآباد دارای محدوده وسیعی از نظر مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک است ولی با توجه به میانگین و میانه شاخص‌های کیفیت (جدول ۸) بیش از ۵۰ درصد نقاط مورد مطالعه در کلاس خوب و خیلی خوب قرار دارد.

جدول ۹ همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد گندم آبی در کشتزارهای نظرآباد را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، بین مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک (NQI، IQI_w و IQI_a) که بر مبنای حداقل ویژگی‌های خاک و کل ویژگی‌های خاک به دست آمده‌اند، همبستگی معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) وجود دارد. به طوری که بین دو حالت (کل ویژگی‌های خاک و حداقل ویژگی‌های خاک) همبستگی معنی‌دار در شاخص‌های NQI ($r=۰/۶۸$) ، IQI_w ($r=۰/۷۶$) و IQI_a ($r=۰/۷۳$) مشاهده شد. شهاب آرخازلو و همکاران (۲۹) در پژوهشی نشان دادند که در زمین‌های کشاورزی بین استفاده از حداقل داده‌ها و کل داده‌ها در شاخص کیفیت نمورو ($r=۰/۸۷$) و

تجمعی وزنی (r=۰/۹۰) همبستگی معنی‌داری (p<۰/۰۱) است. همچنین در هر دو روش انتخاب ویژگی‌های خاک (حداقل داده‌ها و کل داده‌ها)، بین NQI، IQI_w و IQI_a همبستگی معنی‌داری (p<۰/۰۱) وجود دارد. رحمانی‌پور و همکاران (۲۴) در پژوهشی در زمین‌های کشاورزی استان قزوین نشان دادند که مدل IQI (۰/۳۴ =r) بهتر از مدل NQI (r=۰/۲۳) است. نبی‌اللهی و همکاران (۲۰) نیز در پژوهشی در اراضی کشاورزی تحت تأثیر شوری در استان کردستان ایران نشان دادند که IQI_W (R^2 = ۰/۸۲) بهتر از IQI_a (R^2 = ۰/۷۸) و NQI (R^2 = ۰/۷۴) است. بین عملکرد گندم آبی و IQI_w (r=۰/۶۸)، IQI_a (r=۰/۶۷) و NQI (r=۰/۶۲) با حداقل ویژگی‌ها همبستگی معنی‌دار (p<۰/۰۱) است و این همبستگی در روش استفاده از کل ویژگی‌ها به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۵۸ و ۰/۵۸ است.

لی و همکاران (۱۶) در پژوهشی در استان جیانگشی چین نشان دادند که بین شاخص کیفیت خاک و عملکرد برنج همبستگی معنی‌دار (p<۰/۰۱) است. سینگ و همکاران (۳۰) در پژوهشی نشان دادند که بین کیفیت خاک نسبی (RSQI) و عملکرد محصول کنف (r=۰/۸۹) و عملکرد گندم (r=۰/۹۰) همبستگی معنی‌داری مشاهده شد.

جدول ۷- مقادیر وزن ویژگی‌های اندازه گیری شده در روش استفاده از کل ویژگی‌ها (TDS) و حداقل ویژگی‌های (MDS)

