Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Evaluation of the soil quality of the lands under irrigated wheat cultivation in Tabriz plain

Rasoul Mirkhani[1]✉, Ahmad Bybordi[2], Saeed Saadat[3], Leila Esmaeelnejad[4], Hamed Rezaei[5]

1. Corresponding Author, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Alborz, Iran. E-mail: rasoul_mirkhani@yahoo.com
2. East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Agricultural Research, Education and Extension Organizationn, Tabriz, Iran. E-mail: ahmad.bybordi@gmail.com
3. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Alborz, Iran. E-mail: saeed_saadat@yahoo.com
4. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Alborz, Iran. E-mail: esmaeelnejad.leila@gmail.com
5. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Alborz, Iran. E-mail: rezaei_h@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 21, 2023

Revised: Dec. 3, 2023

Accepted: Dec. 11, 2023

Published online: Feb. 20, 2024

Keywords:
Additive Soil Quality Index,
Nemoro Quality Index,
Main Components,
Soil Function.

ABSTRACT

Soil has various tasks or functions, including the ability to produce crops, store carbon, store water, cycle nutrients and purify water. Soil functions have a high correlation with soil quality. Soil quality indices are often regional and to determine it, it is not possible to consistently use a set of idicators and indices in all regions. In this research, Additive Soil Quality Index (SQIa), the Weighted Additive Soil Quality Index (SQIw) and the Nemero Soil Quality Index (NQI) and the effect of effective characteristics on soil quality in surface soil (0-30 cm) and in the yield of 206 wheat field of East Azarbaijan Province (Tabriz Plain) in 2017 was investigated by measuring physical and chemical properties of soils and wheat grain yield. Organic carbon, bulk density, aveilble potassium and aveilble phosphorus and electrical conductivity were selected as The minimum data set (MDS) using principal component analysis (PCA). Then SQIa, SQIw and NQI were determined using TDS and MDS. The results showed that there is a correlation between wheat yield and soil quality indices using MDS (r=0.60-0.63) and using TDS (r=0.56-0.60) also there was a significant correlation ($p < 0.01$) between the use of TDS and MDS in NQI (r=0.81), SQIw(r=0.84) and SQIa (r=0.88) ($p<0.01$). Therefore, all three investigated indices are suitable for the study area and using MDS is more suitable than the method of using TDS due to relatively higher correlation and number of features and lower cost.

Cite this article: Mirkhani, R., Bybordi, A. Saadat, S., Esmaeelnejad, L., & Rezaei, H. (2024). Evaluation of the soil quality of the lands under irrigated wheat cultivation in Tabriz plain, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (12), 1981-1994. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.363792.669555

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.363792.669555

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۱۱ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

ارزیابی کیفیت خاک اراضی تحت کشت گندم آبی در دشت تبریز

رسول میرخانی[۱]✉، احمد بایبوردی[۲]، سعید سعادت[۳] ، لیلا اسمعیل‌نژاد[۴]، حامد رضایی[۵]

۱. نویسنده مسئول، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران. رایانامه:rasoul_mirkhani@yahoo.com

۲. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. رایانامه:ahmad.bybordi@gmail.com

۳. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران. رایانامه:saeed_saadat@yahoo.com

۴. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران. رایانامه: esmaeelnejad.leila@gmail.com

۵. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران. رایانامه: rezaei_h@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱

واژه‌های کلیدی:
شاخص کیفیت تجمعی،
شاخص کیفیت نمورو،
کارکرد خاک،
مؤلفه‌های اصلی.

چکیده

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. کارکردهای خاک همبستگی بالایی با کیفیت خاک دارد. لذا آگاهی از کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در کشاورزی برای مدیریت بهینه کشتزارها و دستیابی به بیشترین بهره وری اقتصادی ضروری است. شاخص‌های کیفیت خاک اغلب منطقه‌ای بوده و برای تعیین آن، در همه مناطق نمی توان به طور ثابت از یک مجموعه از شناسه‌ها و معیارها استفاده نمود. در این پژوهش شاخص‌های کیفیت تجمعی ساده (SQIA) و تجمعی وزنی (SQIW) و نمورو (NQI) و تأثیر ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) و عملکرد گندم در ۲۰۶ گندم‌زار استان آذربایجان شرقی (دشت تبریز) در سال ۱۳۹۷ با اندازه گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و عملکرد دانه گندم بررسی شد. با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، سیلت، پتاسیم و فسفر قابل استفاده و هدایت الکتریکی به عنوان حداقل ویژگی‌ها (MDS) انتخاب شدند. سپس شاخص‌های SQIw، SQIa و NQI با استفاده از کل ویژگی‌ها (TDS) و حداقل ویژگی‌ها (MDS) تعیین شدند. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد ($p<۰/۰۱$) بین عملکرد گندم و شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از حداقل ویژگی‌ها ($r=۰/۶۰-۰/۶۳$) و استفاده از کل ویژگی ها ($r=۰/۵۶-۰/۶۰$)، همچنین بین استفاده از کل ویژگی‌ها و حداقل ویژگی‌ها در NQI (81/0=r)، SQIw (84/0=r) و SQIa (88/0=r) وجود دارد. لذا هر سه شاخص مورد بررسی برای منطقه مورد مطالعه مناسب بوده و استفاده از حداقل ویژگی‌ها به دلیل همبستگی نسبتاً بالاتر و تعداد ویژگی‌ها و هزینه کمتر، مناسب‌تر از روش استفاده از کل ویژگی‌ها می‌باشد.

استناد: میرخانی، رسول؛ بایبوردی، احمد؛ سعادت، سعید؛ اسمعیل‌نژاد، لیلا؛ رضایی، حامد (۱۴۰۲). ارزیابی کیفیت خاک اراضی تحت کشت گندم آبی در دشت تبریز، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۱۲)، ۱۹۹۴-۱۹۸۱. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.363792.669555

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.363792.669555

مقدمه

از دیدگاه کشاورزی، کیفیت خاک عبارت از توانایی تولید محصول یا باروری خاک است. با توجه به افزایش جمعیت و اهمیتی که خاک در ارتباط با تأمین غذای جمعیت رو به رشد جهان ایفا می‌کند، شناخت کیفیت خاک مهم می‌باشد. از طرفی ارتباط قوی بین کشاورزی پایدار و کیفیت خاک وجود دارد. در خصوص کیفیت خاک تعاریف زیادی ارائه شده که در بیشتر آن‌ها، تأکید اصلی بر توانایی خاک در انجام وظایف مورد نظر(کارکردهای خاک) است (Doran and Parkin, 1996). برای مثال Karlen et al. (1999) و Obade and Lal (2016) 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 افزون بر حفظ حاصلخیزی، توانایی بهبود کیفیت آب و هوا و همچنین تأمین سلامت انسان، حیوان و گیاه را دارا باشد. Patzel et al. (2000) بیان داشتند که کیفیت خاک شامل مجموعه‌های متنوعی از ویژگی‌های مختلف خاک است که با توجه به پیچیدگی‌های آن‌ها در صورت مرتبط بودن با کارکردهای مورد نظر خاک می‌توانند معیار مناسبی از کیفیت خاک باشد؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که کیفیت خاک مفهومی از کارکردهای خاک است. بخشی از ناپایداری سیستم کشاورزی به دلیل کاهش کیفیت خاک در طول زمان می‌باشد. امروزه افزایش جمعیت در کشورهای در حال توسعه، موجب افزایش بهره‌برداری فراتر از ظرفیت منابع طبیعی و تخریب خاک شده که این امر تولید محصول را نیز کاهش می‌دهد (Qi *e*t al., 2009).

