

Research Article

Agricultural Engineering., 47(2) (2024) .161-183

ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2024.46264.1713

ISSN (E): 2588-5944

Comparison of determination of lands suitability by Storie, square root methods, and geographic information systems using the methods of soil quality indices

F. Kohani¹, H.R. Matinfar^{2*}, M. Rostaminia³ and A.R. Amirian Chekan⁴

1. Ph.D. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture Sciences, Lorestan, Iran
2. Full Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture Sciences, Lorestan, Iran
3. Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture Sciences, Ilam, Iran
4. Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture Sciences, Lorestan, Iran

Received: 6 March 2024

Accepted: 18 May 2024

*Corresponding Author: Matinfar.h@lu.ac.ir

Abstract

Introduction: Assessing land suitability and determining its production potential to manage soil and land resources is one of the best sustainable agricultural policies. After wheat, barley is supposed to be the second most cultivated crop in Iran. However, all soils in Iran are equally suitable for barley production. This study was conducted with the aim of evaluating the suitability of land for barley cultivation using a spatial model integrated with Geographical Information System (GIS).

Materials and Methods: The suitability of the land for barley cultivation is affected by various factors including (percentage of sand, percentage of silt, percentage of clay, percentage of saturated moisture, structure, percentage of surface gravel, water retention capacity, organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, EC, CEC, SAR, CaCO₃ and pH) that were identified in the study area. In order to evaluate the suitability of land for the production of barley crops, Cumulative Quality Index (IQI) and Numerical Quality Index (NQI) were used with two series of data sets including: Total Data Set (TDS) and Minimum Data Set (MDS) and the results of this The indices were compared with two indices, storie and square root.

Results and Discussion: 17 measured parameters were used as the total data set (TDS) and 5 parameters (sand, clay, and silt percentage, saturated moisture and pH) were used as the minimum data set (MDS). Also, the results showed that using the data set The minimum (MDS) provides a closer estimate to the storied and square-root methods compared to using the total data set (TDS), thus even considering a limited number of effective soil properties with respect to spending less time and money on quality assessment. Soil and agricultural management can provide better results.

Conclusion: By calculating various indices and comparing them with the common Storie and square root methods, it becomes possible to survey and monitor land using new techniques. This helps validate the accuracy of the index performance. With the square root and storie techniques, the value of each parameter is categorised based on sources and conducted studies, and the requirements of the barley plant. Each parameter receives a specific grade. Considering the assigned grades and comparing them with the estimated values from the ground experiments, it is possible to identify which areas of land are more or less suitable for the intended purpose. Satellite images combined with ground observation data provide valuable information for land evaluation. The results showed that most of the units in the storie model and the square root were placed in the medium suitability class (S2) for barley production. Comparing the correlation between land suitability assessment methods and measuring soil quality showed that there is the highest correlation between the NQIMDS method and the square root. In general, it can be said that the soil quality index can provide better results with minimum data and less time and cost for soil quality



assessment and agricultural management. The soil maps produced for agricultural suitability analysis in this research can serve as an effective aid in decision-making processes. Subsequent research should concentrate on employing new predictive tools to enhance forecasting abilities. Most studies have used fundamental GIS techniques for resource allocation. GIS is a potent tool for spatial analysis in resource allocation. Since land resources are decreasing rapidly, land use planning should be accomplished efficiently to recognise new areas for crop production. The use of advanced simulation software assists in the reduction of redundancy within other processes while simultaneously increasing their accuracy. Consequently, researchers must concentrate on carrying out studies concerning new and developed GIS software. Unmanned aerial vehicles (UAVs) could enhance accessibility, and therefore improve the effectiveness of resource allocation (Yu et al., 2014). Modelling techniques can be employed to evaluate the practical impact of resources.