Table 7- weight values of soil properties in the TDS and MDS methods

ویژگی‌های خاک (Soil properties)		کل داده‌ها (TDS)		حداقل داده‌ها (MDS)	
		اشتراک‌پذیری (Communality)	وزن (Weight)	اشتراک‌پذیری (Communality)	وزن (Weight)
شن	Sand (٪)	0.95	0.06	0.63	0.17
سیلت	Silt (٪)	0.87	0.05		
رس	Clay (٪)	0.83	0.05		
چگالی ظاهری	BD ($g.cm^{-3}$)	0.96	0.06	0.55	0.15
تخلخل	F(٪)	0.97	0.06		
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	MWD (cm)	0.57	0.04		
آب قابل دسترس	AW (٪)	0.84	0.05		
هدایت هیدرولیکی اشباع	Ks ($m.day^{-1}$)	0.65	0.04		
اسیدیته	pH	0.63	0.04		
هدایت الکتریکی	EC ($dS.m^{-1}$)	0.69	0.04		
ماده آلی	OM (٪)	0.81	0.05		
کربنات کلسیم معادل	CCE (٪)	0.77	0.05	0.57	0.15
نسبت جذب سدیم	SAR	0.57	0.04	0.68	0.18
فسفر قابل استفاده	P_{ava} ()$mg.kg^{-1}$)	0.85	0.05	0.64	0.17
پتاسیم قابل استفاده	K_{ava} ($mg.kg^{-1}$)	0.67	0.04		
آهن	Fe ($mg.kg^{-1}$)	0.67	0.04		
مس	Cu ($mg.kg^{-1}$)	0.67	0.04		
منگنز	Mn ($mg.kg^{-1}$)	0.68	0.04		
بور	B ($mg.kg^{-1}$)	0.82	0.05	0.64	0.17
روی	Zn ($mg.kg^{-1}$)	0.82	0.05		
تنفس میکروبی	SMR (mg CO_2. $day^{-1}.g^{-1}$)	0.72	0.04		

جدول ۸- وضعیت کیفیت خاک در زمین‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه

Table 8- Soil quality status in agricultural areas of the study area

شاخص Index	روش انتخاب ویژگی Indicator method	کمینه Min	بیشینه Max	میانگین Mean	میانه Median
NQI	حداقل ویژگی‌ها (MDS)	0.23	0.81	0.44	0.43
	کل ویژگی‌ها (TDS)	0.29	0.53	0.42	0.43
IQI_a	حداقل ویژگی‌ها (MDS)	0.39	0.98	0.71	0.72
	کل ویژگی‌ها (TDS)	0.43	0.79	0.62	0.63
IQI_w	حداقل ویژگی‌ها (MDS)	0.39	0.98	0.71	0.72
	کل ویژگی‌ها (TDS)	0.40	0.81	0.62	0.64

جدول ۹- همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد گندم در کشتزارهای آبی منطقه مورد مطالعه

Table 9- Correlation between soil quality indices and the yield of wheat in the irrigated farms of the study area

شاخص * Index	انتخاب ویژگی Indicator method	حداقل ویژگی‌ها (MDS)			کل ویژگی‌ها (TDS)			عملکرد گندم Wheat Yield
		IQI_w	IQI_a	NQI	IQI_w	IQI_a	NQI	
IQI_w	حداقل ویژگی‌ها (MDS)	1						
IQI_a		1.00**	1					
NQI		0.94**	0.94**	1				
IQI_w	کل ویژگی‌ها (TDS)	0.76**	0.76**	0.79**	1			
IQI_a		0.72**	0.73**	0.68**	0.99**	1		
NQI		0.72**	0.73**	0.68**	0.99**	1.00**	1	
عملکرد گندم (Wheat Yield)		0.68**	0.67**	0.62**	0.61**	0.58**	0.58**	1

*: IQI_w: شاخص کیفیت تجمعی وزنی (Weighted additive soil quality index)، IQI_a: شاخص کیفیت تجمعی ساده (Additive soil quality index) و NQI: شاخص کیفیت نمورو (Nemero quality index)

جدول ۱۰- مساحت زمین‌های کشاورزی در کلاس‌های کیفیت خاک (درصد)

Table 10- Land area in soil quality classes (%)

شاخص Index	روش انتخاب ویژگی Indicator method	کلاس کیفیت خاک Soil quality grade				
		خیلی خوب (I) Very high	خوب (II) High	متوسط (III) Moderate	پایین (IV) Low	خیلی پایین (V) Very high
NQI	حداقل ویژگی‌ها (MDS) Minimum data set	42.11	29.47	20.00	7.37	1.05
	کل ویژگی‌ها (TDS) Total data set	15.79	42.11	29.47	12.63	0
IQI_a	حداقل ویژگی‌ها (MDS) Minimum data set	56.84	24.21	13.68	4.21	1.05
	کل ویژگی‌ها (TDS) Total data set	17.89	45.26	27.37	9.47	0
IQI_w	حداقل ویژگی‌ها (MDS) Minimum data set	56.84	25.26	11.58	6.32	0
	کل ویژگی‌ها (TDS) Total data set	15.79	38.95	28.42	15.79	1.05