کیفیت خاک را می‌توان با روش‌های کمی یا کیفی تعیین کرد. ارزیابی کمی کیفیت خاک با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک انجام می‌گیرد (Toledo et al., 2013). ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک می‌توانند مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و یا ترکیبی از آن‌ها باشند (Aparicio and Casta, 2007). به‌منظور بررسی وضعیت کیفیت خاک بایستی از ویژگی‌های معرف کیفیت پویای خاک بهره‌گیری نمود که نسبت به تغییر کاربری زمین و اعمال مدیریت‌های مختلف حساس و اثرپذیر باشند. با توجه به آن‌که نمی‌توان همه ویژگی‌ها را اندازه‌گیری نمود، بسته به اهداف و شرایط مطالعات پایش، اغلب حساس‌ترین آن‌ها در برابر تغییرات انتخاب می‌گردد. در طول دهه‌های گذشته شاخص‌های بسیاری برای ارزیابی کیفیت خاک در دنیا توسعه پیدا کرده است. برخی از شاخص-های کیفیت خاک با استفاده از یک و یا تعداد محدودی از ویژگی‌های خاک استخراج می‌شوند. انتخاب ویژگی‌ها، وزن‌دهی و مدل‌های ترکیب‌کننده آن‌ها توسط پژوهش‌گران مختلف و بر اساس برخی مبانی نظری ارائه شده است (Fridman et al., 2001). ازجمله این مدل‌ها می‌توان به معادله شاخص کیفیت نمورو (NQI) (Doran and Parkin, 1996)، چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) (Andrews et al., 2004) و شاخص کیفیت نرمال شده (QI_N) اشاره کرد که در کاربری‌های کشاورزی و زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مدل‌ها مجموعه‌ای از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در قالب یک مدل ریاضی با هم ترکیب و به‌صورت عددی ارائه می‌شود که این عدد به‌عنوان شاخص کلی کیفیت خاک بوده و منعکس‌کننده مجموعه‌ی ویژگی‌های مورد نظر خاک می‌باشد (Qi et al., 2009).

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. در کشورهای در حال توسعه به علت آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی از نظر زیست‌محیطی، توجه به کیفیت خاک دارای اهمیت اقتصادی زیادی است (Wander et al., 2002). در ایران نیز به‌دلیل مدیریت نامناسب و استفاده نادرست از اراضی کشاورزی سالانه اراضی زیادی دچار تخریب و کاهش توان تولید می‌شوند. کشت‌های طولانی‌مدت و مستمر همراه با عملیات زراعی نامناسب، کیفیت خاک را تحت تأثیر قرار داده و موجب تخریب خاک می‌گردند. لذا، شناخت عوامل تخریب کننده خاک الزامی است. از اهداف مدیریت بهینه و استفاده پایدار از اراضی کشاورزی، شناسایی مدیریت‌هایی است که باعث حفظ کیفیت خاک و ارتقاء کمی و کیفی تولید در طولانی‌مدت گردند (van Leeuwen et al., 2015) با ارزیابی کیفیت خاک می‌توان تأثیر شیوه مدیریت خاک را مورد ارزیابی قرار داد .

لذا 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. تاکنون تحقیقات زیادی برای ارزیابی کیفیت خاک در ایران انجام گرفته است که هر کدام دارای نقاط ضعف و قوت می‌باشند. در بیشتر این ارزیابی‌ها تنها به بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به‌عنوان شاخص کیفیت خاک پرداختند (Gholami et al., 2012; Raiesi, 2017)درصورتی‌که برای ارزیابی کیفیت خاک باید شاخصی ارائه شود که منعکس‌کننده تأثیر مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و برهم‌کنش آن‌ها بر کیفیت خاک باشد

در برخی از تحقیقات انجام شده نیز یا در سطوح کوچک انجام شده است (Shahab et al. 2013; Ghaemi et al. 2014 و رمضانی

و همکاران، ۱۳۹۴) و یا از تعداد اندک نمونه‌های خاک برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده شده است (Rahmanipour et al., 2014; Shahab et al., 2013; Khormali et al., 2009 ;Gholami et al., 2012; رمضانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Nabiollahi et al., 2017). بر پایه پژوهش‌های موجود، در همه مناطق نمی‌توان از یک مجموعه ثابت شاخص‌ها یا ویژگی‌های خاک برای تعیین کیفیت خاک استفاده نمود (Brejda et al., 2000). لذا بررسی کیفیت خاک و ویژگی‌های خاک مرتبط با آن در هر منطقه ضروری می‌باشد. در این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اراضی تحت کشت گندم آبی و نیز عملکرد گندم در دشت تبریز مورد بررسی قرار گرفت.

پیشینه پژوهش

Nabiollahi et al. (2017) برای بررسی تأثیر تغییر کاربری جنگل به اراضی کشاورزی ۱۲۴ نمونه خاک (۶۷ نمونه خاک اراضی جنگلی و ۵۷ نمونه خاک اراضی کشاورزی) در ۲۰۶/۵ کیلومتر مربع از اراضی استان کردستان نمونه‌برداری و ویژگی‌های هدایت الکتریکی، اسیدیته، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را اندازه‌گیری و با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی چهار ویژگی هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربن آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را به‌عنوان حداقل ویژگی مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب کردند. سپس شاخص کیفیت خاک تجمعی وزنی (SQI_w) را به دو روش وزن‌دهی خطی و غیر خطی با دو سری داده‌ی مجموع کل داده‌ها (TDS) و مجموعه حداقل داده‌ها (MDS) تعیین کردند. نتایج نشان داد که کیفیت خاک با استفاده از امتیازدهی غیرخطی (R^2 = ۰/۸۲) از امتیازدهی خطی (R^2 = ۰/۷۳) نتایج بهتری داشت. همچنین میانگین مقادیر کیفیت خاک در اراضی جنگلی به‌طور معنی‌داری بیشتر از اراضی زراعی بود.

Karkaj et al. (2019) طی پژوهشی به منظور انتخاب شاخص کیفیت مناسب برای اکوسیستم مرتع در منطقه نیمه‌خشک آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران، با اندازه‌گیری ۱۶ ویژگی خاک و استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، هفت ویژگی شامل درصد رس و سیلت، هدایت الکتریکی، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی و نسبت جذب سدیم را به عنوان حداقل ویژگی‌ها انتخاب کردند و با استفاده از کل ویژگی‌ها و حداقل ویژگی‌ها، شاخص‌های کیفیت تجمعی وزنی، تجمعی ساده و شاخص کیفیت نمورو را تعیین کردند و با ارزیابی نسبت کارایی (ER) و شاخص حساسیت (SI) نشان دادند که شاخص کیفیت نمورو با استفاده از حداقل ویژگی‌ها با شاخص حساسیت ۲/۶۰ و نسبت کارایی ۸۵/۷۱ مناسب‌ترین روش برای ارزیابی کیفیت خاک مراتع نیمه‌خشک بود.

میرخانی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی کیفیت خاک اراضی کشاورزی نظرآباد استان البرز را بررسی کردند. برای این منظور ۹۵ نمونه خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتیمتر) را به صورت شبکه بندی (۱۶۵۰×۱۶۵۰ متر) نمونه برداری و ۲۰ ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک را اندازه گیری کردند و کمترین ویژگی‌ها (MDS) شامل شن، جرم مخصوص ظاهری، کربنات کلسیم معادل، فسفر، نسبت جذب سدیم و بر با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) انتخاب شدند شاخص‌های کیفیت نمورو (NQI) و تجمعی ساده (IQI_a) و وزنی (IQI_w) را بررسی کردند نتایج نشان داد که بین عملکرد گندم آبی و شاخص‌های IQI_w (r=۰/۶۸)، IQI_a (r=۰/۶۷) و NQI (r=۰/۶۲) که با استفاده از حداقل ویژگی‌های خاک تعیین شده بود، همبستگی معنی‌دار (p<۰/۰۱) بود همچنین با توجه به نتایج، شاخص IQI_w بر مبنای حداقل ویژگی‌های خاک، حدود ۸۲ درصد منطقه نظرآباد دارای کیفیت خاک خیلی خوب و خوب بود و حدود ۱۱ درصد کیفیت متوسط و حدود ۷ درصد کیفیت پایین و خیلی پایین بود. در این تحقیق همچنین تغییرات مکانی شاخص‌های کیفیت خاک را با استفاده از فن زمین آمار تحلیل و توزیع مکانی آنها را با استفاده از روش کریجینگ معمولی تعیین کردند و نشان دادند که کیفیت خاک کشتزارها به شدت وابسته به توزیع اندازه ذرات اولیه به ویژه شن و رس با ضریب وابستگی ۰/۹۰ و ۰/۸۵ بود (واعظی و همکاران، ۱۳۹۹).

