

Investigation of parameters affecting soil quality under saline and semi-saline conditions (case study of south and southwest of Khuzestan Province)

A. Zahirnia¹, H.R. Matinfar^{*2} and H. Bahrami³

1. PhD. Student of soil science, Agriculture Faculty, Lorestan University ,IRAN
2. Associate Professor of soil science, Agriculture Faculty, Lorestan University,IRAN
3. Associate Professor of soil science, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University,IRAN

Received: 18 June 2020

Accepted: 12 November 2020

Abstract

Introduction Low rainfall, lack of good-quality irrigation water, high water level and high annual evaporation in the southwestern region of Khuzestan have led to the emergence of saline soils. Various environmental factors, such as low production and organic matter addition into the soil, high salt content, high concentration of sodium ions, high pH, and quality and depth of groundwater have significant effects on the qualitative indicators of saline soils in arid and semi-arid regions. Soil quality is an important measure of agricultural and environmental sustainability and is used to assess soil quality. Each soil quality index must include biological characteristics, be sensitive to environmental and managerial changes, and be effective in measuring quantitative and qualitative factors.

Materials and Methods The present study was conducted to determine the soil quality index in a part of the southwestern lands of Khuzestan Province with three uses of agriculture and industry, traditional agriculture, and barren lands. Using systematic networking method as well as the characteristics of the study area, 180 soil samples were selected and 22 physical, chemical and biological parameters were determined in each sample. The parameters studied in this study included electrical conductivity, pH, sodium, calcium, magnesium, chlorine, bicarbonate, sulfate, SAR, CEC, exchangeable potassium, ozone-absorbable phosphorus, percentage of organic matter, activated carbon, percentage of clay, silt and sand, average soil diameter, water permeability coefficient in saturated state, specific apparent weight and surface soil hardness.

Results and Discussion Once the laboratory results were determined, using statistical method of factor analysis (FA) and analysis of main components (PCA) in SPSS statistical software, among all the characteristics affecting soil quality (TDS), five characteristics of electrical conductivity, sodium concentration, Chlorine, sulfate, and SAR were identified as the most important characteristics affecting soil quality (MDS). The selection of these factors as MDS indicates the high impact of soluble salts and the low depth of groundwater on soil quality indicators of the study area, so that the accumulation of salts on the surface and depth of soil mainly affects soil quality. To evaluate the lands, two models of integrated soil quality index (IQI) and nemero quality index (NQI) were used in two sets of MDS and TDS. Then, in order to compare the performance of soil quality index methods, common methods of secondary root and maximum limitation were used. Generally, the results showed that the lands of the region were at different levels in terms of soil quality indicators and land use appropriateness assessment methods, so that the fields of agro-industry showed maximum quality, traditional cultivated lands of medium quality and barren lands showed minimum quality. The Kappa coefficient calculated between the Cumulative Soil Quality Index (IQI_{TDS}) and the second and maximum rootstock methods was 0.83 and 0.37, respectively, indicating a high and moderate level of coordination between the data obtained from the various methods tested. The calculated correlation between the results obtained from IQI_{TDS} and IQI_{MDS} is equal to 88.43% and between the results of NQI_{TDS} and NQI_{MDS} is equal to 80.59%, both of which statistically significant. This suggests that a well-prepared MDS set can be used to represent the TDS set. Therefore, MDS can be used instead of TDS to reduce the time and cost of implementing similar research projects.

Conclusion The results of this study show that soil leaching of cumulated salts from the surface and depth of soil profiles, especially in barren lands and under traditional agriculture, has been observed, and this is the main cause of differences between these lands and lands under agro-industry management. In agro-

industry farms, due to surface leveling, drainage and leaching, cumulated salts have been removed from the soil profile as much as possible and the conditions for plant growth have been provided. Agricultural and industrial land management, especially in the field of adding low-consumption elements, organic matter and improving physical properties, should be continue in such a way that soil quality indicators are closer to the optimal range.

Key words: Integrated Soil Quality Index, Nemerlo Soil Quality Index, Principle Component, Maximum limitation, Land Suitability.

بررسی پارامترهای موثر بر کیفیت خاک تحت شرایط شور و نیمه شور (مطالعه موردی جنوب و جنوب غربی استان خوزستان)

علیرضا ظهیرنیا^۱، حمیدرضا متین فر^۲ و حسینعلی بهرامی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۹

پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۸/۲۲

کلمات کلیدی:

شاخص تجمعی کیفیت خاک،

شاخص کیفیت خاک نمره،

مؤلفه اصلی،

حداکثر محدودیت،

تناسب اراضی.

* عهده دار مکاتبات

Email: Matinfar.h@lu.ac.ir

چکیده

پژوهش حاضر به منظور تعیین شاخص کیفیت خاک در بخشی از اراضی جنوب غربی استان خوزستان با سه کاربری کشت و صنعت، کشاورزی سنتی و اراضی بایر انجام شد. در این پژوهش در مجموع ۱۸۰ نمونه خاک انتخاب و در هر نمونه ۲۲ پارامتر تعیین گردید. پس از مشخص شدن نتایج آزمایشگاهی، با بهره‌گیری از روش آماری تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA)، از بین تمام ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک (TDS)، پنج ویژگی EC_e ، غلظت سدیم، کربن، سولفات و SAR، به عنوان مهمترین ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک (MDS) به دست آمد. برای ارزیابی اراضی از دو مدل شاخص تجمعی کیفیت خاک (IQI) و شاخص کیفیت خاک نمره (NQI)، در دو مجموعه MDS و TDS، استفاده شد. در ادامه برای مقایسه عملکرد روش‌های شاخص کیفیت خاک، از روش‌های ریشه دوم و حداکثر محدودیت استفاده گردید. نتایج نشان داد که به طور کلی اراضی منطقه از نظر شاخص‌های کیفیتی خاک و روش‌های ارزیابی تناسب اراضی، در سطوح مختلفی قرار دارند، به طوری که اراضی کشت و صنعت حداکثر کیفیت و اراضی بایر حداقل کیفیت را نشان دادند. ضریب کاپای محاسبه شده بین شاخص کیفیت خاک تجمعی (IQI_{TDS}) و روش‌های ریشه دوم و حداکثر محدودیت به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۳۷ می‌باشد که بیانگر سطح بالا و متوسطی از هماهنگی بین داده‌های به دست آمده از روش‌های مختلف مورد آزمون می‌باشد. بین نتایج به دست آمده از IQI_{TDS} و IQI_{MDS} ($R^2 = 88/43\%$) و همچنین بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} ($R^2 = 80/59\%$) همبستگی معنی‌داری وجود دارد. این امر نشان می‌دهد که به خوبی می‌توان از مجموعه MDS تهیه شده به نمایندگی از مجموعه TDS استفاده کرد. بنابراین به منظور کاهش زمان و هزینه اجرای طرح‌های مشابه می‌توان بجای TDS از MDS استفاده کرد.

مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به سیاست رعایت الگوی توسعه و کشاورزی پایدار در بخش کشاورزی، استفاده پایدار از منابع طبیعی و ایجاد تعادل بین عملکرد محصولات کشاورزی و کیفیت منابع طبیعی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. در این میان خاک جزء بسیار مهمی در پایداری اکوسیستم محسوب می‌شود. سطح وسیعی از اراضی کشور را اراضی بایر تشکیل می‌دهند که معمولاً شور، بدون پوشش گیاهی و یا دارای پوشش گیاهی ضعیف هستند. نزولات جوی کم، فقدان آب آبیاری با کیفیت مناسب، سطح ایستایی بالا و زیاد بودن تبخیر سالیانه در منطقه جنوب غربی خوزستان، پیدایش خاک‌های شور را در پی داشته است. عوامل محیطی مختلفی مانند تولید و ورود اندک مواد آلی به خاک، فراوانی نمک‌ها، غلظت بالای یون سدیم، pH بالا و کیفیت و عمق آب‌های زیرزمینی، بر روی شاخص‌های کیفی خاک‌های شور مناطق خشک و نیمه خشک اثرات مهمی دارند (۲۷). با توجه به محدودیت اراضی دارای پتانسیل زراعت و تولید به صرفه و کمبود آب در کشور، افزایش تولید از طریق اضافه کردن سطح زیر کشت امکان پذیر نبوده و تامین نیاز غذایی و سایر احتیاجات جامعه به‌طور عمده از طریق افزایش تولید در واحد سطح و یا زمان امکان پذیر خواهد بود (۳). وجود آب و خاک با کیفیت از عوامل اصلی افزایش تولید در واحد سطح و زمان محسوب می‌گردد (۴). عملکرد خاک را می‌توان براساس خصوصیات مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی تعیین نمود و بر این اساس، اغلب از همین خصوصیات نیز برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده می‌شود (۳۵). کیفیت خاک شاخص مهمی در پایداری کشاورزی و محیط زیست محسوب می‌شود (۱۹). به منظور ارزیابی کیفیت خاک از خصوصیات به عنوان معیار استفاده می‌شود. هر معیار کیفیت خاک باید دارای خصوصیات شامل فرآیندهای زیستی، حساسیت به تغییرات محیطی و مدیریتی، در دسترس بودن فاکتورهای موثر، قابل