جدول ۱۰ مساحت زمین‌های کشاورزی منطقه نظرآباد را در کلاس‌های کیفیت خاک نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، در شاخص های NQI، IQI_w و IQI_a در روش استفاده از حداقل ویژگی‌ها نسبت به روش استفاده از کل ویژگی‌ها، درصد کشتزارهایی با کیفیت خیلی خوب (کلاس I) بیشتر ولی سایر کلاس‌ها کمتر شده است. یعنی در روش استفاده از حداقل داده‌ها سطح کلاس کیفیت خاک بیشتر شده است در صورتیکه نبی‌اللهی و همکاران (۲۰) در اراضی شور استان کردستان ایران نشان داد که در روش استفاده ار حداقل داده‌ها نسبت به کل داده‌ها مساحت و نمرات کلاس خیلی خوب و خوب کاهش و مساحت و نمرات زمین‌های با کیفیت پایین و خیلی پایین افزایش داشت. رنجبر و همکاران (۲۶) با بررسی کیفیت خاک در برخی از مناطق زعفران کاری ایران (منطقه قائن در خراسان جنوبی)، نشان دادند که شاخص کیفیت تجمعی (IQI) با استفاده از مجموعه کل داده‌ها (r=۰/۴۴) مؤثرترین روش برای ارزیابی کیفیت خاک در مزارع زعفران است. همچنین در روش IQI_a سطح کشتزارهای با کیفیت خیلی خوب بالاترین و در روش NQI، پایین‌ترین است ولی در کلاس خوب بالاترین و پایین‌ترین سطح به ترتیب مربوط به NQI و IQI_w است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در کشتزارهای منطقه نظرآباد عملکرد گندم آبی تحت تأثیر بافت، فسفر قابل استفاده، آهن، بر، چگالی ظاهری،

نسبت جذب سدیم و کربنات کلسیم معادل خاک قرار دارد. بین روش‌های شاخص کیفیت تجمعی وزنی (IQI_w) و ساده (IQI_a) و شاخص کیفیت نمورو (NQI) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. همچنین بین شاخص‌های کیفیت تجمعی وزنی و ساده و شاخص کیفیت نمورو بر مبنای استفاده از حداقل ویژگی‌ها و کل ویژگی‌ها همبستگی معنی دار است. همبستگی بین عملکرد گندم آبی و شاخص‌های کیفیت خاک بر مبنای حداقل ویژگی‌های خاک قوی‌تر از استفاده از کل ویژگی‌های خاک است لذا استفاده از حداقل ویژگی‌ها به دلیل نتایج بهتر و صرف زمان و هزینه کمتر مناسب‌تر از روش استفاده از کل ویژگی‌ها است. با توجه به نتایج، در روش‌های کیفیت تجمعی و نمورو به ترتیب حدود ۸۲ و ۷۲ درصد از کشتزارهای منطقه از کلاس خیلی خوب و خوب و به ترتیب حدود ۶ و ۸ درصد منطقه از کلاس پایین و خیلی پایین برخوردار است و منطقه مورد مطالعه از نظر ویژگی‌های فیزیکی مانند بافت خاک، چگالی ظاهری دچار محدودیت کمتری است. لذا با توجه به کیفیت مناسب خاک منطقه نظرآباد، می‌توان با مدیریت مناسب، عملکرد گندم را بالا برد. با توجه به محدودیت ماده آلی منطقه می‌توان با کاربرد کود دامی شرایط فیزیکی خاک را بهبود بخشید و موجب افزایش کیفیت خاک و عملکرد محصول گردید. همچنین با توجه به اسیدیته خاک منطقه، با استفاده از اصلاح کننده-هایی مثل گوگرد می‌توان اسیدیته خاک را کاهش داد و شرایط جذب عناصر غذایی را بهبود و موجب افزایش عملکرد گندم شد.