میرخانی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی کیفیت خاک اراضی کشاورزی ساوجبلاغ استان البرز را بررسی کردند. در این مطالعه نمونه‌های خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) از ۵۰ مزرعه در منطقه ساوجبلاغ استان البرز نمونه‌برداری و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک اندازه‌گیری کردند. کل متغیرهای مؤثر بر کیفیت خاک را استخراج و کمترین متغیرهای مؤثر بر کیفیت خاک را با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) انتخاب کردند و شاخص‌های کیفیت خاک شامل کیفیت تجمعی وزنی (SQI_w) و تجمعی ساده (SQI_a) و شاخص کیفیت نمورو (NQI) تعیین کردند. همچنین تغییرات مکانی شاخص‌های کیفیت را با استفاده از روش زمین‌آمار تحلیل و توزیع مکانی آنها را با استفاده از روش کریجینگ معمولی تعیین کردند. نتایج نشان داد که شاخص NQI با استفاده از کل ویژگی‌ها دقت بالاتری بر اساس آماره‌های R^2 برابر با ۰/۸۵ و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE=۰/۰۱) برای تهیه نقشه کیفیت خاک

داشت و قسمت وسیعی از منطقه کیفیت بالا داشت (کلاس II).

Li et al. (2019) در پژوهشی در ۱۳۲ مزرعه تحت کشت گندم دیم در شمال، شمال شرق و جنوب شرق چین، ۲۶ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را اندازه‌گیری و با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA)، ماده آلی، نیتروژن کل، نیتروژن قابل هیدرولیز قلیایی[1] و روی قابل استفاده را به عنوان کمترین ویژگی‌ها انتخاب و شاخص کیفیت تجمعی وزنی (SQI_w) را تعیین کردند. نتایج نشان داد که در سه سطح عملکرد بالا، متوسط و پایین گندم، شاخص کیفیت تجمعی به ترتیب برابر ۰/۵۵، ۰/۴۸ و ۰/۳۹ بود و شاخص کیفیت خاک با عملکرد گندم همبستگی معنی‌داری (r=۰/۴۰) در سطح یک درصد داشت.

Dingiz et al. (2020) در پژوهشی کیفیت خاک اراضی کشت چای در حوزه Ortacay ترکیه در جنوب شرق ترکیه را بررسی کردند. برای این منظور در ۲۸ نمونه خاک سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) از ۱۷۰۰۰ هکتار از اراضی کشت چای، ۲۲ ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک را اندازه‌گیری و شاخص کیفیت تجمعی وزنی را با استفاده از کل ویژگی‌های اندازه‌گیری شده تعیین کردند. نتایج نشان داد که ۲۵ درصد نمونه‌ها دارای کیفیت پایین و ۷۵ درصد نمونه‌ها دارای کیفیت متوسط برای کشت چای بودند.

Basak et al. (2022) با بررسی کیفیت خاک در سیستم کشت برنج (Oryza sativa L.) و گندم (Triticum aestivam L.) با استفاده از مدل اصلاح شده چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF)، شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی، تغذیه‌ای و بیولوژیکی خاک برای استراتژی‌های مدیریت مواد مغذی مختلف، یعنی کود معدنی (NPK)، NPK + ۷/۵ تن در هکتار کود دامی(NPKF)، NPK + ۱۰ تن در هکتار کاه شلتوک(NPKP) و NPK + ۸ تن در هکتار کود سبز (NPKG) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که استراتژی های مدیریت عناصر غذایی به طور قابل توجهی بر شاخص‌های کیفیت خاک تأثیر داشت و تیمار NPKF بالاترین امتیاز کیفیت خاک را برای شاخص کیفیت فیزیکی، تغذیه ای و بیولوژیکی خاک و تیمار NPKP بالاترین امتیاز کیفیت خاک را برای شاخص کیفیت شیمیایی داشت.

Isong et al. (2022) با استفاده از ۱۱۰ نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی متر) در فواصل ۲-۵ کیلومتری در ایالت کراس ریور، نیجریه جمع آوری کردند و ۱۱ ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک را تعیین شد. سپس کیفیت خاک را با استفاده از مجموعه کل ویژگی‌ها (TDS) و مجموعه حداقل ویژگی‌ها (پایداری ساختمان خاک، درصد شن، مقدار کربن آلی خاک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها) محاسبه کردند و از دو تابع امتیازدهی خطی (L) و غیر خطی (NL) برای امتیاز دهی استفاده کردند نتایج نشان داد که کیفیت خاک در منطقه جنوبی بالا و در منطقه شمالی پایین بود. کلاس با کیفیت خاک بالا (< ۴۹٪) و کلاس کیفیت خاک متوسط (< ۱۴٪) در همه مدل‌های پیش بینی استفاده شده بر منطقه مورد مطالعه غالب بود.

روش شناسی پژوهش

به‌منظور بررسی شاخص‌های کیفیت خاک در گندم‌زارهای آبی دشت تبریز در استان آذربایجان شرقی، پژوهشی در سال‌های زراعی ۹۶ تا ۹۷ با نمونه برداری مرکب از خاک سطحی (۳۰-۰ سانتیمتر) ۲۰۶ گندم‌زار انجام و ویژگی‌های فیزیکی شامل شن، سیلت، رس به روش هیدرومتری (Gee and Or, 2002)، جرم مخصوص ظاهری روش کلوخه‌ای[2] (Scanlon et al., 2002)، هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت (برای نمونه‌های با بافت متوسط) و بار افتان (برای نمونه‌های با بافت سنگین) (آریا و میرخانی، ۱۳۸۴) اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های شیمیایی شامل هدایت الکتریکی عصاره اشباع به وسیله EC سنج، اسیدیته گل اشباع به وسیله pH سنج، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک اصلاح شده (Walkley and Black, 1934)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (Page et al., 1982)، فسفر قابل‌استفاده به روش اولسن (Olsen, 1982) و پتاسیم قابل‌استفاده به روش استخراج با استات آمونیوم یک نرمال (Page et al., 1982) اندازه‌گیری شد. پیش از تحلیل داده‌ها، نرمال بودن توزیع متغیرها با استفاده از مقادیر کشیدگی و چولگی در نرم‌افزار SPSS ۲۴ بررسی شد. به‌منظور کاهش تعداد ویژگی‌ها، از میان کل ویژگی‌های مورد بررسی، حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS)، با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و ارزش ویژه[3] (EV) انتخاب شدند. ارزش ویژه میزان واریانس تبیین شده به وسیله هر عامل را بیان می‌کند و یکی از معیارهای پرکاربرد در تعیین تعداد عامل‌ها است. در تحلیل عاملی مؤلفه‌های اصلی که ارزش ویژه آنان کمتر از یک است به عنوان عامل‌هایی هستند که از نظر آماری معنی‌دار نیست و باید از تحلیل کنار گذاشته شود. بنابراین در

1 Alkali-hydrolyzable nitrogen
2 -Clod method
3 Eigen value

مؤلفه‌هایی با ارزش ویژه بالای یک، ویژگی با بالاترین ضریب بارگذاری انتخاب و ویژگی‌هایی با اختلاف ده درصد از بالاترین ضریب بارگذاری در هر مؤلفه انتخاب و سپس در هر مؤلفه همبستگی بین ویژگی‌های انتخاب شده بررسی و از بین ویژگی‌هایی که همبستگی بالایی (r=۰/۶) داشتند، ویژگی با ضریب بارگذاری بالا به عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب شدند. برای تعیین مناسب بودن داده‌ها برای PCA از ضریب KMO[1] و برای اطمینان از وجود همبستگی بین متغیرها از آزمون بارتلت استفاده شد (Jolliffe, 2003). همچنین با توجه به این‌که ویژگی‌های انتخاب‌شده دارای واحدهای متفاوتی هستند، به‌منظور این‌که بتوان آن‌ها را در قالب یک شاخص کلی درآورد، مقادیر ویژگی‌ها به اعداد بدون واحد بین صفر تا یک تبدیل شدند. برای این منظور از توابع عضویت فازی استفاده شد (Torbert et al., 2008). با استفاده از توابع عضویت فازی، ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه خاک به امتیازات بدون بعد صفر (کمترین مطلوبیت برای کیفیت خاک و محصول) تا یک (بیشترین مطلوبیت برای کیفیت خاک و محصول) تبدیل شدند (Yanbing et al., 2009). در ادامه، سهم اشتراک‌پذیری[2] هر ویژگی به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی به‌وسیله نرم‌افزار SPSS ۲۴ انجام شد. بدین منظور، 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 و وارد معادلات شاخص‌های کیفیت تجمعی ساده (SQI_A) و وزنی (SQI_W) و نمورو (NQI) شدند و در نهایت یک مقدار به‌عنوان شاخص کیفیت خاک ارائه شد (Qi et al., 2009). برای شاخص کیفیت خاک تجمعی ساده (SQI_A) و وزنی (SQI_W) به ترتیب از روابط ۱ و ۲ (Andrews et al., 2002a , 2002b) و (۳-۲) (Doran and Parkin, 1994; Karlen et al., 1997) استفاده شد:

$$SQI_A = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_i}{n}$$ رابطه ۱)

$$SQI_W = \sum_{i=1}^{n} S_i W_i$$ رابطه ۲)

که در آنها: S_i مقدار هر ویژگی خاک (امتیاز ویژگی)، W_i وزن هر ویژگی خاک (نسبت مقدار سهم اشتراک‌پذیری[3] هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم اشتراک‌پذیری کل ویژگی‌ها در هر مجموعه) و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است.