Keywords: Key words: Suitability, Minimum data, IQI, NQI, storie, second root

مقایسه تعیین تناسب اراضی به روش‌های استوری و ریشه دوم و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با روش‌های شاخص‌های کیفیت خاک

فوزیه کوهنی^۱، حمیدرضا متین‌فر^{۲*}، محمود رستمی‌نیا^۳ و علیرضا امیریان چکان^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۳- دانشیار، علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۴- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶	
پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹	
کلمات کلیدی:	
تناسب اراضی،	
حداقل داده،	
<i>IQI</i>	
<i>NQI</i>	
استوری،	
ریشه دوم	
* عهده دار مکاتبات Email: Matinfar.h@lu.ac.ir	<p>ارزیابی تناسب اراضی و تعیین پتانسیل تولید آن‌ها به منظور مدیریت منابع خاک و اراضی یکی از بهترین سیاست‌های کشاورزی پایدار است. هدف از این مطالعه مقایسه روش‌های استوری و ریشه دوم با روش‌های شاخص کیفیت خاک به منظور تناسب اراضی زراعی واقع در استان ایلام شهرک ولیعصر بخش بدره برای کشت جو می باشد. برای این منظور شاخص کیفیت تجمعی (<i>IQI</i>) و شاخص کیفیت نمورو (<i>NQI</i>) با دو سری مجموعه داده‌ها استفاده شد: مجموعه داده‌های کل (<i>TDS</i>) و مجموعه داده‌های حداقل (<i>MDS</i>). برای محاسبه شاخص‌های کیفی از داده‌های ۸۳ نیم‌رخ خاک در مساحت ۱۴۰۰ هکتار با در نظر گرفتن ویژگی‌های (درصد شن، درصد سیلت، درصد رس، درصد رطوبت اشباع، ساختمان، درصد سنگریزه سطحی، ظرفیت نگهداری آب، مواد آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نسبت جذب سدیم، درصد کربنات کلسیم و واکنش خاک) استفاده شد. از ۱۷ پارامتر اندازه‌گیری شده به‌عنوان مجموعه داده‌های کل (<i>TDS</i>) و از ۵ پارامتر (درصد شن، درصد رس، درصد سیلت، رطوبت اشباع و <i>pH</i>) به عنوان مجموعه داده‌های حداقل (<i>MDS</i>) استفاده شد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از مجموعه داده‌های حداقل (<i>MDS</i>) تخمین نزدیکی به روش‌های استوری و ریشه دوم در مقایسه با استفاده از مجموعه داده‌های کل (<i>TDS</i>) ارائه می‌دهد. نتایج نشان داد که اکثر واحدها در مدل استوری و ریشه دوم در کلاس تناسب متوسط (<i>S2</i>) برای تولید جو قرار گرفتند. مقایسه همبستگی بین روش‌های ارزیابی تناسب اراضی و تعیین شاخص‌های کیفیت خاک نشان داد بیشترین مقدار همبستگی بین روش <i>NQIMDS</i> و ریشه دوم وجود دارد. بطور کلی می‌توان گفت شاخص کیفیت خاک با حداقل داده و با صرف زمان و هزینه کمتر برای ارزیابی کیفیت خاک و مدیریت کشاورزی می‌تواند نتایج بهتری ارائه دهد.</p>