منابع

1- Aparicio V., and Costa J.L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. Soil and Tillage Research 96(1): 155-165.
2- Aria P., and Mirkhani R. 2005. Methods of Soil Physical Analysis, Technical Bulletin, Soil and Water Research Institute, Iran, No:479. (In Persian)
3- Brejda J.J., Moorman T.B., Smith J.L., Karlen D.L., Allan D.L., and Dao T.H. 2000. Distribution and variability of surface soil properties at a regional scale. Soil Science Society of America Journal 64(3): 974-982.
4- Cheng J., Ding C., Li X., Zhang T., and Wang X. 2016. Soil quality evaluation for navel orange production systems in central subtropical China. Soil and Tillage Research 155: 225-232.
5- Cherubin M.R., Karlen D.L., Cerri C.E., Franco A.L., Tormena C.A., Davies C.A., and Cerri C.C. 2016. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. PloS one 11(3): e0150860.
6- de Paul Obade V., and Lal R. 2016. Towards a standard technique for soil quality assessment. Geoderma 265: 96-102.
7- Doran J.W., and Parkin T.B. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. Methods for assessing soil quality/editors, John W. Doran and Alice J. Jones; editor-in-chief SSSA, Jerry M. Bigham; managing editor, David M. Kral; associate editor, Marian K. Viney.
8- Friedman D., Hubbs M., Tugel A., Seybold C., and Sucik M. 2001. Guidelines for soil quality assessment in conservation planning. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation.
9- Gong L., Ran Q., He G., and Tiyip T. 2015. A soil quality assessment under different land use types in Keriya river basin, Southern Xinjiang, China. Soil and Tillage Research 146: 223-229.
10- Jolliffe I.T. 1986. Principle component analysis. Springer-Verlag.
11- Juhos K., Szabó S., and Ladányi M. 2015. Influence of soil properties on crop yield: a multivariate statistical approach, International Agrophysics 29: 433-440.
12- Kaiser H.F. 1970. A Second-Generation Little Jiffy. Psychometrika 35(4): 401-415.
13- Karlen D.L., Rosek M.J., Gardner J.C., Allan D.L., Alms M.J., Bezdicek D.F., Flock M., Huggins D.R., Miller B.S., and Staben M.L. 1999. Conservation reserve program effects on soil quality indicators. Journal of Soil and Water Conservation 54(1): 439-444.
14- Khadem A., Golchin A., Mashhadi Jafarloo A., Zaree E., and Naseri E. 2014. Effect of Highly Acidified Soil on Soil Nutrient Availability and Corn (*Zea mays* L.) Growth. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 107: 1-7.
15- Larson W.E., and Pierce F.J. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In Evaluation for sustainable land management in the developing world: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai, Thailand 15-21.
16- Li P., Zhang T., Wang X., and Yu D. 2013. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. Soil and Tillage Research 126: 112-118.
17- Masto R.E., Chhonkar P.K., Singh D., and Patra A.K. 2008. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. Environmental Monitoring and Assessment 136(1-3): 419-435.
18- MATLAB R2015b. 2015. Software for technical computing and model-based design. The Mach Works Ins, USA.
19- Moshiri F., Shahabi A.A., Keshavarz P., Khogar Z., Feyzi Asl V., Tehrani M.M., Asadi Rahmani H., Samavat S., Gheibi M.N., Sedri M.H., Rashidi N., Saadat S., and Khademi Z. 2014. Guidelines for integrated soil fertility and