برای تعیین شاخص کیفیت نمورو (NQI) از رابطه ۳ استفاده گردید (Qin and Zhao, 2000):

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ava}^{\ 2} + P_{\min}^{\ 2}}{2}} \times \frac{n-1}{n}$$ رابطه ۳)

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 موردنظر برای محاسبه هر شاخص است.

ارزیابی دقت

برای تعیین حدود طبقه‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک، در ابتدا با استفاده از داده‌های آمارنامه‌های کشاورزی، میانگین عملکرد گندم کشور تعیین شد (۴۲۶۰ کیلوگرم در هکتار). این عملکرد به‌عنوان حد وسط عملکرد در کلاس کیفیت متوسط در نظر گرفته شد. سپس با در نظر گرفتن دامنه تغییر عملکرد ۲۰ درصد، مرز عملکرد برای کلاس خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف تعیین شد.

جدول ۱. طبقه‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک

شاخص Index	روش انتخاب ویژگی method Indicator	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)	> ۰/۴۱۷	۰/۳۶۵- ۰/۴۱۷	۰/۳۱۴- ۰/۳۶۵	۰/۲۶۳- ۰/۳۱۴	< ۰/۲۶۳
	کل ویژگی‌ها (TDS)	> ۰/۴۳۵	۰/۴۱۱- ۰/۴۳۵	۰/۳۷۷- ۰/۴۱۱	۰/۳۱۹- ۰/۳۷۷	< ۰/۳۱۹
SQI_a	حداقل ویژگی‌ها (MDS)	> ۰/۶۴۹	۰/۵۸۰- ۰/۶۴۹	۰/۵۱۲- ۰/۵۸۰	۰/۴۴۴- ۰/۵۱۲	< ۰/۴۴۴
	کل ویژگی‌ها (TDS)	> ۰/۶۵۵	۰/۶۱۹- ۰/۶۵۵	۰/۵۶۹- ۰/۶۱۹	۰/۴۸۲- ۰/۵۶۹	< ۰/۴۸۲
SQI_w	حداقل ویژگی‌ها (MDS)	> ۰/۶۶۳	۰/۶۰۰- ۰/۶۶۳	۰/۵۲۱- ۰/۶۰۰	۰/۴۱۰- ۰/۵۲۱	< ۰/۴۱۰
	کل ویژگی‌ها (TDS)	> ۰/۶۶۵	۰/۶۲۴- ۰/۶۶۵	۰/۵۶۶- ۰/۶۲۴	۰/۴۶۷- ۰/۵۶۶	< ۰/۴۶۷

NQI: شاخص کیفیت نمورو، SQI_a: شاخص کیفیت خاک تجمعی ساده و SQI_W: شاخص کیفیت خاک تجمعی وزنی

1 Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)
2 Communality
3 Communality

در ادامه، رابطه بین عملکرد گندم و شاخص‌های کیفیت خاک نمورو، تجمعی ساده و تجمعی وزنی بدست آمد و در هر شاخص بهترین معادله تعیین شد. سپس با قرار دادن مقدار عملکرد تعیین شده برای مرز هرکلاس در روابط تعیین شده، مقدار شاخص برای این مرزها تعیین شد (جدول ۱).

نتایج و بحث

جدول دو آماره‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سطحی در کل منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول دو مقادیر میانگین شن، سیلت و رس به‌ترتیب ۲۸/۰، ۴۰/۲ و ۳۱/۸ درصد بود. نتایج مقادیر کمینه و بیشینه درصد ذرات شن، سیلت و رس نشان از تنوع کلاس‌های بافت دارد. همانطور که از مقادیر ضریب تغییرات نیز قابل استنباط است، خاک‌ها از نظر توزیع اندازه ذرات اولیه (بافت) متنوع بوده به‌طوری‌که مقدار شن خاک سطحی در محدوده ۸۰-۸ درصد، مقدار سیلت بین ۶۰-۱۲ و مقادیر رس نیز بین ۵۴-۶ درصد متغیر بود. با توجه به مقادیر چولگی و کشیدگی، مقادیر شن، سیلت و رس دارای توزیع نرمال بودند. میانگین جرم مخصوص ظاهری در کل منطقه مورد مطالعه ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب و با توجه به تنوع بافتی در منطقه مورد مطالعه، بین ۱/۱ و ۱/۶۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. با توجه به مقادیر کشیدگی (۰/۱۷) و چولگی (۰/۰۷)، داده‌های جرم مخصوص ظاهری نیز دارای الگوی توزیع نرمال بودند.

میانگین هدایت الکتریکی خاک منطقه مورد مطالعه (۷/۷۶ دسی زیمنس بر متر) بود، لذا با عنایت به اینکه حد آستانه تحمل به شوری گندم (۶ دسی زیمنس بر متر) (Mass and Hoffman, 1977) می‌باشد، قسمتی از منطقه مورد مطالعه از نظر هدایت الکتریکی برادارای محدودیت است. با توجه به مقادیر چولگی (۱/۰۸) و کشیدگی (۱/۱۱)، منطقه مورد مطالعه از نظر هدایت الکتریکی دارای توزیع نرمال بود. همچنین با توجه به کمینه (۲/۲۰ دسی‌زیمنس بر متر)، بیشینه (۲۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر)، میانگین (۷/۷۶ دسی‌زیمنس بر متر) و میانه (۶/۹۹ دسی‌زیمنس بر متر) بیش از ۵۰ درصد نقاط منطقه مورد مطالعه دارای هدایت الکتریکی بالاتر از ۶ دسی‌زیمنس بر متر بودند.

میانگین کربنات کلسیم معادل در منطقه مورد مطالعه ۱۸/۹۲ درصد و دارای خاک آهکی می‌باشد. با توجه به نتایج کشیدگی (۰/۷۸) و چولگی (۰/۱۷)، داده‌های کربنات کلسیم معادل از الگوی توزیع نرمال تبعیت می‌کنند.

میانگین کربن آلی در منطقه مورد مطالعه ۱/۰۴ درصد بود. کشتزارهای منطقه مورد مطالعه به دلیل واقع شدن در منطقه نیمه‌خشک و مدیریت نامناسب مانند عدم استفاده کافی از کودهای دامی و برداشت کامل کاه و کلش از زمین دارای کربن آلی پایین بود. Rezaei and Hemati (2012)نشان دادند که در مزارع گندم منطقه اراک بین عملکرد گندم و کربن آلی (r=۰/۵۹) همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. با توجه به نتایج کشیدگی (۱/۵۶) و چولگی (۱/۲۸)، داده‌های کربن آلی از الگوی توزیع نرمال تبعیت می‌کنند.

فسفر خاک‌های منطقه دارای محدوده ۳/۶ تا ۵۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و میانگین آن حدود ۱۸/۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نظر به اینکه فسفر مطلوب برای رشد گندم (کشت غالب منطقه) ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است (مشیری و همکاران، ۱۳۹۳)، و با توجه به مقادیر میانه فسفر قابل استفاده (۱۵/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، بیش از ۵۰ درصد مزارع مطالعه شده مورد مطالعه دارای فسفر کمتر از حد مطلوب برای رشد گندم بود. یکی از دلایل این امر وابستگی قابلیت جذب فسفر به پ‌هاش خاک است. معمولا در چنین خاک‌هایی، فسفر تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شوند (مشیری و همکاران، ۱۳۹۳). Rezaei and Hemati (2012) نیز نشان دادند که در مزارع گندم منطقه اراک بین عملکرد گندم و فسفر قابل جذب (r=۰/۴۴) همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت.