اندازه‌گیری بودن و انجام پردازش‌های کمی باشد (۹، ۱۸ و ۲۲). بیش‌تر روش‌های ارزیابی کیفیت خاک پس از انتشار سیستم طبقه‌بندی قابلیت اراضی در سال ۱۹۶۱ به‌وسیله سرویس حفاظت خاک ایالات متحده (۲۱) توسعه پیدا کرده‌اند، از جمله مهمترین این روش‌ها می‌توان به روش‌های تعیین شاخص کیفیت خاک (۱۰) و (۳۱) و روش‌های مبتنی بر کریجینگ چند متغیره اشاره کرد (۸). در سال‌های اخیر روش‌های ارزیابی کیفیت خاک پیشرفت‌های قابل توجهی کرده و از بین روش‌های مطالعه شده، روش شاخص‌های کیفیت خاک به عنوان متداولترین روش شناخته شده است (۱). برتری این روش قابلیت استفاده ساده، انعطاف پذیری و کمی بودن نتایج آن می‌باشد. شاخص‌های کیفیت خاک به نوع عملیات و روش مدیریت خاک نیز وابسته می‌باشند زیرا در این شاخص‌ها از مشخصات محلی خاک که در اثر فعالیت‌های بشری در طول زمان متغیر هستند، استفاده می‌شود (۱۵). شاخص‌های کیفیت خاک باید در برگیرنده شیوه‌های تعریف شده‌ای به منظور گزینش، نمره‌دهی و وزن‌دهی خصوصیات خاک بوده و نیز مدل جامعی که امکان مقایسه خاک‌های مناطق مختلف را به صورت علمی فراهم کند، داشته باشد (۲۹). ویژگی‌های موثر بر شاخص‌های کیفیت خاک، به صورت فرآیندها و خصوصیات از خاک تعریف می‌شوند که به تغییر کاربری خاک حساس باشند (۲ و ۲۹). این ویژگی‌ها دارای اهمیت فراوانی برای انجام یک ارزیابی سریع و کاربردی از سطح کیفیت خاک هستند (۱۱). ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک می‌توانند مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و یا ترکیبی از آن‌ها باشند (۲ و ۱۸). شاخص‌های کیفیت خاک عموماً بر اساس این ویژگی‌ها توسعه یافته و شاخص‌های مذکور مدل جامعی ارائه می‌دهند که امکان مقایسه کیفیت اراضی مناطق مختلف را به صورت علمی فراهم می‌کند (۴۰). پژوهشگران متعددی مجموعه‌های مختلفی از ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک را برای تعیین شاخص

می‌شود، این فرآیند توسط یک معادله ساده صورت گرفته و در قالب یک شاخص ارائه خواهد شد. مدل شاخص کیفیت نمو (NQI) براساس استفاده از مقادیر میانگین و حداقل ویژگی‌ها محاسبه می‌شود (۱۷ و ۳۰). نتایج این شاخص به مقادیر حداقل ویژگی‌ها بستگی داشته و منعکس کننده قانون حداقل^۶ در تولید محصولات می‌باشد (۴۳).

در مقیاس جهانی به علت اهمیت تغییرات زیست محیطی، بهبود روش‌های ارزیابی کیفیت خاک به منظور توسعه کشاورزی پایدار، تشخیص پایداری مدیریت خاک و همچنین سیستم کاربری اراضی ضروری می‌باشد (۳۳ و ۴۵). از این رو به دست آوردن روش‌ها و شاخص‌های مناسب ارزیابی کیفیت خاک به علت تأثیر مهم آن‌ها بر نتیجه‌گیری و قضاوت نهایی در مورد وضعیت کیفیت و مدیریت خاک، از جمله مهمترین مسائل مورد توجه است (۲).

اراضی شور و بایر بخش عمده‌ای از مناطق جنوب غربی استان خوزستان را در بر گرفته‌اند. از حدود بیست سال پیش تاکنون که بخشی از این اراضی به کشت صنعتی نیشکر اختصاص داده شد، تاکنون پژوهش‌های جامع در مورد تغییرات ایجاد شده در شاخص‌های کیفیت خاک این مزارع، اراضی حاشیه رودخانه کارون و همچنین اراضی بایر اولیه انجام نشده است. از این رو، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر احیا و به زیر کشت بردن زمین‌های بایر و شور بر شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی (IQI_{MDS, TDS}) و نمو (NQI_{MDS, TDS}) و مقایسه شاخص‌های کیفیت خاک این اراضی با مزارع حاشیه رودخانه کارون و همچنین اراضی بایر و شور اولیه، انجام شده است. در ادامه نتایج به دست آمده از شاخص‌های کیفیت خاک با نتایج به دست آمده از روش‌های ارزیابی خاک فائو مانند ریشه دوم و حداکثر محدودیت مقایسه شده‌اند.

کیفیت خاک پیشنهاد داده و این شاخص را براساس مجموعه کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک^۱ (TDS) تعیین کرده‌اند (۷، ۲۳، ۲۴، ۲۶ و ۴۷). همچنین برخی محققان نیز تعداد کمتری از ویژگی‌های خاک، که نماینده بهتری از کیفیت خاک هستند، را به عنوان مجموعه حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک^۲ (MDS) پیشنهاد کرده‌اند (۱۰، ۲۰ و ۳۳). انتخاب این ویژگی‌ها بر اساس داشتن بیشترین همبستگی با شاخص کلی کیفیت خاک و همچنین با استفاده از نتایج به دست آمده از داده‌های خروجی نرم افزارهای آماری مختلف صورت گرفته است (۱ و ۱۵). این فرآیند تعداد خصوصیات مورد مطالعه را کاهش داده و موجب سهولت، کاهش زمان و هزینه تعیین شاخص کیفیت خاک خواهد شد (۳۶). محاسبه شاخص کیفیت خاک به طور غیر مستقیم از حاصل جمع مقادیر ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک و با توجه به وزن اختصاص یافته به هر ویژگی محاسبه می‌شود (۳۴). مدل‌های کمی فراوانی مانند شاخص کیفیت تجمعی^۳ (IQI) و شاخص کیفیت نمو^۴ (NQI) به منظور محاسبه شاخص کیفیت خاک توسعه پیدا کرده‌اند (۴۲ و ۴۸). این شاخص‌ها بیانگر تأثیر تجمعی ویژگی‌های مختلف خاک بر کیفیت آن بوده و به منظور محاسبه شاخص کیفیت خاک ایجاد شده‌اند (۳۲). در این شاخص‌ها مجموعه‌ای از ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک در قالب یک مدل ریاضی با هم ترکیب و به صورت یک کمیت عددی ارائه می‌گردند که این عدد به عنوان شاخص کلی کیفیت خاک، منعکس کننده مجموعه ویژگی‌های مورد نظر می‌باشد (۲۹). شاخص تجمعی کیفیت خاک (IQI) توسط دوران و پارکین^۵ (۱۰) پیشنهاد شده است. در این مدل حاصل ضرب مقادیر ویژگی‌های منتخب در وزن آن‌ها با هم جمع