plant nutrition management of wheat. Soil and Water Research Institute, Iran. (In Persian)
20- Nabiollahi K., Taghizadeh-Mehrjardi R., Kerry R., and Moradian S. 2017. Assessment of soil quality indices for salt-affected agricultural land in Kurdistan Province, Iran. Ecological Indicators 83: 482-494.
21- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. of Agric. Circ. 939 pp.
22- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of Soil Analysis, part 2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America. Madison, WI.
23- Qi Y., Darilek J.L., Huang B., Zhao Y., Sun W., and Gu Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma 149(3): 325-334.
24- Rahmanipour F., Marzaioli R., Bahrami H.A., Fereidouni Z., and Bandarabadi S.R. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. Ecological Indicators 40: 19-26.
25- Ramezani F., Jafari S., Salavati A., and Khalili Moghaddam B. 2011. Study the Soil Quality Changes Indicators Using Nemoro and Integrated Quality Index Models in Some Khuzestan's Soils. Journal of Water and Soil 29(6): 1629-1639. (In Persian with English abstract)
26- Ranjbar A., Emami H., Khorasani R., and Karimi Karoyeh A.R. 2016. Soil Quality Assessments in Some Iranian Saffron Fields. Journal of Agricultural Science and Technology 18(3): 865-878.
27- Sánchez-Navarro A., Gil-Vázquez J. M., Delgado-Iniesta M.J., Marín-Sanleandro P., Blanco-Bernardeau A., and Ortiz-Silla R. 2015. Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems. Catena 131: 35-45.
28- Shahab Arkhazloo H., Emami H., Haghnia G.H., and Karimi A. 2013. Pore size distribution as a soil physical quality index for agricultural and pasture soils in northeastern Iran. Pedosphere 23(3): 312-320.
29- Shahab Arkhazloo H., Emami H., Haghnia Gh., and Karimi A. 2011. Determining most Important Properties for Soil Quality Indices of Agriculture and Range Lands in a some Parts of Southern Mashhad. Journal of Water and Soil 25(5), 1197-1205. (In Persian with English abstract)
30- Singh A.K., Mazumdar S.P., Saha A.R., and Kundu D.K. 2017. Soil Quality Changes Resulting from long-term fertilizer application under intensive cropping system in alluvial soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 48(13): 1503-1510.
31- SYS C., Van Ranst E., and Debaveye J. 1993. land evaluation. part III: crop requirements. General Administration for Development cooperation, Agricultural publication, No: 7, Brussels Belgium, 199 pp.
32- Torbert H.A., Krueger E., and Kurtener D. 2008. Soil quality assessment using fuzzy modeling. International Agrophysics 22(4): 365-370.
33- USDA. 2008. Soil Quality Indicator Sheets. USDA Natural Resources Conservation Service. https://www.nrcs.usda.gov.
34- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-37.
35- Wander M.M., Walter G.L., Nissen T.M., Bollero G.A., Andrews S.S., and Cavanaugh-Grant D.A. 2002. Soil quality. Agronomy Journal 94(1): 23-32.
36- Wang X.J., and Gong Z.T. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma 81: 339–355
37- Yanbing Q., Darilek J.L., Biao H., Yongcun Z., Sun W., and Gu Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma 149: 325-334.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 5, Nov.-Dec. 2020, p. 1125-1139

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۹، ص. ۱۱۳۹-۱۱۲۵

Investigation of the Soil Quality Indices in Irrigated Wheat Farms of Nazarabad Region in West of Alborz Province

R. Mirkhani[1]- A.R. Vaezi[2*]- H. Rezaei[3]

Received: 17-02-2020
Accepted: 26-07-2020

Introduction: Awareness of the physical, chemical and biological quality of soil in agriculture and natural resources is essential for optimal land management and achieving maximum economic productivity. Soil has various functions, including crop production ability, carbon storage, water retention, nutrient cycling, water filtering and etc. Thereby, the quality of soils can be taken into consideration depended on the purpose of their use. The soil quality indices are often regional; therefore, a set of indices cannot be used consistently to determine soil quality in all areas. In this study, the Nemero Soil Quality Index (NQI), the Weighted Additive Soil Quality Index (SQI_w), and the Additive Soil Quality Index (SQI_a) were determined using the total data set (TDS) and minimum data set (MDS) and the impact of properties affecting the soil quality and the yield of irrigated wheat were investigated, in Nazarabad region.