مقادیر چولگی (۱/۳۳)، کشیدگی (۱/۲۵)، فسفر قابل استفاده در منطقه مورد مطالعه نشان داد که کشتزارهای منطقه مورد مطالعه از نظر فسفر قابل استفاده دارای توزیع نرمال می‌باشد.

مقدار پتاسیم خاک‌های منطقه مورد مطالعه دارای محدوده ۱۱۲۸- ۱۹۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و میانگین آن حدود ۵۰۹/۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نظر به اینکه پتاسیم مطلوب برای رشد گندم (کشت غالب منطقه) ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (مشیری و همکاران، ۱۳۹۳)، با توجه به مقادیر میانگین و میانه (۴۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) پتاسیم قابل استفاده، منطقه مورد مطالعه از نظر پتاسیم قابل استفاده محدودیتی برای رشد گندم نداشت. همچنین، با توجه به مقادیر چولگی (۱/۱۰) و کشیدگی (۱/۱۴)، منطقه مورد مطالعه از نظر پتاسیم قابل استفاده دارای توزیع نرمال بود. محدوده عملکرد گندم ۵۹۸۵- ۳۰۱۲ کیلوگرم در هکتار بود. لذا منطقه مورد مطالعه دارای محدوده وسیعی از عملکرد بود. علت این تغییرات عملکرد افزون بر ویژگی‌های ذاتی خاک مثل بافت که با تأثیر بر کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک موجب عملکرد پایین در خاک شنی و عملکرد بالا در خاک لوم و لوم رسی می‌گردد، به وضعیت حاصلخیزی خاک و مدیریت کشاورز نیز مربوط می‌شود. Tkaczyk et al. (2018) با بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر عملکرد گندم، در جنوب شرقی لهستان نشان داد که کلاس بافت

خاک (به ویژه، مقدار سیلت و رس)، کلاس اسیدیته، فسفر و پتاسیم قابل استفاده تأثیر مثبتی بر عملکرد گندم زمستانه داشتن. Rezaei and Hemati, (2012)نشان دادند که در مزارع گندم منطقه اراک، عملکرد گندم رقم بکراس بین ۳۲۵۰ تا ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود و بین عملکرد گندم و رس (r=۰/۳۱)، پتاسیم (r=۰/۳۱) همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد و با فسفر قابل جذب (r=۰/۴۴)، نیتروژن کل (r=۰/۶۱) و کربن آلی (r=۰/۵۹) همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. با توجه به میانگین عملکرد گندم در سال زراعی ۹۷-۹۶ میانگین عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه (۳۹۳۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به میانگین کشور (۴۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) ۱۱ درصد کمتر بود. علی‌رغم اینکه منطقه مورد مطالعه از نظر کیفیت دارای میانگین و میانه در محدوده کیفیت خیلی خوب هستند ولی عملکرد در منطقه مورد مطالعه پایین بود که دلیل آن می‌تواند به دلیل مدیریت کشت مانند نوع رقم، تراکم کشت، مدیریت آبیاری، زمان کشت و غیره باشد. Biberdzic et al. (2020)و طی پژوهشی نشان دادند که بین میانگین عملکرد گندم زمستانه و تراکم خاک همبستگی معنی داری (r=۰/۸۵) وجود دارد.

جدول ۲. آماره‌های ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های سطحی در کل منطقه مورد مطالعه (n=۲۰٦)

ویژگی	کمینه	بیشینه	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
شن (٪)	۸	۸۰	۲۸/۰۳	۲۶	۱۱/۵۰	۰/۹۶	۱/۹۱
سیلت (٪)	۱۲	۶۰	۴۰/۱۷	۴۰	۷/۹۳	-۰/۲۶	۰/۴۰
رس (٪)	۶	۵۴	۳۱/۸۱	۳۴	۹/۴۴	-۰/۳۰	-۰/۴۴
جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	۱/۱۱	۱/۶۸	۱/۳۶	۱/۳۶	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۵
هدایت هیدرولیکی اشباع ($cm.h^{-1}$)	۰/۶۰	۷/۲۰	۲/۵۲	۲/۴۰	۱/۳۵	۱/۲۳	۱/۸۰
اسیدیته (-)	۷/۲۰	۸/۱۳	۷/۷۴	۷/۷۸	۰/۲۲	-۰/۲۸	-۰/۹۲
هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	۲/۲۰	۲۰/۶۰	۷/۷۶	۶/۹۹	۳/۶۸	۱/۰۸	۱/۱۱
کربنات کلسیم معادل (٪)	۱۰/۵۰	۲۵/۷۵	۱۸/۹۲	۱۹/۰۰	۲/۵۹	۰/۱۷	۰/۷۸
کربن آلی (٪)	۰/۳۱	۲/۵۳	۱/۰۴	۰/۹۷	۰/۴۵	۱/۲۸	۱/۵۶
فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	۳/۶۰	۵۱/۵۰	۱۸/۰۶	۱۵/۰۵	۱۰/۷۶	۱/۳۳	۱/۲۵
پتاسیم قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	۱۹۲	۱۱۲۸	۵۰۹/۸۷	۴۷۰/۰۰	۱۸۹/۸۷	۱/۱۰	۱/۱۴
عملکرد گندم	۳۰۱۲	۵۹۸۵	۳۹۳۰	۳۸۵۰	۷۱۸/۶۸	۰/۸۲	۰/۰۶

جدول ۳ نتایج آزمون بارتلت و KMO را نشان می‌دهد. با توجه به این که نتایج مقادیر KMO (۰/۷۰) بالاتر از ۰/۷ بود و آزمون بارتلت نیز در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود داده‌ها برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و انتخاب حداقل ویژگی‌ها مناسب بودند.

جدول ۳. تست بارتلت و KMO

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)		**۰/۷۰**
آزمون کرویت بارتلت (Bartlett's test)	آماره کای اسکوار[1]	۳۲۰/۲۷۸
	درجه آزادی	۲۱
	معنی‌داری	۰/۰۰۰۱

جدول ۴ مقادیر ارزش ویژه (EV)، درصد تجمعی واریانس و ضریب بارگذاری ویژگی‌های انتخاب شده را در مؤلفه‌های انتخاب شده نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، سه مؤلفه دارای مقدار ارزش ویژه (EV) بزرگ‌تر از یک بودند و استفاده از مؤلفه‌های اصلی با ارزش ویژه بیشتر از یک می‌تواند ۶۹/۱۸ درصد از تغییرات ویژگی‌های خاک را بیان کند. برای انتخاب کمترین ویژگی‌ها، در مرحله اول، در مؤلفه اول، کربن الی، در مؤلفه دوم، جرم مخصوص ظاهری و در مؤلفه سوم، سیلت به ترتیب با ضریب بارگذاری ۰/۸۹، ۰/۷۸ و ۰/۹۰ با بالاترین ضریب بارگذاری در هر مؤلفه به عنوان کمترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب شدند. در مرحله دوم، در هر مؤلفه ویژگی‌هایی با ضریب بارگذاری بالا تا ۱۰ درصد کمتر از بالاترین ضریب بارگذاری در هر مؤلفه نیز به عنوان کمترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب شدند به این ترتیب در مؤلفه اول، پتاسیم و فسفر قابل استفاده، به ترتیب با ضریب بارگذاری ۰/۸۱ و ۰/۸۰، در مؤلفه دوم، هدایت الکتریکی با ضریب بارگذاری ۰/۷۱، نیز به‌عنوان کمترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب شدند. در مرحله سوم همبستگی بین ویژگی‌های انتخاب شده در هر مؤلفه بررسی و در بین ویژگی‌هایی که همبستگی بالایی (r>۰/۶) داشتند، ویژگی با بالاترین ضریب

1 Approx. Chi-Square

بارگذاری انتخاب شد. جدول ۵ مقادیر اشتراک‌پذیری و وزن ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در دو روش (استفاده از کل ویژگی‌ها و حداقل ویژگی‌های انتخاب شده) را نشان می‌دهد.