- 1- Total Data Set
- 2- Minimum Data Set
- 3- Integrated Quality Index
- 4- Nemerlo Quality Index
- 5- Duran & Parkin

6- The law of the minimum

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخشی از اراضی منطقه جنوب غربی استان خوزستان بین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۰۸ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۰۶ دقیقه شمالی واقع شده و دارای مساحت ۷۸۴۸۰ هکتار است. طبق آمار ۲۵ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۰)، میانگین دمای روزانه ۲۴/۹ درجه سانتی‌گراد، گرم‌ترین ماه سال تیرماه با حداکثر مطلق ۵۱/۲ درجه سانتی‌گراد، بارندگی کمتر از مقدار تبخیر سالیانه (۲۱۳ در مقابل ۳۲۲۲ میلی‌متر) بوده و رژیم‌های حرارتی و رطوبتی محاسبه شده به ترتیب هایپرترمیک^۱ و اریدیک^۲ می‌باشند. از جنبه زمین‌شناسی، سازندهای منطقه مربوط به دوران سنوزوئیک و دوره کواترنر می‌باشند. اراضی این منطقه عمدتاً تحت تأثیر طغیان‌های فصلی رودخانه کارون در گذشته بوده و اکثراً در عمق به صورت لایه‌ای و دارای انقطاع هستند، در برخی از نقاط که دورتر از رودخانه بوده و از شرایط پایدارتری برخوردار هستند افق‌های عمقی‌تر خاک دارای تکامل بیشتر بوده و می‌توان تجمع اندک رس را در آن‌ها تشخیص داد اما طبعاً به اندازه‌ای که برای افق آرجلیک کافی باشد، دیده نشد. در برخی موارد تجمع آهک ثانویه نیز در افق‌های عمقی‌تر خاک دیده می‌شود، این آهک در اندازه رس بوده و تجمع آهک در لایه‌های مذکور در آزمایشگاه تشخیص داده شد (۴۶). بر طبق سیستم طبقه‌بندی آمریکایی، خاک‌های این منطقه، در رده‌های انتی‌سول‌ها^۳ (عمدتاً تحت گروه Typic Torrifluvents) و اریدی‌سول‌ها^۴ (عمدتاً تحت گروه Typic Haplocalcids) قرار می‌گیرند (۴۶).

کاربری‌های اراضی موجود در منطقه

اراضی واقع در امتداد رودخانه کارون

کاربری این اراضی، که در آن‌ها کشاورزی به روش سنتی انجام می‌شود، از سالیان دور تا به امروز تغییر چندانی نداشته و عمدتاً شامل کشت گندم، جو، برنج و به مقدار کمتر کلزا، گلرنگ، کنجد و گیاهان جالیزی است (۴۶). این اراضی آب مورد نیاز کشاورزی را از رودخانه کارون تأمین کرده و عموماً فاقد سیستم‌های زهکشی مدرن هستند که به علت نزدیک بودن به رودخانه کارون و اختلاف ارتفاع نسبت به آن، از رودخانه به عنوان زهکش طبیعی و روباز استفاده کرده، آب‌های زیرسطحی موجود در مزارع را در رودخانه کارون تخلیه می‌نمایند (۴۶).

اراضی تحت کشت نیشکر

این اراضی دارای فاصله بیشتری از رودخانه کارون بوده اما همچنان آب مورد نیاز خود را از این رودخانه تأمین می‌کنند. اراضی مذکور در واقع بخشی از اراضی شور و بایر منطقه بوده که پس از تسطیح، زهکشی، آبخویی و در نتیجه کاهش شوری خاک، قابل کشت شده‌اند، این اراضی از حدود ۲۰ سال پیش عمدتاً به کشت نیشکر اختصاص داشته و سایر محصولات کشاورزی به ندرت در این مزارع کشت می‌شوند. بر اثر استفاده از سموم، کودها و ماشین‌آلات کشاورزی در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، خصوصیات خاک اراضی مذکور به شدت تحت تأثیر قرار گرفته و تغییرات مهمی نسبت به اراضی دارای مدیریت سنتی و همچنین اراضی بایر در آن‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۱).

اراضی بایر

این اراضی بخش قابل توجهی از مساحت منطقه را به خود اختصاص می‌دهند. این اراضی عمدتاً دارای فاصله بیشتر از ده کیلومتر از رودخانه کارون بوده و به علت شوری بالا، در برخی نقاط قلبایی بودن و همچنین سطح ایستابی بالا و شور، در شرایط فعلی امکان کشت محصولات کشاورزی در آن‌ها مقدور نیست. اراضی

- 1- Hyperthermic
- 2- Aridic
- 3- Entisols
- 4- Aridisols

مورد بررسی دارای واحدهای مختلفی بوده‌اند، به منظور اینکه بتوان آن‌ها را در قالب یک شاخص کلی درآورد، ویژگی‌ها را باید بدون واحد کرد. در ادامه سهم هر ویژگی^۴ به وسیله روش آماری تجزیه عامل^۵ و در دو مجموعه TDS و MDS محاسبه شدند (۳۷ و ۳۹). انجام فرآیند تجزیه عامل (FA) و محاسبه مقدار سهم ویژگی‌ها به وسیله نرم‌افزار آماری SPSS صورت گرفت. سپس مقدار نسبت سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم کل ویژگی‌ها در هر مجموعه به عنوان وزن هر ویژگی برای محاسبه شاخص کیفیت خاک هر کاربری در نظر گرفته شد. در نهایت با استفاده از روابط ریاضی یک و دو، مدل‌های IQI و NQI محاسبه شدند (۳۷).

$$IQI = \sum_{i=1}^n W_i . N_i \quad (1)$$

در این رابطه W_i وزن تعلق گرفته به هر ویژگی خاک، N_i مقدار تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است.

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

در این رابطه P_{ave} میانگین مقادیر ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه خاک، P_{min} حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر برای محاسبه شاخص کیفیت خاک می‌باشد. هر کدام از این شاخص‌ها برای هر نمونه خاک با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک شامل TDS و MDS تعیین شدند. بنابراین برای هر نمونه خاک، چهار شاخص کلی کیفیت خاک شامل: شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی ($IQI_{MDS, TDS}$) و نمره ($NQI_{MDS, TDS}$) محاسبه شدند.

مذکور دارای پوشش غیر متراکم گیاهان شور پسند مانند خانواده اسفناج^۱، خارشتر و شاهی هستند (۴۶).

محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک

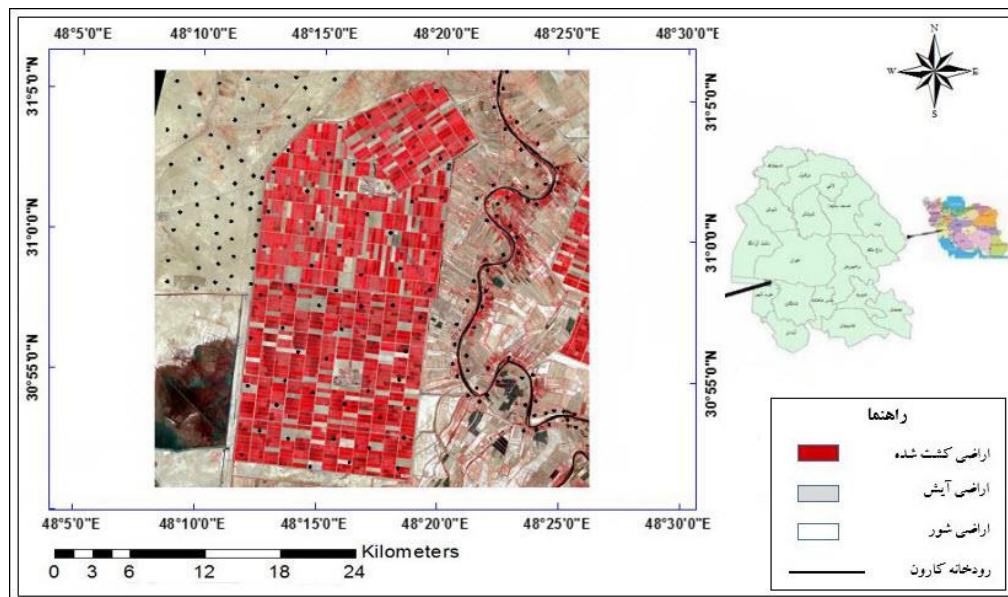
انتخاب، نمره‌دهی و وزن‌دهی ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک

انتخاب خصوصیات از خاک که به بهترین شکل ممکن بیانگر وضعیت کیفیت خاک هستند، اهمیتی کلیدی در ارزیابی کیفیت خاک دارد. ویژگی‌های منتخب باید محدوده گسترده‌ای از مشخصات خاک را پوشش دهند و با این حال هر یک به طور مستقیم بر کیفیت خاک اثر دارند (۴۰). در این تحقیق ۲۲ ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک که در منابع مختلف به عنوان خصوصیات موثر بر کیفیت خاک معرفی شده‌اند (۲۵، ۲۹، ۳۳ و ۳۶)، به عنوان TDS در نظر گرفته شدند. در پژوهش حاضر با توجه به مساحت منطقه مورد مطالعه (۷۸۴۸۰ هکتار) پس از کاربرد روش شبکه‌بندی سیستماتیک در ابتدا ۹۰۰ نقطه به منظور نمونه‌برداری انتخاب شده و در ادامه با توجه به خصوصیات منطقه مورد مطالعه و همچنین سه نوع کاربری موجود، در نهایت تعداد ۱۸۰ نمونه خاک (در هر کاربری ۶۰ نمونه) انتخاب و با روش‌های معمول آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۱).

به منظور انتخاب مجموعه حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک (MDS) به علت قابلیت روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA^2) (۱۲)، از این روش استفاده شد. روش PCA به منظور کاهش حجم داده‌ها، با انتخاب ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک منطقه دارند، از بین تمام ویژگی‌های مورد بررسی خاک، باهدف تعیین کیفیت خاک، مورد استفاده قرار گرفته است (۳۶) (جدول ۱). در این فرآیند مؤلفه‌های اصلی که دارای ارزش ویژه^۳ بیش از یک بودند به عنوان MDS انتخاب شدند (۲۹). با توجه به اینکه ویژگی‌های

4- Commuality
5- Factor analysis

1- Chenopodiaceae
2- Principle component analysis
3- Eigen value



شكل (۱) موقعيت منطقه مطالعاتي در ايران و خوزستان به همراه نقاط نمونه برداري شده

Figure (1) Location of the study area in Iran and Khuzestan with the sampled points.

مي گيرند، مقايسه شوند. به منظور محاسبه شاخص اراضي در روش ريشه دوم از رابطه (۳) استفاده مي شود:

$$I = R_{\min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots} \quad (3)$$

که در آن، I ؛ شاخص ريشه دوم، R_{\min} ؛ فاکتوري است که حداقل نمره را به خود اختصاص داده، A ، B و C مقادير نمره دهی شده برای سایر فاکتورها است (۴۱).

در روش حداکثر محدودیت، همان گونه که از نام آن برمی آید، امتیاز مربوط به فاکتوري که دارای امتیاز حداقل بوده و یا دارای بیشترین محدودیت برای اراضي منطقه می باشد را به عنوان فاکتور محدودکننده انتخاب کرده و امتیاز مربوط به فاکتور مورد نظر به عنوان امتیاز تمام منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته می شود (۳۴).

- به منظور مقایسه انطباق و کارایی روش های استفاده شده از ضریب کاپای کوهن^۳ (۱۹۶۰) استفاده شد که به صورت رابطه (۴) می باشد:

در این رابطه K ضریب کاپا می باشد و $P(A)$ و $P(E)$ قرارداد نسبی مقادیر مشاهده شده بین ارزیاب ها و

در ادامه مقایسه میانگین شاخص ها بین سه دسته نمونه خاک اراضي باير، کشاورزی سنتی و کشت و صنعت صورت گرفت. همبستگی بین شاخص هایی که با استفاده از مجموعه کل ویژگی های موثر بر کیفیت خاک (TDS) و همچنین آن هایی که با استفاده از حداقل ویژگی های موثر بر کیفیت خاک (MDS) به دست آمده اند، در کاربری های سه گانه مورد بررسی قرار گرفتند. این فرآیند به منظور تعیین کارایی MDS معرفی شده نسبت به کل ویژگی ها (TDS) انجام شد. همچنین بین مقادیر شاخص کیفیت خاک در هر کاربری با مقادیر شاخص اراضي، مقایسه آماری صورت گرفت.

ارزیابی اراضي بر اساس روش های ريشه دوم و حداکثر محدودیت:

در این بخش سعی شده است که نتایج به دست آمده از شاخص های کیفیت خاک تجمعی ($IQI_{MDS, TDS}$) و نمره ($NQI_{MDS, TDS}$) با روش های ارزیابی اراضي ريشه دوم^۱ و حداکثر محدودیت^۲ که به طور معمول مورد استفاده قرار

$$K = \frac{P(A) + P(E)}{1 - P(E)} \quad (4)$$

1- Square Root

2- Maximum Limitation

3- Kappa Cohen

با ۵۷/۰۰٪ را بین NQI_{MDS} و NQI_{TDS} گزارش کرده‌اند.

با توجه به همبستگی‌های معنی‌دار موجود، می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از مجموعه حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک (MDS)، امکان محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک IQI و NQI وجود داشته و شاخص‌های IQI و NQI محاسبه‌شده با استفاده از مجموعه کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک (TDS) برتری قابل توجه و معنی‌داری نسبت به نتایجی که از مجموعه حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک (MDS) به دست آمده ندارند. بنابراین، با استفاده از مجموعه MDS که تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک را شامل می‌شود، می‌توان با اطمینان قابل قبولی شاخص‌های کیفیت خاک را تعیین نمود. همان‌طور که قبلاً گفته شد، مجموعه MDS شامل پنج ویژگی خاک می‌باشد در حالی که در مجموعه TDS، ۲۲ ویژگی خاک در نظر گرفته شده است، در نتیجه تعیین کیفیت خاک با استفاده از مجموعه MDS موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه لازم برای تعیین کیفیت خاک می‌شود. همچنین مشاهده می‌گردد که همبستگی بین مجموعه داده‌های TDS و MDS در مورد هر دو شاخص کیفیت خاک (IQI و NQI)، به ترتیب در نمونه خاک اراضی کشت و صنعت بیشتر از کشاورزی سنتی و اراضی بایر می‌باشد. در نتیجه مجموعه MDS در اراضی کشت و صنعت بهتر از کشاورزی سنتی و اراضی بایر می‌تواند بیانگر مجموعه خصوصیات TDS باشد. هرچند با توجه به معنی‌دار بودن همبستگی در تمام موارد، در مورد اراضی دارای کشاورزی سنتی و بایر نیز استفاده از مجموعه MDS به جای TDS کارایی قابل قبولی را به دنبال خواهد داشت (جدول ۳).