مقدمه

کشاورزی به منظور تامین غذای جمعیت رو به رشد بشر می‌بایست علاوه بر قدرت تولید زیاد، پایداری دراز مدت استفاده از اراضی و حفظ منابع اراضی را نیز مورد توجه قرار دهد. از این رو یافتن شیوه‌های جدید در توسعه کشاورزی که بر مبنای حفاظت منابع مربوط استوار باشد، ضروری است. برای نیل به این مقصود، شناخت ظرفیت تولید اراضی و انتخاب نوع کاربری متناسب با این ظرفیت از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که یکی از راه‌های رسیدن به این مهم، ارزیابی تناسب اراضی است (۵۹). جو به دلیل مقاومت زیاد در مقابل ناسازگاری‌های محیطی و نیز به دلیل نیاز کمتر به رطوبت و تطابق بیشتر با محیط در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود (۱۱). جو بعد از گندم از لحاظ سطح زیر کشت در ایران مقام دوم را دارد. طبق آخرین آمار وزارت جهاد کشاورزی سطح زیر کشت جو در کشور شامل ۶۲۱۹۴۰ هکتار آبی و ۹۲۵۴۳۴ هکتار دیم (مجموع ۱/۵۴۷ میلیون هکتار) و مقدار کل تولید جو در ۳/۵۱۴ میلیون تن می‌باشد. میانگین عملکرد دانه جو در زراعت آبی ۳۷۶۳ و در زراعت دیم ۱۲۶۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (۱). روش ارزیابی تناسب اراضی در رویکردهای کمی شامل بسیاری از سیستم‌های مدل‌سازی شبیه‌سازی می‌شود (۵۲، ۶۰). روش‌های سنتی که هنوز هم به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل منطق بولی (۲۵)، ترکیب خطی وزنی (WLC^1) (۵۲)، همپوشانی وزنی (WO^2) (۲۳)، استوری و ریشه دوم (۱۹)، مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه (۳۳) و آمار چند متغیره (۲). ارزیابی تناسب اراضی (LSA^3) با توجه به رویکرد سازمان غذا و کشاورزی به عنوان یک چارچوب اصلی برای ارزیابی مناسب بودن نوع محصول زراعی استفاده شده است (۳۰، ۲۶). برای تعیین کمی پتانسیل اراضی برای

کاربری‌های خاص دستورالعمل‌های فائو در مورد سیستم‌های ارزیابی اراضی (۱۶، ۱۷) و روش‌های ارزیابی فیزیکی اراضی (۵۷) به طور گسترده ای برای ارزیابی تناسب اراضی استفاده شده است. در روش پارامتری، طبقات مختلف تناسب اراضی به صورت گروه‌های کاملاً مجزا و گسسته تعریف می‌شوند و با محدوده متمایز و منسجم از یکدیگر جدا می‌شوند. بنابراین، واحدهای اراضی که تناسب متوسط دارند، تنها می‌توانند در یکی از طبقات از پیش تعریف شده تناسب اراضی قرار گیرند (۳۶). تئوری مجموعه‌های فازی برای اولین بار توسط زاده^۴ (۶۲) برای تعریف و تعیین کمی برخی از طبقات که به صورت مبهم بیان می‌شوند مانند "بسیار مهم" و غیره تعریف شده است. پرکاربردترین روش‌های ارزیابی اراضی (۱۶)، شاخص استوری^۵ (۵۵) و رویکرد پارامتری (۵۷) می‌باشد. سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS^6) نویدهای زیادی برای کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت داده‌های مکانی، تجزیه و تحلیل مؤثرتر و دسترسی بهتر به داده‌ها دارند. این فناوری‌ها برای ارزیابی معیارهای مورد نیاز برای تعریف مناسب بودن اراضی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۲، ۱۴، ۱۵، ۲۲، ۳۷). توسعه روش‌های ارزیابی تناسب اراضی که از حداقل تعداد نمایه‌ها برای بهبود راندمان و کاهش زمان و هزینه‌ها استفاده می‌کنند، مهم است. اندروز و همکاران^۴ با استفاده از تحلیل عاملی، حداقل مجموعه‌ای از نمایه‌ها (MDS^7) را از مجموعه داده‌های کل (TDS^9) به دست آوردند و ارتباط بالای دو مجموعه داده (کل و حداقل) را با توجه به ارزیابی کیفیت خاک به دست آوردند. شاخص‌ها ابزارهای رایج و ساده‌ای هستند که می‌توانند برای کمی کردن کیفیت خاک مورد استفاده قرار

4- Zadeh

5- Storie

6- Geographic Information System

7- Andrews *et al.*

8- Minimum Data Set

9- Total Data Set

1- Weighted linear combination

2- Weighted overlap

3- Land Suitability Assessment

ویژگی های تمام افق های نیمرخ خاک (۲) ایجاد مناسب ترین مدل های شاخص کیفیت با استفاده از رویکرد آماری و روابط خطی (۳) ایجاد نقشه های شاخص کیفیت خاک برای شناسایی مناطق با کیفیت خاک پایین و جلوگیری از تخریب بیشتر بر اساس تعدیل کاربری کشاورزی آن ها.