جدول ٤. مقادیر ارزش ویژه، درصد تجمعی واریانس و ضریب بارگذاری ویژگی‌های انتخاب شده در مؤلفه‌ها

مؤلفه‌ها (Components)	۱	۲	۳
ارزش ویژه (Eigenvalue)	۲/۵۹	۱/۲۰۰	۱/۰۶
درصد تجمعی واریانس (Cumulative percent)	۳۷/۰۰	۵۴/۱۱	۶۹/۱۸
کربن آلی	۰/۸۸۶		
پتاسیم قابل استفاده	۰/۸۰۷		
فسفر قابل استفاده	۰/۸۰۱		
جرم مخصوص ظاهری		۰/۷۸۶	
هدایت الکتریکی		−۰/۷۱۱	
سیلت			−۰/۸۹۷

جدول ۵. مقادیر وزن ویژگی‌های اندازه گیری شده در روش استفاده از کل ویژگی‌ها (TDS) و حداقل ویژگی‌های (MDS)

ویژگی‌های خاک	کل داده‌ها (TDS)		حداقل داده‌ها (MDS)	
	اشتراک‌پذیری)	وزن	اشتراک‌پذیری	وزن
سیلت (٪)	۰/۸۳۲	۰/۱۰۶	۰/۹۴۸	۰/۲۱۰
رس (٪)	۰/۸۷۶	۰/۱۲۲		
جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	۰/۶۳۵	۰/۰۸۹	۰/۶۳۸	۰/۱۴۱
هدایت هیدرولیکی اشباع ($m.day^{-1}$)	۰/۸۸۰	۰/۱۲۳		
اسیدیته	۰/۴۵۹	۰/۰۶۴		
هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	۰/۶۰۸	۰/۰۸۵	۰/۶۰۱	۰/۱۳۳
کربن آلی (٪)	۰/۸۰۹	۰/۱۱۳	۰/۸۲۳	۰/۱۸۲
کربنات کلسیم معادل (٪)	۰/۶۵۱	۰/۰۹۱		
فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	۰/۷۲۲	۰/۱۰۱	۰/۷۹۴	۰/۱۷۶
پتاسیم قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	۰/۶۹۲	۰/۰۹۷	۰/۷۰۶	۰/۱۵۷

جدول ۶ وضعیت کیفیت خاک در زمین‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه را با استفاده از شاخص‌های کیفیت نمورو (NQI)، شاخص کیفیت تجمعی ساده (SQI_a) و شاخص کیفیت تجمعی وزنی (SQI_w) در کل ویژگی‌ها و حداقل ویژگی‌های انتخاب شده را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، منطقه مورد مطالعه دارای طیف وسیعی از محدوده کیفیت خاک بود و محدوده کیفیت خاک با استفاده از کل ویژگی‌ها در شاخص‌های کیفیت نمورو (NQI)، شاخص کیفیت تجمعی ساده (SQI_a)، شاخص کیفیت تجمعی وزنی (SQI_w)، به ترتیب ۰/۵۶۲ – ۰/۲۵۶، ۰/۸۵۷– ۰/۴۰۳ و ۰/۸۳۹– ۰/۳۷۸ و در حداقل ویژگی‌ها به ترتیب ۰/۸۱۹ – ۰/۲۶۱، ۰/۹۹۵– ۰/۴۴۳ و ۰/۹۹۴– ۰/۴۰۰ بود. همچنین با توجه به مقادیر میانگین و میانه شاخص‌های کیفیت انتخاب شده (جدول ۶) و سیستم طبقه‌بندی (جدول ۱)، در روش استفاده از حداقل ویژگی‌ها بیش از ۵۰ درصد نقاط مورد مطالعه در کلاس خیلی خوب (کلاس V) قرار داشت. با توجه به مقادیر چولگی و کشیدگی مقادیر شاخص‌های کیفیت تجمعی وزنی (SQI_W)، تجمعی ساده (SQI_a)، شاخص کیفیت نمورو (NQI) با استفاده از کل ویژگی‌ها و کمترین ویژگی‌ها دارای توزیع نرمال بودند.

جدول ٦. وضعیت کیفیت خاک در کل کشتزارهای مورد مطالعه

شاخص کیفیت خاک	روش انتخاب ویژگی	کمینه	بیشینه	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
شاخص کیفیت نمورو (NQI)	MDS	۰/۲۶۱	۰/۸۱۹	۰/۴۹۰	۰/۴۷۹	۰/۱۱۳	۰/۶۶۹	۰/۲۵۵
	TDS	۰/۲۵۶	۰/۵۶۲	۰/۴۲۹	۰/۴۳۱	۰/۰۵۷	−۰/۱۹۹	−۰/۱۳۶
شاخص کیفیت تجمعی ساده (SQI_a)	MDS	۰/۴۴۳	۰/۹۹۵	۰/۷۶۲	۰/۷۶۵	۰/۱۱۳	−۰/۲۷۹	−۰/۲۴۶
	TDS	۰/۴۰۳	۰/۸۵۷	۰/۶۶۴	۰/۶۶۸	۰/۰۸۵	−۰/۲۷۷	−۰/۱۶۲
شاخص کیفیت تجمعی وزنی (SQI_w)	MDS	۰/۴۰۰	۰/۹۹۴	۰/۷۵۲	۰/۷۵۷	۰/۱۲۳	−۰/۳۹۰	−۰/۱۱۰
	TDS	۰/۳۷۸	۰/۸۳۹	۰/۶۴۹	۰/۶۵۴	۰/۰۸۵	−۰/۳۶۵	−۰/۱۳۸

جدول ۷ همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد گندم در کشتزارهای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، بین عملکرد گندم و مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از کمترین ویژگی‌ها و کل ویژگی‌های همبستگی معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) وجود داشت. این همبستگی در روش استفاده از کمترین ویژگی‌ها بیشتر از روش استفاده از کل ویژگی‌ها بود. Li et al. (2019) در پژوهشی در اراضی دیم تحت کشت گندم و ذرت نشان دادند که بین عملکرد گندم و شاخص کیفیت تجمعی وزنی همبستگی معنی‌داری ($r=۰/۴۰$) در سطح یک درصد وجود داشت. همچنین بین مقادیر شاخص کیفیت خاک تجمعی وزنی (SQI_w)، کیفیت خاک تجمعی ساده (SQI_a)، شاخص کیفیت نمورو (NQI) بر مبنای حداقل ویژگی‌های خاک و کل ویژگی‌های خاک، همبستگی معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) وجود داشت. لذا هر سه شاخص مورد بررسی برای منطقه مورد مطالعه مناسب بوده و استفاده از حداقل ویژگی‌ها به دلیل همبستگی نسبتاً بالاتر و تعداد ویژگی‌ها و هزینه کمتر، مناسب‌تر از روش استفاده از کل ویژگی‌ها می‌باشد.

جدول ۷. ماتریس همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد گندم در کشتزارهای آبی در منطقه مورد مطالعه

	NQI-TDS	SQI_a-TDS	SQI_w-TDS	NQI-MDS	SQI_a-MDS	SQI_w-MDS	عملکرد گندم
NQI- TDS	۱						
SQI_a-TDS	۰/۹۹**	۱					
SQI_w-TDS	۰/۹۸**	۰/۹۹**	۱				
NQI-MDS	۰/۸۱**	۰/۸۴**	۰/۸۲**	۱			
SQI_a-MDS	۰/۸۵**	۰/۸۸**	۰/۸۷**	۰/۹۵**	۱		
SQI_w-MDS	۰/۸۱**	۰/۸۴**	۰/۸۴**	۰/۹۲**	۰/۹۹**	۱	
عملکرد گندم	۰/۵۶**	۰/۶۰**	۰/۵۹**	۰/۶۰**	۰/۶۱**	۰/۶۳**	۱

نتیجه‌گیری

در این پژوهش شاخص‌های کیفیت تجمعی ساده (SQI_A) و تجمعی وزنی (SQI_W) و نمورو (NQI) و تأثیر ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) و عملکرد گندم در ۲۰۶ گندم‌زار استان آذربایجان شرقی (دشت تبریز) بررسی شد و با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) کربن الی، جرم مخصوص ظاهری، سیلت، پتاسیم و فسفر قابل استفاده و هدایت الکتریکی به عنوان کمترین ویژگی‌ها (MDS) انتخاب شدند. نتایج نشان داد که بین شاخص‌های کیفیت خاک با عملکرد گندم ($r=۰/۵۶$-$۰/۶۱$) و همچنین بین استفاده از کل ویژگی‌ها و حداقل ویژگی‌ها در NQI ($r=۰/۸۱$)، SQI_w ($r=۰/۸۴$) و SQI_a ($r=۰/۸۸$) همبستگی معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) وجود دارد. لذا هر سه شاخص مورد بررسی برای منطقه مورد مطالعه مناسب بوده و استفاده از حداقل ویژگی‌ها به دلیل همبستگی نسبتاً بالاتر و تعداد ویژگی‌ها و هزینه کمتر، مناسب‌تر از روش استفاده از کل ویژگی‌ها می‌باشد.