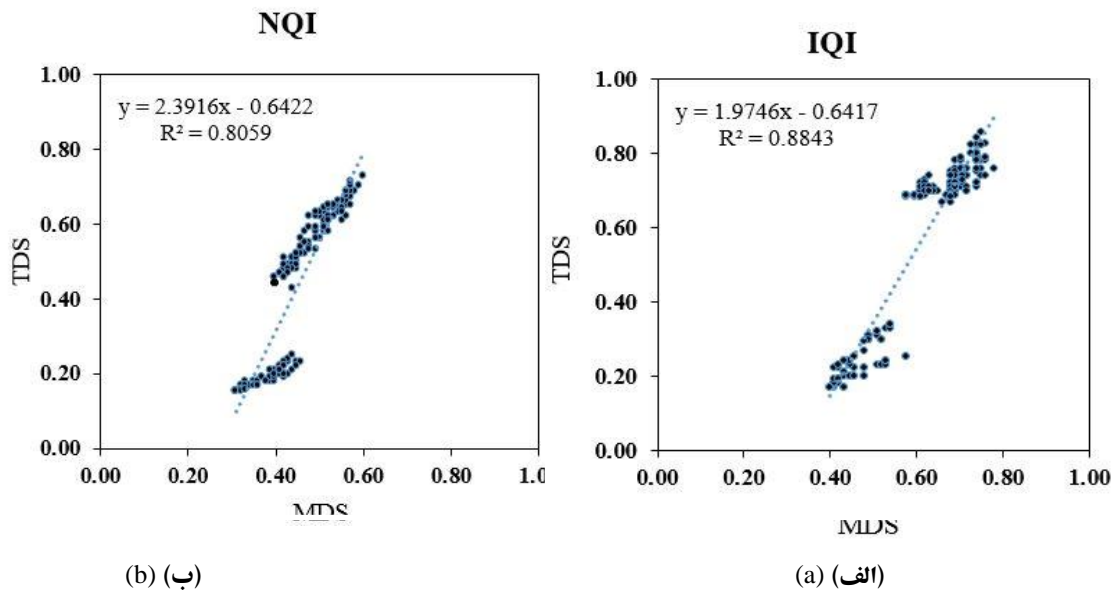
(E) احتمال فرضی قرارداد شانس است. مقدار ضریب کاپا بین صفر تا ۱/۰۰ می‌باشد. اگر هیچ‌گونه توافقی بین موارد ارزیابی وجود نداشته باشد، ضریب کاپا صفر و اگر توافق کامل وجود داشته باشد، ضریب کاپا برابر با ۱/۰۰ می‌گردد (۴۶).

نتایج و بحث:

ویژگی‌های مورد بررسی اراضی به همراه ارزش ویژه به دست آمده از طریق تجزیه مؤلفه‌های اصلی در جدول شماره (۱) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پنج ویژگی دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک بوده و ۹۲ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند، لذا این پنج ویژگی به عنوان مجموعه حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک (MDS) در نظر گرفته شدند. مقادیر سهم و وزن اختصاص یافته به هر ویژگی خاک در دو مجموعه TDS و MDS نیز در جدول شماره (۲) ارائه شده است.

رابطه خطی بین شاخص‌های کیفیت خاک IQI و NQI که با دو مجموعه از ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک (MDS, TDS) برای تمام نمونه‌های مورد بررسی در شکل شماره ۲ آمده است. همچنین نتایج آنالیز همبستگی شاخص‌های کیفیت خاک که با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک (IQI , NQI) محاسبه شده در جدول شماره (۳) آورده شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد به طور کلی در هر چهار مجموعه، همبستگی بین شاخص‌های IQI_{TDS} و NQI_{MDS} بیشتر از همبستگی بین شاخص‌های IQI_{TDS} و NQI_{MDS} می‌باشد. با این وجود، در مورد هر دو شاخص و در هر چهار مجموعه نمونه‌ها، همبستگی‌های به دست آمده بین IQI و NQI در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشند. نتایج پژوهش حاضر با نتایج به دست آمده توسط کی و همکاران^۱ (۲۹) مطابقت دارد، آن‌ها نیز وجود ضریب همبستگی برابر با ۶۷/۲۰٪ را بین IQI_{MDS} و IQI_{TDS} و همچنین ضریب همبستگی برابر



شکل (۲) رابطه خطی بین: الف) IQI_{TDS} و IQI_{MDS} ، ب) NQI_{TDS} و NQI_{MDS} در کل نمونه‌های خاک
Figure (2) Linear relationship between: a. IQI_{TDS} and IQI_{MDS} , b. NQI_{TDS} and NQI_{MDS} in the total soil samples.

صنعت می‌باشند. اراضی بایر در تمام مجموعه‌ها دارای درجه کیفی ۳ بوده، اما در مجموعه NQI_{MDS} دارای درجه کیفی ۴ می‌باشد که این امر نشان‌دهنده کیفیت بسیار پایین این اراضی و محدودیت شدید آن‌ها برای رشد گیاهان متعارف می‌باشد (جدول ۵).

مطالعات مختلف نشان می‌دهند که عملیات کشاورزی و تغییر کاربری اراضی می‌تواند تأثیر مخربی بر اکثر ویژگی‌های کیفی خاک داشته و در کل کیفیت خاک را کاهش دهد (۵، ۶ و ۲۵) اما در شرایط منطقه مورد مطالعه که خاک طبیعی منطقه از کیفیت بسیار پایینی برخوردار بوده (جدول ۵) و سطح آب زیرزمینی نیز بسیار کم عمق می‌باشد، انجام عملیات مدیریتی و اصلاحی متعدد مانند زهکشی، تسطیح، آبشویی، افزودن مواد آلی به خاک، کودهای مختلف و غیره سبب بهبود شرایط خصوصیات کیفی خاک شده و شرایط بهتری را برای رشد و نمو گیاهان فراهم می‌کند (۴۶). شاخص‌های کیفی مختلف خاک تغییرات ایجاد شده بر اثر عملیات اصلاحی و مدیریت اراضی را به خوبی نشان می‌دهند. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که هرچند استفاده از مجموعه‌های TDS دقیقتر و کاملتر از مجموعه‌های MDS باشند، اما با استفاده از مجموعه‌های MDS نیز می‌توان شاخص‌های کیفیت

مقدار میانگین شاخص‌های کیفیت خاک IQI_{TDS} ، IQI_{MDS} ، NQI_{TDS} و NQI_{MDS} در کل خاک‌های منطقه مورد مطالعه و در سه کاربری کشت و صنعت، سنتی و بایر در جدول شماره (۵) ارائه شده است. کی و همکاران (۲۹) به منظور طبقه‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک، توانستند آن‌ها را به چهار گروه کلی تقسیم‌بندی کنند: درجه I مناسب برای رشد گیاه، درجه II مناسب برای رشد گیاه لیکن با مقداری محدودیت، درجه III دارای محدودیت بیشتری نسبت به درجه II و درجه IV دارای محدودیت بسیار زیاد برای رشد گیاه (جدول ۴) (۲۹). براساس این طبقه‌بندی و همچنین جدول شماره (۵)، مشاهده می‌گردد که هیچ‌کدام از کاربری‌ها در درجه یک قرار نمی‌گیرند. اراضی کشت و صنعت در تمام مجموعه‌ها در درجه ۲ بوده و فقط در مجموعه NQI_{MDS} در درجه ۳ قرار گرفته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی کیفیت خاک این اراضی دارای اندکی محدودیت برای رشد گیاهان بوده و کیفیت خاک، رشد گیاهان را با محدودیت جدی مواجه نخواهد کرد. شاخص‌های کیفیت خاک در محدوده اراضی تحت کاربری کشاورزی سنتی، در درجات ۲، ۳ و ۴ قرار گرفته و همان‌گونه که از نتایج برمی‌آید، این اراضی دارای محدودیت بیشتری نسبت به اراضی کشت و

اختلاف کیفیت خاک بین کاربری‌های کشت و صنعت، سستی و اراضی بایر را نشان دهد. لذا توصیه می‌شود در شرایطی که پژوهشگران از جنبه زمان و هزینه انجام طرح‌های تحقیقاتی در تنگنا قرار گرفته‌اند، به منظور تعیین شاخص کیفیت خاک از مجموعه‌های MDS بجای TDS استفاده کنند.

خاک منطقه مورد مطالعه را با دقت قابل قبولی تعیین کرده و با این انتخاب زمان و هزینه انجام طرح‌های تحقیقاتی را به مقدار قابل توجهی کاهش داد. براساس نتایج به دست آمده از این طرح پژوهشی، استفاده از شاخص‌های IQI_{MDS} و NQI_{MDS} می‌تواند به خوبی وجود

جدول (۱) ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک مورد بررسی و ارزش ویژه به دست آمده با استفاده از روش نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)

Table (1) Characteristics affecting the quality of the studied soil and the eigenvalue obtained using the principal component analysis results method.