مواد و روش ها

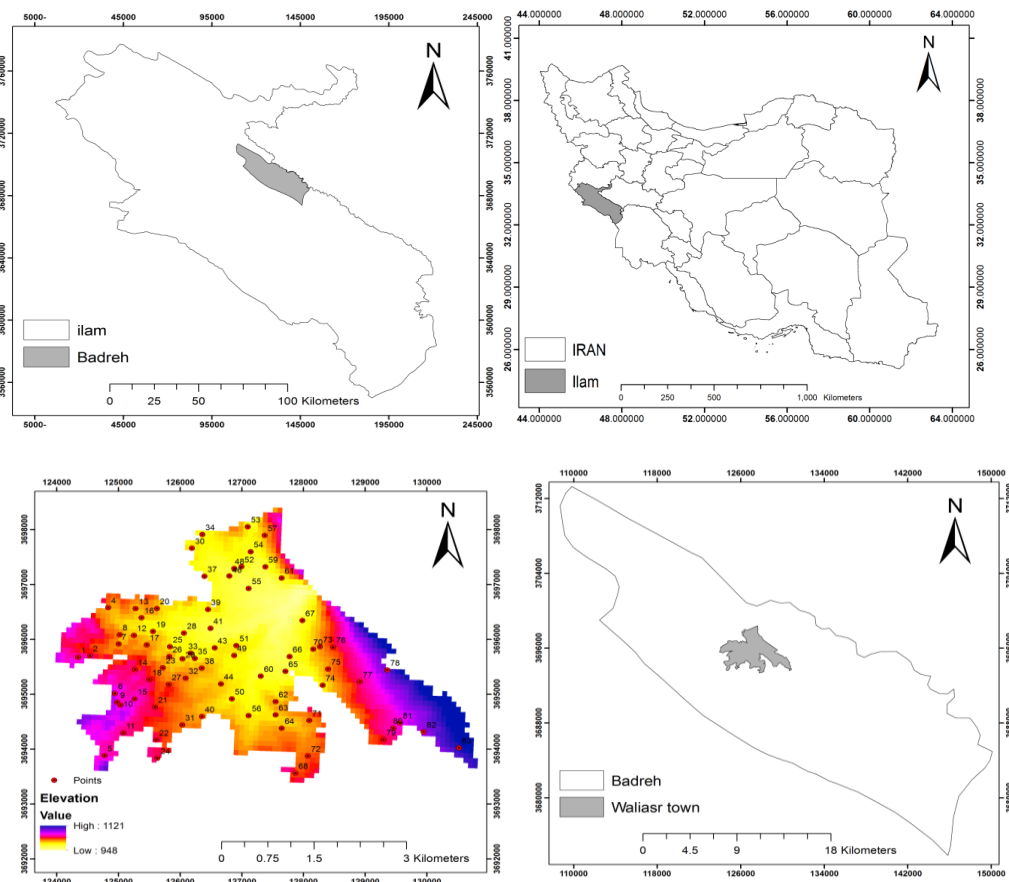
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مختصات ($25^{\circ} 12' 47'' - 24^{\circ} 52' 52''$; $33^{\circ} 14' 33'' - 33^{\circ} 22' 15''$ E) در منطقه جنوب غربی ایران، بخشی از شهرک ولیعصر در غرب شهر بدره، در جنوب شرقی استان ایلام قرار دارد (شکل ۱). میانگین ارتفاع اراضی مورد مطالعه از سطح دریای آزاد بین ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ متر است و مساحت اراضی مورد مطالعه حدود ۱۴۰۰ هکتار است. منطقه دارای رژیم رطوبتی زریک و رژیم حرارتی ترمیک می باشد (۸). بر اساس سیستم رده بندی خاک آمریکایی خاک ها در رده های Entisols، Mollisols، Inceptisols و رده بندی شدند (۵۴). منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای مدیترانه ای با زمستان های سرد و مرطوب و تابستان های خشک است. میزان بارندگی سالانه ۵۵۴/۵ (میلی متر) است و عمده بارش ها در فصل زمستان است. چون منطقه اساساً کم آب بوده و کاربری عمده اراضی بصورت کشت دیم و یا اراضی بلااستفاده می باشند.