با توجه به تأثیر مدیریت‌های مختلف بر کیفیت خاک و عملکرد محصول، پیشنهاد می‌گردد در خصوص تغییرات زمانی کیفیت خاک با استفاده از بانک اطلاعات موجود و یا تحقیقات مستمر در طی زمان‌های مختلف بررسی گردد.

با توجه به اینکه در مطالعات کیفیت خاک، شاخص کیفیت تجمعی و نمورو بیشتر مورد بررسی می‌شوند، لذا پیشنهاد می‌گردد در ارزیابی کیفیت خاک مناطق، دیگر شاخص‌های کیفیت خاک نیز مورد بررسی قرار گیرد تا با توجه به همبستگی شاخص‌های کیفیت خاک با عملکرد محصول غالب منطقه، مناسب‌ترین شاخص برای منطقه معرفی گردد.

با توجه به مقادیر میانه فسفر قابل استفاده (۱۵/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و هدایت الکتریکی (۶/۹۹ دسی‌زیمنس بر متر)، بیش از ۵۰ درصد مزارع مطالعه شده دارای فسفر کمتر از حد مطلوب برای رشد گندم و هدایت الکتریکی بالاتر از ۶ دسی‌زیمنس بر متر بودند که موجب کاهش کیفیت خاک مزارع مورد مطالعه و به تبع آن کاهش عملکرد گندم شده است لذا با مدیریت کوددهی مناسب و آبشویی و یا دیگر روشهای اصلاح اراضی شور می‌توان کیفیت خاک و عملکرد محصول را بالا برد.

پیشنهاد می‌گردد نمرده‌دهی در مطالعات شاخص‌های کیفیت خاک در مناطق مختلف با در نظر گرفتن محصولات غالب منطقه انجام گیرد تا نتایج پژوهش در جهت افزایش تولید محصول غالب منطقه مؤثر باشند.

با توجه به ملموس و قابل درک بودن نقشه تغییرات وضعیت کیفیت خاک برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران، پیشنهاد می‌گردد علاوه بر تعیین کیفیت خاک منطقه، نقشه کیفیت خاک مناطق نیز تهیه گردد. تا برنامه‌ریزان با در نظر گرفتن وضعیت کیفیت خاک در

قسمت‌های مختلف منطقه نسبت به تصمیم‌گیری دقیق‌تر و مناسب‌تر اقدام نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

آریا، پروین و میرخانی، رسول (۱۳۸۵). *روش‌های تجزیه خصوصیات فیزیکی خاک*. تهران: مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۴۷۹.

رمضانی، فاطمه؛ جعفری، سیروس؛ صلواتی، افشین و خلیلی مقدم، بیژن (۱۳۹۴). بررسی تغییرات کیفیت خاک در اثر آبیاری با استفاده از مدل‌های شاخص تجمعی و نمورو در برخی از خاک‌های استان خوزستان. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۹ (۶)، ۱۶۲۹-۱۶۳۹.

میرخانی، رسول (۱۳۹۲). بررسی اثر تراکم خاک بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری آب آبیاری. تهران: موسسه تحقیقات خاک و آب، گزارش نهایی. شماره ثبت ۴۲۷۶۷ .

میرخانی، رسول؛ واعظی، علیرضا و رضائی، حامد (۱۳۹۹). بررسی شاخص‌های کیفیت خاک در کشتزارهای گندم آبی در منطقه نظرآباد در غرب استان البرز. مجله‌ی *آب و خاک*، ۳۴(۵)، ۱۱۲۵-۱۱۳۹.

میرخانی، رسول؛ واعظی، علیرضا و رضائی، حامد (۱۴۰۰). توزیع مکانی کیفیت خاک در اراضی زراعی منطقه ساوجبلاغ استان البرز. *مجله‌ی تحقیقات کاربردی خاک*، ۹(۲)، ۱-۱۴.

واعظی، علی رضا؛ میرخانی، رسول؛ رضایی، حامد و اسماعیل نژاد، لیلا (۱۳۹۹). بررسی تغییرپذیری مکانی شاخص‌های کیفیت خاک در کشتزارهای منطقه نظرآباد در غرب استان البرز. *مجله‌یتحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱(۷)، ۱۷۵۵-۱۷۶۸.

REFERENCES

Andrews, S. S., Karlen, D. L. & Cambardella, C. A. (2004). The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 1945–1962.

Andrews, S. S., Karlen, D. L. & Mitchell, J. P. (2002b). A comparison of soil quality indices methods for vegetable production system in northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 90, 25–45.

Andrews, S. S., Mitchell, J. P., Mancinelli, R., Karlen, K. L., Hartz, T. K., Horwath, W. R., Pettygrove, G. S., Scow, K. M. & Munk, D. S. (2002a). On-farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agronomy Journal*, 94, 12–23.

Ansori, A. & Gholami, A. (2015). Improved nutrient uptake and growth of maize in response to inoculation with Thiobacillus and Mycorrhiza on an alkaline soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 46 (17), 2111-2126.

Aparicio, V. & Costa, J. L. (2007). Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research*, 96(1), 155-165.

Aria, P. & Mirkhani, R. (2005). Methods of Soil Physical Analysis, *Technical Bulletin*, Soil and Water Research Institute, Iran, 479. (In Persian)

Basak, N., Mandal, B., Biswas, S., Basak, P., Mitran, T., Saha, B & ... ,.Datta, A. (2022). Impact of Long Term Nutrient Management on Soil Quality Indices in Rice-Wheat System of Lower Indo-Gangetic Plain .*Sustainability*, 14(11), 6533.

Biberdzic, M., Barac, S., Lalevic, D., Djikic, A., Prodanovic, D. & Rajicic, V. (2020). Influence of soil tillage system on soil compaction and winter wheat yield. *Chilean journal of agricultural research*, 80(1), 80-89.

Brejda, J. J., Moorman, T. B., Smith, J. L., Karlen, D. L., Allan, D. L. & 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.

De Paul Obade, V. & Lal, R. (2016). Towards a standard technique for soil quality assessment. *Geoderma*, 265, 96-102.

Dengiz, O., Sekan, I. C., Saygin, F. & Imamoglu, A. (2020). Assessment of Soil Quality Index for Tea Cultivated Soils in Ortaçay Micro Catchment in Black Sea Region. *Journal of Agricultural Sciences*, 26(1), 42-53.

Doran, J. W. & Parkin, T. B. (1997). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *Methods for assessing soil quality*, 49, 25-37.

Doran, J. W. & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable*

environment, 35, 1-21.

Fallahzade, J. & Hajabbasi, M. A. (2011). Changes in Soil Quality Indicators by Reclamation of Salt–Affected Land in Abarkooh Plain, Central Iran. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 15 (55),139-150. (In Persian)

Friedman, D., Hubbs, M., Tugel, A., Seybold, C. & Sucik, M. (2001). Guidelines for soil quality assessment in conservation planning. *Washington, DC: United States Department of Agriculture.*

Gee, G. W. & Or, D. (2002). Particle-size analysisMethods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. *Soil Science Society of America Book Series*, 5, 255–289.

Ghaemi, M., Astaraei, A. R., Mahalati, M. N., Emami, H. & Sanaeinejad, H. H. (2014). Spatio-temporal soil quality assessment under crop rotation irrigated with treated urban wastewater using fuzzy modelling. *International Agrophysics*, 28(3), 291-302.

Gholami, A., Kahkesh, A. H. & Panahpour, E. (2012). Influence of land use changes on some soil quality indexes in abbahar masjed soleiman region. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4-17, 1251-1254.