منبع Reference	ماتریس مولفه بعد از چرخش** Rotated Component Matrix**	ماتریس مولفه قبل از چرخش Component Matrix	ارزش ویژه* Eigen Value*	ویژگی Character
(16)	<u>0.966</u>	<u>0.973</u>	<u>2.233</u>	<u>EC_e</u>
(28)	-0.814	-0.782	0.005	PH
(16)	<u>0.964</u>	<u>0.973</u>	<u>10.393</u>	<u>Na</u>
(16)	0.956	0.962	0.786	Ca
(16)	0.958	0.926	1.473	Mg
(16)	<u>0.960</u>	<u>0.971</u>	<u>4.362</u>	<u>Cl</u>
(16)	0.952	0.951	0.302	HCO ₃
(16)	<u>0.959</u>	<u>0.964</u>	<u>1.411</u>	<u>SO₄</u>
(28)	<u>0.919</u>	<u>0.968</u>	<u>0.262</u>	<u>SAR</u>
(16)	-0.466	-0.640	0.127	CEC
(28)	0.374	0.453	0.011	K(ppm)
(28)	-0.182	-0.177	0.018	P(ppm)
(28)	0.344	0.553	0.403	CCE(%)
(44)	-0.279	-0.475	0.131	OM%
(16)	-0.225	-0.429	0.228	AC(ppm)
(14)	0.110	0.320	0.482	Sand
(14)	-0.258	-0.469	0.077	Clay
(14)	0.081	0.017	0.154	Silt
(38)	0.189	0.410	0.052	KS (m.d ⁻¹)
(13)	-0.090	-0.268	0.035	MWD(mm)
(38)	0.123	0.304	0.376	Surface Hardness (psi)
(33)	0.195	0.476	0.022	Pb (gr.cm ⁻³)

* ویژگی‌های دارای ارزش ویژه بزرگتر از یک به صورت پررنگ مشخص شده و به عنوان مجموعه MDS در نظر گرفته شده‌اند.

* Characteristics that have Eigen value greater than one are bolded and are considered as MDS.

** روش چرخش: واریماکس همراه با روش نرمال‌سازی کایزر.

**Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

ظهیرنیا و همکاران: بررسی پارامترهای موثر بر کیفیت خاک...

جدول (۲) وزن ویژگی‌های کیفیت خاک در دو مجموعه TDS و MDS با استفاده از روش تجزیه عامل (FA)
Table (2) Weight of soil quality characteristics in two sets of TDS and MDS using the Factor Analysis method (FA)

MDS		TDS		ویژگی Character
وزن Weight	سهم COM	وزن Weight	سهم COM ¹	
0.202	0.991	0.050	0.991	<u>ECe</u> (ds.m ⁻¹)
-	-	0.036	0.694	PH
0.202	0.990	0.050	0.990	<u>Na</u> (meq.lit ⁻¹)
-	-	0.049	0.971	Ca (meq.lit ⁻¹)
-	-	0.049	0.972	Mg (meq.lit ⁻¹)
0.200	0.983	0.049	0.983	<u>Cl</u> (meq.lit ⁻¹)
-	-	0.048	0.956	HCO ₃ (meq.lit ⁻¹)
0.199	0.975	0.049	0.975	<u>SO₄</u> (meq.lit ⁻¹)
0.196	0.961	0.048	0.961	<u>SAR</u>
-	-	0.035	0.695	CEC (Cmolc.kg ⁻¹)
-	-	0.035	0.702	K (ppm)
-	-	0.038	0.756	P (ppm)
-	-	0.030	0.605	CCE (%)
-	-	0.045	0.903	OM (%)
-	-	0.032	0.643	AC (ppm)
-	-	0.049	0.969	Sand (%)
-	-	0.043	0.862	Clay (%)
-	-	0.047	0.926	Silt (%)
-	-	0.043	0.856	KS (m.d ⁻¹)
-	-	0.042	0.831	MWD (mm)
-	-	0.048	0.950	Surface Hardness (psi)
-	-	0.037	0.728	Pb (gr.cm ⁻³)

جدول (۳) ضرایب همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک محاسبه شده با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های متفاوت (NQI و IQI)

Table (3) Correlation coefficient between soil quality indices calculated using two data sets (NQI and IQI)

شاخص‌های کیفیت خاک Soil Quality Indicators		کاربری اراضی Land Use
NQI	IQI	
0.82 ^{**}	0.86 ^{**}	کشت و صنعت Agro-Industry
0.74 ^{**}	0.79 ^{**}	کشاورزی سنتی Traditional Agriculture
0.67 ^{**}	0.71 ^{**}	اراضی بایر Barren Lands
0.90 ^{**}	0.93 ^{**}	کل نمونه‌ها Total Samples

** همبستگی معنی دار در سطح ۱٪
Significant correlation at 1% level

جدول (۴) دامنه امتیازها برای چهار درجه شاخص‌های کیفیت در خاک سطحی (۲۹)

Table (4) The range of scores for four indicators of quality in the soil surface (24)

دامنه امتیازها

Range of scores

NQI _{MDS}	NQI _{TDS}	IQI _{MDS}	IQI _{TDS}	درجه Degree
0.80 <	0.55 <	0.78 <	0.76 <	I
0.70 - 0.80	0.45 - 0.55	0.68 - 0.78	0.66 - 0.76	II
0.60 - 0.70	0.35 - 0.45	0.58 - 0.68	0.56 - 0.66	III
< 0.60	< 0.35	< 0.58	< 0.56	IV

جدول (۵) مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در نمونه‌های خاک کشت و صنعت، سنتی و بایر

Table (5) Average values of soil quality indicators in soil samples of Agro-Industry, traditional and barren.

شاخص کیفیت خاک

Soil Quality Index

NQI _{MDS}	NQI _{TDS}	IQI _{MDS}	IQI _{TDS}	کاربری اراضی Land Use
0.64	0.53	0.76	0.72	کشت و صنعت Agro-Industry
0.52	0.46	0.71	0.65	سنتی Traditional
0.19	0.38	0.24	0.47	بایر barren
0.45	0.46	0.57	0.61	کل نمونه‌ها Total samples

ارزیابی تناسب اراضی

در این پژوهش به منظور بررسی بیشتر کارایی روش‌های شاخص تجمعی کیفیت خاک (IQI) و شاخص کیفیت خاک نمر (NQI) و همچنین انطباق نتایج به دست آمده از آن‌ها با نتایج حاصله از روش‌های متداول، ارزیابی تناسب اراضی به روش‌های ریشه دوم^۱ و حداکثر محدودیت^۲ در کاربری‌های موجود در منطقه مورد مطالعه انجام شد. نتایج روش ارزیابی ریشه دوم در کاربری‌های سه‌گانه نشان داد که اراضی کشت و صنعت با امتیاز ۶۰/۳۴، کلاس S₂ (تناسب متوسط) را به خود اختصاص داده و بعد از آن به ترتیب کاربری‌های کشاورزی سنتی (امتیاز ۴۳/۵۸، کلاس S₃) و اراضی بایر (امتیاز ۲۴/۱۸، کلاس N₁) قرار دارند (جدول ۶). همچنین نتایج ارزیابی اراضی به روش حداکثر محدودیت نیز نشان می‌دهد که به ترتیب اراضی کشت و صنعت (امتیاز ۴۵/۲۷، کلاس S₃)، کشاورزی سنتی (امتیاز ۱۹/۸۲، کلاس N₁) و اراضی بایر (امتیاز ۱۱/۳۶، کلاس N₂) می‌باشند (جدول ۶). همان‌طور که از این نتایج برمی‌آید، نتایج روش ریشه دوم به علت وارد شدن پارامترهای بیشتری در آن، با نتایج به دست آمده از روش‌های شاخص تجمعی کیفیت خاک (IQI) و شاخص کیفیت خاک نمر (NQI) دارای انطباق بیشتری بوده و اختلافات موجود بین کاربری‌های مختلف را بهتر نشان می‌دهد، این در حالی است که در روش حداکثر محدودیت به منظور ارزیابی اراضی، فقط محدودکننده‌ترین پارامتر در نظر گرفته شده، این امر منجر به کاهش شدید نتایج ارزیابی اراضی در کاربری‌های مختلف شده و به همین علت اختلاف بین نتایج به دست آمده از روش حداکثر محدودیت با سایر روش‌های مورد مطالعه زیاده‌تر می‌باشد (جدول ۶). مقایسه نتایج به دست آمده از شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی (IQI_{MDS, TDS}) و نمر (NQI_{MDS, TDS}) و روش‌های ارزیابی اراضی ریشه دوم و حداکثر محدودیت نشان می‌دهد که در تمام روش‌ها اراضی کشت