Materials and Methods: This study was carried out in 26000 hectares of Nazarabad agricultural lands, known as an area with irrigated farms in western Alborz province. The Nazarabad area was sub-divided into a network consisting of 95 squires of 1650 m × 1650 m. The surface soil (0-30 cm) was sampled from the farms located in the middle of each squire (9+5 soil samples from 95 farms) and the irrigated wheat was sampled from 32 farms. Then, soil physical properties including sand, silt, and clay percentages, soil structural stability (MWD), bulk density (BD), particle density, soil porosity (F), field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP), available water (AW), saturated hydraulic conductivity (Ks) and soil chemical properties including salinity (EC), pH, organic matter (OM), equivalent calcium carbonate (TNV), available phosphorus (P_{ava}), available potassium (K_{ava}), sodium absorption ratio (SAR) and soil microbial respiration (SMR) were measured. Effective properties on soil quality were selected using SPSS 24 by principal component analysis method (PCA). For this purpose, components with Eigen values greater than one were selected and in each component, properties with high loading coefficient up to 10% lower than the highest loading coefficient were selected MDS affecting soil quality. Then, the Nemero Soil Quality Index (NQI), the Weighted Additive Soil Quality Index (SQI_w) and Additive Soil Quality Index (SQI_a) were determined using TDS and MDS. For validating soil quality indices, the correlation between the yield of irrigated wheat and NQI, IQI_a and IQI_w indices were determined in MDS and TDS.

Results and Discussion: The results showed that the correlation between the soil quality indices (NQI, SQI_w and SQI_a) using TDS and MDS were significant ($p < 0.01$). In addition, a significant correlation was observed between methods of MDS and TDS in IQI_w ($r=0.76$), IQI_a ($r=0.73$) and NQI ($r=0.68$) indices. According to the results, there was a significant correlation ($p < 0.01$) between the yield of irrigated wheat and IQI_w ($r=0.68$), IQI_a ($r=0.67$) and NQI ($r=0.62$) using MDS method; and using TDS method this correlation values were 0.61, 0.58 and 0.58, respectively. The results indicated that using NQI, SQI_w and SQI_a indices based on MDS, 42, 57 and 57% of the study area were in very high quality category and 29, 25 and 24% were in high quality category, respectively. However, using NQI, SQI_w and SQI_a indices based on TDS, 16, 16 and 18% of the study area were in very high quality class and 42, 39 and 45% were in high quality class, respectively.

Conclusion: The results showed that in Nazarabad region, the yield of irrigated wheat was affected by texture, P_{ava}, B, SAR, Bd and TNV. There was no significant difference between IQI_w and IQI_a and NQI indices.

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Univrsity of Zanjan, Zanjan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: vaezi.alireza@gmail.com)
3- Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Alborz, Iran
DOI: 10.22067/jsw.v34i5.85526

In addition, the correlation between soil quality indices based on MDS and total data set was significant, and the correlation between the yield of irrigated wheat and the soil quality indices was stronger while using MDS rather than the use of TDS. Therefore, it seems that the use of MDS is more appropriate due to better results and fewer properties and less cost. According to the results obtained from Nazarabad region using NQI and SQI_w indices, nearly 82% and 72% of the area are in the very high and high quality class, about 6% and 8% are in the moderate quality class and about 7% are in very low and low quality class, respectively. The studied area is less restricted in terms of physical properties such as soil texture and bulk density. Consequently, due to the high quality of soils in Nazarabad region, it is possible to improve the yield of wheat by proper management

Keywords: Additive soil quality index, Nemero Quality Index, Principal component analysis, The yield of wheat