Isong, I. A., John, K., Okon, P. B., Ogban, P. I & ,.Afu, S. M. (2022). Soil quality estimation using environmental covariates and predictive models: an example from tropical soils of Nigeria .*Ecological Processes*, 11(1), 1-22.

Scanlon, B. R., Andraski, B. J. & Bilskie, J. (2002). Bulk Density and Linear Extensibility. *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods*, 643-670.

Jolliffe, I. T. (2003). Principal component analysis. *Technometrics*, *45*(3), 276.

Karkaj, E. S., Sepehry, A., Barani, H., Motamedi, J. T. & Shahbazi, F. (2019). Establishing a suitable soil quality index for semi-arid rangeland ecosystems in northwest of Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(3), 648-658.

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. & Staben, M. L. (1999). Conservation reserve program effects on soil quality indicators. *Journal of Soil and Water Conservation*, 54(1), 439-444.

Karlen, D. L., Parkin, T. B. & Eash, N. S. (1996). Use of soil quality indicators to evaluate conservation reserve program sites in Iowa. In Doran, J. W., Jones, A. J. (Eds.), Methods for Assessing Soil Quality. *Methods for Assessing Soil Quality*, 49(1997), 345-355.

Khademi, H., Mohammadi, J. & Nael, M. (2006). Comparison of selected soil quality indicators in different land management systems in Boroojen, Chaharmahal Bakhtiari province. *The Scientific Journal of Agriculture*, 29(3), 111-124. (In Persian)

Khormali, F., Ajami, M., Ayoubi, S., Srinivasarao, C. & Wani, S. P. (2009). Role of deforestation and hillslope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province, Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134(3), 178-189.

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.

Maas, E. V. & Hoffman, G. J. (1977). Crop salt tolerance—current assessment. *Journal of the irrigation and drainage division*, 103(2), 115-134.

MATLAB R2015b. (2015). Software for technical computing and model-based design. The Mach Works Ins, USA.

Mirkhani, R. (2013). The Effect of soil compaction on soil physical and chemical properties and wheat yield in Irrigation water salinity levels. Final report of research. *Soil and Water Research Institute*, 42767, 49pp. (In Persian)

Mirkhani, R., Vaezi, A. & Rezaei, H. (2020). Investigation of the Soil Quality Indices in Irrigated Wheat Farms of Nazarabad Region in West of Alborz Province. *Water and Soil*, 34*(5)*, 1125-1139. (In Persian)

Mirkhani, R., Vaezi, A. R. & Rezaei, H. (2021). Spatial Distribution of Soil Quality in Savojbolagh Fields in Alborz Province. *Applied Soil Research*, 9*(2)*, 1-14. (In Persian)

Nabiollahi, K., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R. & Moradian, S. (2017). Assessment of soil quality indices for salt-affected agricultural land in Kurdistan Province, Iran. *Ecological Indicators*, 83, 482-494.

Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.

Page, A. L., Miller, R. H. & Keeney, D. R. (1982). Methods of Soil Analysis, part 2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc. *Soil Science Society of America*, 1159p.

Patzel, N., Sticher, H. & Karlen, D. L. (2000). Soil fertility-phenomenon and concept. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163(2), 129-142.

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), 325-334.

Qin, M. Z. & Zhao, J. (2000). Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area: a case study of Kaifeng. *CTA GEOGRAPHICA SINICA-CHINESE EDITION*, 55(5), 545–554.

Qin, M. Z. & Zhao, J. (2000). Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area. *ACTA GEOGRAPHICA SINICA-CHINESE EDITION*-, 55(5), 545-554.

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.

Raiesi, F. 2017. A minimum data set and soil quality index to quantify the effect of land use conversion on soil quality and degradation in native rangelands of upland arid and semiarid regions. *Ecological Indicators*, 75, 307-320.

Ramezani, F., Jafari S., Salavati A. & Khalili Moghaddam, B. (2015). 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)

Rezaei, M. & Hemati, Z. (2012). Reaction of wheat yield to soil physical and chemical Characteristics in Arak Fields .*World Applied Sciences Journal*, 20(8), 1183-1187.

Shahab, H., Emami, H., Haghnia, G. H. & 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.

SYS, C., Van Ranst E. & Debaveye, J. (1993). land evaluation. part III: crop requirements. General Administration for Development cooperation, *Agricultural publication*, , 7, Brussels Belgium 199 pp.

Tkaczyk, P., Bednarek, W., Dresler, S. & Krzyszczak, J. (2018). The effect od some soil Physicocheical properties and nitrogen fertilization on winter wheat yield. *Acta Agrophysica*, 25(1), 107-116.

Toledo, D. M., Galantini, J., Dalurzo, H., Vazquez, S. & Bollero, G. (2013). Methods for assessing the effects of land use changes on carbon stocks of subtropical oxisols. *Soil Science Society of America Journal*, 77(5), 1542-1552.

Torbert, H. A., Krueger, E. & Kurtener, D. (2008). Soil quality assessment using fuzzy modeling. *International Agrophysics*, 22(4), 365-370.

Vaezi, A. R., Mirkhani, R., rezaei, H. & esmaeelnejad, L. (2020). Investigating Spatial Variability of Soil Quality Indices in Nazar Abad Fields, West of Alborz Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(7), 1755-1768. (In Persian).

Van Leeuwen, J. P., Moraetis, D., Lair, G. J., Bloem, J., Nikolaidis, N. P., Hemerik, L. & de Ruiter, P. C. (2015). Ecological soil quality affected by land *use and managem*ent on semi-arid Crete. *Soil Discussions*, 2, 187-215.

Walkley, A. & 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.

Yanbing, Q., Darilek, J. L., Biao, H., Yongcun, Z., Sun, W. & Gu, Z. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149, 325-334.

Evaluation of the soil quality of the lands under irrigated wheat cultivation in Tabriz plain

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Soil has various tasks or functions, including the ability to produce crops, store carbon, store water, cycle nutrients and purify water. Soil functions have a high correlation with soil quality. Depending on the purpose, soil quality can be assessed. Therefore, 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 quality indicators are often regional and to determine it, it is not possible to consistently use a set of identifiers and indicators in all regions. In this study, the Nemero Soil Quality Index (NQI), the Weighted Additive Soil Quality Index (SQIw), and the Additive Soil Quality Index (SQIa) were determined using the total data set (TDS) and minimum data set (MDS) in wheat field of East Azarbaijan Province (Tabriz Plain).

Methods

In this research, Additive Soil Quality Index (SQIa), the Weighted Additive Soil Quality Index (SQIw) and the Nemero Soil Quality Index (NQI) and the effect of effective properties on soil quality in surface soil (0-30 cm) and in the yield of 206 wheat field of East Azarbaijan Province (Tabriz Plain) in 2017 was investigated by measuring physical (sand, silt and clay percentage, bulk density (Bd), saturated hydraulic conductivity (Ks)) and chemical (Organic carbon (OC), acidity (pH), Calcium carbonate equivalent, aveilble potassium (Kave) and aveilble phosphorus (Pave), and electrical conductivity (EC)) properties of soils and wheat grain yield. Organic carbon (OC), bulk density (Bd), aveilble potassium (Kave) and aveilble phosphorus (Pave), and electrical conductivity (EC) were selected as The minimum data set (MDS) 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, Additive Soil Quality Index (SQIa), the Weighted Additive Soil Quality Index (SQIw) and the Nemero Soil Quality Index (NQI) were determined using the total data set (TDS) and the minimum data set (MDS).

Results and Discussion

The results showed that there was a significant correlation ($p < 0.01$) between the yield of irrigated wheat and Weighted Additive Soil Quality Index ($r=0.63$), Additive Soil Quality Index ($r=0.61$) and Nemero Soil Quality Index ($r=0.60$) using minimum data set (MDS) method; and using total data set (TDS) method this correlation values were 0.59, 0.60 and 0.56, respectively. also, there was a significant correlation ($p<0.01$) between the use of total data set (TDS) and minimum data set (MDS) in Nemero Soil Quality Index ($r=0.81$), the Weighted Additive Soil Quality Index ($r=0.84$) and Additive Soil Quality Index ($r=0.88$). Therefore, all three investigated indicators are suitable for the study area and using minimum data set (MDS) is more suitable than the method of using total data set (TDS) due to relatively higher correlation and number of features and lower cost.

Keywords: Additive Soil Quality Index, Nemoro Quality Index, Main Components, Soil Function.