و صنعت دارای بیش‌ترین تناسب و بعد از آن به ترتیب اراضی تحت کشت سنتی و بایر قرار دارند (جدول ۶). با توجه به اینکه نتایج نشان می‌دهند که میانگین شاخص کیفیت خاک تجمعی (IQI_{TDS}) از سایر شاخص‌های محاسبه شده بیشتر است (جدول ۵)، بنابراین به منظور بررسی و مقایسه بیشتر نتایج به دست آمده از شاخص کیفیت خاک تجمعی (IQI_{TDS})، روش‌های ریشه دوم و حداکثر محدودیت از ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا محاسبه شده بین شاخص کیفیت خاک تجمعی (IQI_{TDS}) و روش ریشه دوم ۰/۸۳ می‌باشد. این مقدار نشان دهنده سطح بالایی از هماهنگی بین شاخص کیفیت خاک تجمعی (IQI_{TDS}) و روش ریشه دوم می‌باشد. همچنین ضریب کاپا محاسبه شده بین شاخص کیفیت خاک تجمعی (IQI_{TDS}) و روش حداکثر محدودیت ۰/۳۷ می‌باشد که بیانگر وجود هماهنگی متوسط بین این دو روش است (جدول ۷). نتایج به دست آمده از روش‌های شاخص کیفیت خاک با نتایج روش ریشه دوم انطباق بیشتری دارد این امر به علت دخیل بودن فاکتورهای بیشتری در محاسبه تناسب اراضی به روش ریشه دوم می‌باشد، درحالی‌که در روش حداکثر محدودیت، فقط پارامتری که بیش‌ترین محدودیت را ایجاد می‌کند در نظر گرفته شده و از مقادیر سایر پارامترها صرف‌نظر می‌گردد. در روش‌های ریشه دوم و حداکثر محدودیت، محدودکننده‌ترین فاکتور در منطقه مورد مطالعه هدایت الکتریکی گل اشباع خاک و در مواردی سطح آب زیرزمینی بالا بوده که این نتایج با نتایج به دست آمده از شاخص‌های کیفیت خاک که با استفاده از روش آماری تجزیه عامل^۳، هدایت الکتریکی گل اشباع را به عنوان مهم‌ترین عامل معرفی می‌کنند، انطباق کامل دارد.

1- Square Root

2- Maximum Limitation

3- Factor analysis

جدول (۶) مقایسه نتایج روش های ارزیابی ریشه دوم و حداکثر محدودیت با مقادیر میانگین کلی شاخص های کیفیت خاک

Table (6) Comparison of the results of secondary root assessment methods and maximum limit with the mean values of total soil quality indicators

میانگین کلی شاخص های کیفیت خاک Overall average Soil quality indicators		روش حداکثر محدودیت Maximum limitation method		روش ریشه دوم Root square method		کاربری اراضی Land use
شاخص Index	درجه Grade	امتیاز Score	کلاس Class	امتیاز Score	کلاس Class	
0.66	II	45.27	S ₃	60.34	S ₂	کشت و صنعت Agro-Industry
0.59	III	19.82	N ₁	43.58	S ₃	کشاورزی سنتی Traditional
0.32	IV	11.36	N ₂	24.18	N ₁	اراضی بایر barren

جدول (۷) مقایسه روش های ریشه دوم و حداکثر محدودیت با روش IQI_{TDS}Table (7) Comparison of secondary root methods and maximum limitation with IQI_{TDS} method

روش حداکثر محدودیت Maximum limitation method			روش ریشه دوم Root square method		
صحت کلی = ۵۸/۴۶ % Overall accuracy = 58.46 % ضریب کاپا = ۳۷/۱۰۰ % Kappa coefficient = 37.00 %			صحت کلی = ۹۱/۲۷ % Overall accuracy = 91.27 % ضریب کاپا = ۸۳/۱۰۰ % Kappa coefficient = 83.00 %		
دقت طبقات درجه بندی (کلاس بندی) Grading class accuracy (classification)			دقت طبقات درجه بندی (کلاس بندی) Grading class accuracy (classification)		
درجه (کلاس) Degree (class)	روش IQI _{TDS} TQI _{TDS} method	روش حداکثر محدودیت Maximum limitation	درجه (کلاس) Degree (class)	روش IQI _{TDS} IQI _{TDS} method	روش ریشه دوم Root square
II	71.29	49.36	II	93.87	82.63
III	78.45	62.73	III	96.21	98.15
IV	56.81	84.67	IV	87.54	91.37

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از دو مدل شاخص تجمعی کیفیت خاک (IQI) و شاخص کیفیت خاک نمره (NQI)، هر کدام در دو مجموعه ویژگی‌های MDS و TDS، به منظور ارزیابی اراضی استفاده شد. همچنین به منظور مقایسه نتایج به دست آمده در روش‌های شاخص کیفیت خاک، از روش‌های ارزیابی تناسب اراضی ریشه دوم و حداکثر محدودیت استفاده شد. نتایج نشان داد که به طور کلی خاک‌های منطقه از نظر شاخص‌های کیفیتی مورد مطالعه در سطوح مختلف قرار داشتند، به طوری که اراضی کشت و صنعت دارای حداکثر کیفیت، پس از آن‌ها به ترتیب اراضی تحت کشاورزی سنتی و اراضی بایر قرار داشتند. این نتایج، داده‌های به دست آمده از روش‌های تناسب اراضی، به ویژه ریشه دوم را مورد تأیید قرار می‌دهند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین IQI_{TDS} و IQI_{MDS} ($R^2 = 88/43\%$) و همچنین بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} ($R^2 = 80/59\%$) وجود دارد. این امر نشان می‌دهد که به خوبی می‌توان از مجموعه MDS تهیه شده به نمایندگی از مجموعه TDS استفاده کرد. بنابراین به منظور کاهش زمان و هزینه اجرای طرح‌های مشابه می‌توان به جای TDS از MDS استفاده کرد. با استفاده از روش آماری تجزیه عامل مشخص شد که پنج ویژگی هدایت الکتریکی (EC_e)، غلظت سدیم، کلر، سولفات و SAR در عصاره اشباع خاک بیش‌ترین تأثیر را بر کیفیت اراضی منطقه جنوب غرب خوزستان دارند. این امر به علت تأثیر بسیار زیاد املاح محلول، کم عمق و شور بودن آب زیرسطحی بر شاخص‌های کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه بوده، به طوری که فرآیند تجمع املاح در سطح و عمق خاک، کیفیت خاک را به طور عمده تحت تأثیر قرار می‌دهند. این پارامترها در روش‌های

ریشه دوم و حداکثر محدودیت نیز به عنوان محدودکننده‌ترین فاکتور (عامل حداقل) در نظر گرفته شده و نتایج داده‌های آماری را مورد تأیید مجدد قرار می‌دهند. به منظور بررسی و مقایسه بیشتر نتایج به دست آمده از شاخص کیفیت خاک تجمعی (IQI_{TDS}) و روش‌های ریشه دوم و حداکثر محدودیت از ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا محاسبه شده بین شاخص کیفیت خاک (IQI_{TDS}) تجمعی و روش ریشه دوم $0/83$ می‌باشد. این مقدار نشان‌دهنده سطح بالایی از هماهنگی بین نتایج به دست آمده از روش شاخص کیفیت خاک تجمعی (IQI_{TDS}) و روش ریشه دوم می‌باشد. همچنین ضریب کاپا محاسبه شده بین شاخص کیفیت خاک تجمعی (IQI_{TDS}) و روش حداکثر محدودیت $0/37$ می‌باشد که بیانگر وجود هماهنگی متوسط بین این دو روش است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آبخوبی اراضی و خروج املاح از سطح و عمق پروفیل خاک که در کاربری‌های کشت و صنعت و کشاورزی سنتی مشاهده شده، عامل اصلی ایجاد اختلاف بین کاربری‌های یاد شده و اراضی بایر می‌باشد. در اراضی کشت و صنعت بر اثر تسطیح، زهکشی و آبخوبی، املاح اضافه از نیمرخ خاک شسته شده و شرایط برای رشد گیاهان فراهم شده است، هرچند که به علت متحرک بودن املاح در پروفیل خاک، ضرورت تداوم عملیات مدیریتی مناسب در این اراضی الزامی به نظر می‌رسد. مدیریت اراضی کشت و صنعت به خصوص در زمینه افزودن عناصر کم مصرف، مواد آلی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی باید به نحوی انجام شود که شاخص‌های کیفیت خاک به محدوده بهینه نزدیکتر شده و شاهد الگویی برای کشاورزی پایدار در منطقه باشیم.

References

1. Andrews, S. S., Mitchell, J. P., Mancinelli, R., Karlen, D. L., Hartz, T. K., Horwath, W. R., and Munk, D. S. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agronomy Journal*, 94(1), 12-23 .
2. Aparicio, V., Costa, J. L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research*, 96(1-2), 155-165 .
3. Arshad, M. A., Martin, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 88(2), 153-160 .
4. Cambardella, C., Gajda, A., Doran, J., Wienhold, B., Kettler, T., and Lal, R. 2001. Estimation of particulate and total organic matter by weight loss-on-ignition. *Assessment methods for soil carbon*, 349-359 .
5. CASTRO FILHO, C. d., Muzilli, O., and Podanoschi, A. 1998. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22(3), 527-538 .
6. Celik, I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*, 83(2), 270-277.
7. Davari, M., Gholami, L., Nabiollahi, K., Homaei, M., and Joneidi Jafari, H. 2020. Deforestation and cultivation of sparse forest impacts on soil quality (case study: West Iran, Baneh). *Soil & Tillage Research*. 198, 104504.
8. Diodato, N., Ceccarelli, M. 2004. Multivariate indicator Kriging approach using a GIS to classify soil degradation for Mediterranean agricultural lands. *Ecological Indicators* 4(3): 177-187.
9. Dobermann, A., Oberthür, T. 1997. Fuzzy mapping of soil fertility—a case study on irrigated riceland in the Philippines. *Geoderma* 77(2-4): 317-339.
10. Doran, J. W., Parkin, T. B. 1994. Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment* 35: 1-21.
11. Dumanski, J. 2000. *Land Quality Indicators: Research plan Agric. Eco and Environ.*
12. Dumanski, J., Pieri, C. 2000. Land quality indicators: research plan. *Agriculture, ecosystems & environment*, 81(2), 93-102 .
13. Gee, G. W., Bauder, J., and Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis, part 1: Physical and mineralogical methods*. Soil Science Society of America Book Series. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, 404-410 .
14. Gee, G. W., Bauder, J. W. 1986. Particle-size analysis 1. *Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods (methods of soil vol. 1)*, 383-411 .
15. Govaerts, B., Sayre, K. D., and Deckers, J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 163-174 .
16. Gugino, B. K., Abawi, G. S., Idowu, O. J., Schindelbeck, R. R., Smith, L. L., Thies, J. E., and Van Es, H. M. 2009. *Cornell soil health assessment training manual: Cornell University College of Agriculture and Life Sciences.*
17. Han, W., Wu, Q. 1994. A primary approach on the quantitative assessment of soil quality. *Chin. J. Soil Sci* 25: 245-247.

18. Herrick, J. E., Brown, J. R., Tugel, A. J., Shaver, P. L., and Havstad, K. M. 2002. Application of soil quality to monitoring and management. *Agronomy Journal*, 94(1), 3-11 .
19. Islam, K. R., Weil, R. 2000. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55(1), 69-78 .
20. Karlen, D., Gardner, J., and Rosek, M. 1998. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. *Journal of production agriculture*, 11(1), 56-60.
21. Klingebiel, A. A., Montgomery, P. H. 1961. Land-capability classification, Soil Conservation Service, US Department of Agriculture.
22. McBratney, A. B., Odeh, I. O. 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma* 77(2-4): 85-113.
23. Moradi, S., Nabiollahi, K., and Hosseini, S. T. 2018. Assessing the effect of forest degradation and slope position on soil quality index. *Journal of Agricultural Engineering*. 41(4), 113-129. (in Persian with English abstract)
24. Nabiollahi, K., Golmohamadi, F., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., and Davari, M. 2018. Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate. *Geoderma* 318, 16–28.
25. Nabiollahi, Sh., Taghizadeh-Mehrjardi, Sh., Moradian, R., and Kerry, R. 2017. Assessment of soil quality indices for salt-affected agricultural land in Kurdistan Province, Iran. *Ecological Indicators*. 83, 482–494.
26. Nabiollahi, K., Taghizadeh-Mehrjardi, R., and Eskandari, S. 2018. Assessing and monitoring the soil quality of forested and agricultural areas using soil-quality indices and digital soil-mapping in a semi-arid environment. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 5, 696–707.
27. Nelson, P. N., Barzegar, A. R., and Oades, J. M. 1997. Sodicity and clay type: influence on decomposition of added organic matter. *Soil science society of America journal*, 61(4), 1052-1057 .
28. Page, A., Miller, R., and Keeney, D. 1982. Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties.
29. 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(3-4), 325-334.
30. 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.
31. Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H., Fereidouni, Z., and Rahimi Bandarabadi, S. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indicators* 40: 19-26.
32. Ramazani, F., Jafari, S., Salavati, A., and Khalili Moghaddam, B. 2016. Study the soil quality changes indicators using Nemoro and Integrated quality index models in some Khuzestan's soils. *Journal water and soil*. Vol 29. No. 6. (in Persian with English abstract)
33. Reynolds, W., Drury, C., Tan, C., Fox, C., and Yang, X. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152(3-4), 252-263 .
34. Rezaei, S., Gilkes, R., Andrews, S., and Arzani, H. 2005. Soil quality assessment in semiarid rangeland in Iran. *Soil use and management*, 21(4), 402-409 .
35. Romero-Aranda, R., Soria, T., and Cuartero, J. 2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant science*, 160(2), 265-272 .

36. Shahab, H., Emami, H., and Haghnia, G. 2018. Effects of Gully Erosion on Soil Quality Indices in Northwestern Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(6), 1317-1329. (in Persian with English abstract)
37. Shukla, M., Lal, R., and Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 194-204 .
38. Singh, M., Khera, K. 2009. Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land uses. *Arid Land Research and Management*, 23(2), 152-167 .
39. Sun, B., Zhou, S., and Zhao, Q. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, 115(1-2), 85-99 .
40. . Supriyadi, S., Hartati, S., and Machfiroh, N. 2016. Soil Quality Index in the Upstream of Bengawan Solo River Basin According to the Soil Function in Nutrient Cycling Based on Soybean Production in Agroforestry. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*, 38(1), 55-63 .
41. Sys, C., Van Ranst, E., and Debaveye, J. 1991. Land evaluation part I, II & III 1993. General Administration for Development Cooperation, Brussels .
42. . Tesfahunegn, G. B. 2016. Soil quality indicators response to land use and soil management systems in northern Ethiopia's catchment. *Land Degradation & Development*, 27(2), 438-448.
43. van der Ploeg, R. R., Böhm, W., and Kirkham, M. B. 1999. On the origin of the theory of mineral nutrition of plants and the law of the minimum. *Soil science society of America journal*, 63(5), 1055-1062 .
44. Walkley, A., Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38 .
45. Wang, X., Gong, Z. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. *Geoderma*, 81(3-4), 339-355 .
46. Zahirnia, A. R., Matinfar, H. R. 2019. Determination of the Land Suitability of Sugarcane Fields Based on Soil Quality Index Using a Geographic Information System. *Journal of Water and Soil Science*, 23(2), 173-188 .doi:10.29252/jstnar.23.2.173. (in Persian with English abstract)
47. Zeraatpisheh, M., Bakhshandeh, E., Hosseini, and Alavi, S. M. 2020. Assessing the effects of deforestation and intensive agriculture on the soil quality through digital soil mapping. *Geoderma*. 363, 114139.
48. Zornoza, R., Acosta, J., Bastida, F., Domínguez, S., Toledo, D., and Faz, A. 2015. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil*, 1(1), 173.