گیرند، درک اکوسیستم خاک را بهبود بخشند و امکان مدیریت کارآمدتر را فراهم کنند (۳، ۴۴). توسعه یک شاخص کمی کیفیت خاک باید از سه مرحله پیروی کند: (۱) انتخاب ویژگی ها، (۲) تخصیص امتیاز به ویژگی های منتخب و (۳) ادغام ویژگی ها در یک شاخص. محاسبه شاخص کیفیت خاک با تعریف شاخص ها شروع می شود، یعنی ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک که به تغییرات عوامل طبیعی و انسانی حساس هستند.

بسیاری از ارزیابی های کیفیت خاک که تا به امروز انجام شده اند بر اساس ویژگی های افق سطحی خاک هستند (۳) و مطالعاتی که از داده های کل نیمرخ خاک استفاده می کنند محدود هستند (۶۱). اندازه گیری و ارزیابی خواص لایه سطحی خاک آسان است. با این حال، این ویژگی ها اطلاعات ناقصی را ارائه می دهند زیرا عملکرد خاک توسط فرآیندهای پدوژنیک در بخش کنترل خاک هدایت می شود. ارزیابی کیفیت خاک با استفاده از خصوصیات سطحی و زیر سطحی خاک به شناسایی خواصی که بیشترین تأثیر را بر عملکردهای اساسی خاک دارند، کمک می کند. توسعه محصولات زراعی و حجم برداشت به شرایط خاک با توجه به گسترش و رشد ریشه آنها بستگی دارد. به عنوان مثال در خاک های عمیق، با نفوذپذیری خوب، با احتباس آب زیاد و غیره، انواع زیادی از گیاهان را با عملکرد حداکثری می توان کشت داد. برعکس، اگر ویژگی های نیمرخ مانع از رشد ریشه شود (به عنوان مثال بر اساس وجود پوسته های آهکی و یا لایه سنگی)، رشد گیاه متوقف می شود و حجم برداشت کاهش می یابد. اهمیت مسئله در توانایی جداسازی خاک های مناسب، با تناسب متوسط و غیرمناسب از یکدیگر برای گیاه جو است تا بهره برداری لازم، با توجه به ویژگی های اراضی انجام شود. اهداف این مطالعه عبارت بودند از: (۱) ارزیابی کیفیت اراضی با کاربری کشاورزی در شهرک ولیعصر بخش بدره استان ایلام با استفاده از دو روش انتخاب داده (TDS) و MDS) و دو شاخص (IQI و NQI) و مقایسه این شاخص ها با دو مدل استوری و ریشه دوم با در نظر گرفتن

کوهنی و همکاران: مقایسه تعیین تناسب اراضی به روش‌های...



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نیمرخ‌های خاک در استان ایلام، ایران
Figure (1) Location of the study area and soil profiles in Ilam province, Iran

هنگل (۲۴) با وضوح ۲۵ متر، برای نمونه برداری استفاده گردید. فرمول هنگل بر اساس رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\text{Pixel Resolution (m)} = 0.05 * \sqrt{(A/N)} \quad (1)$$

A: مساحت مورد مطالعه (متر مربع) و N: تعداد نقاط
اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک

نمونه های جمع آوری شده در آزمایشگاه هوا خشک شده، خرد شده و از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. سپس آنالیزهای زیر بر اساس روش های استاندارد انجام شد: قابلیت هدایت الکتریکی (EC): استفاده از رسانایی سنج در عصاره اشباع خاک (۴۸) واکنش خاک (pH): روش الکتروود شیشه‌ای در عصاره اشباع خاک،

نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها

از مدل رقومی ارتفاع ماهواره ALOS PALSAR با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر و مشتقات اولیه و ثانویه آن برای مدلسازی نقاط نمونه برداری بر اساس روش مکعب لاتین شرطی (cLHS) استفاده شده است. در اردیبهشت سال ۱۳۹۸ تعداد ۸۳ نیمرخ در اراضی مورد مطالعه حفر و تشریح شدند. ۳۲۵ نمونه خاک از افق‌های نیمرخ‌ها جمع آوری و به آزمایشگاه خاک شناسی منتقل شد. روش نمونه برداری مکعب لاتین شرطی یک روش نمونه برداری تقریباً مدرن که روشی طبقه بندی شده یا لایه ای است (۴۱). از ۸۳ نیمرخ خاک در ۱۴۰۰ هکتار از اراضی ولیعصر بدره و بر اساس فرمول

ارزیابی تناسب اراضی

رتبه‌بندی یک شیوه ارزیابی است که معمولاً به صورت عددی بیان می‌شود که نشان می‌دهد یک محل چقدر از کاربری خاصی پشتیبانی می‌کند و هیچ استاندارد واحدی برای رتبه‌بندی پارامترها وجود ندارد. در این پژوهش پارامترها یا عوامل بر اساس پیشنهادات کارشناسان و مرور مقالات رتبه‌بندی شده‌اند که در (جدول ۱) آورده شده است (۷، ۱۳، ۱۶، ۲۱، ۳۵، ۳۸، ۴۷، ۵۷، ۵۸).

روش استوری

برای محاسبه شاخص اراضی (I) از معادله (۳)، روش استوری استفاده شد.

$$I=A \times B / 100 \times C / 100 \times D / 100 \times \dots \quad (3)$$

که در رابطه شماره ۳، I شاخص تناسب، A, B, C و D مقادیر نمره دهی برای پارامترها هستند. امتیازی از ۰ تا ۱۰۰ درصد برای هر عامل تعیین می‌شود و امتیازها برای ایجاد رتبه‌بندی شاخص در هم ضرب می‌شوند. (۵۵)

روش ریشه دوم

برای محاسبه شاخص اراضی با استفاده از روش ریشه دوم از معادله (۴) استفاده شد

$$I=R \min \sqrt{(A / 100 \times B / 100 \times C / 100 \times \dots)} \quad (4)$$

که در رابطه شماره ۴، I شاخص ریشه دوم، Rmin پارامتری است که حداقل نمره را به خود اختصاص می‌دهد، و A, B, C, ... مقادیر مقادیر نمره دهی برای پارامترهای دیگر است (۲۸).

کربن آلی (OC)، با روش سوزاندن مرطوب با دی کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ (۳۹)، نیتروژن کل خاک در ۰/۲ مولار KCl استخراج و با دستگاه میکرو کج‌دال تعیین شد (۹). کربنات کلسیم کل به روش تیتراسیون معکوس با استفاده از اسید کلریدریک (۴۰)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک توسط روش استات سدیم (۵۵)، کاتیون‌های محلول کلسیم و منیزیم با تیتراسیون با EDTA (۳۱)، کاتیون‌های سدیم و پتاسیم محلول به روش فلیم فتومتری، نسبت جذب سدیم (۴۹)، گچ به روش ترسیب استون (۴۰)، درصد سدیم تبادل (ESP) با استات آمونیوم (NH₄OAC) بر اساس روش توسعه یافته توسط (۳۲) تعیین شد. عمق خاک بر حسب سانتی متر، بافت خاک با روش هیدرومتری اندازه گیری شد (۱۸). درصد سنگریزه سطحی (تعداد سنگ‌های با قطر بیش از ۲۵ سانتی متر بر اساس فاصله بین سنگ‌ها بر حسب متر و درصد حجمی ذرات درشت بین ۲ سانتی متر تا ۲۵ سانتی متر)، هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع تحت یک بار ثابت تعیین شد (۲۹). درصد رطوبت اشباع به روش اندازه‌گیری تغییر وزن نمونه‌ها در گل اشباع و پس از خشک شدن در آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین (۱۰). فسفر قابل جذب به روش اولسن (۴۲). میانگین وزنی قطر خاکدانه (۲۷). همچنین از توزیع اندازه ذرات و مقدار کربن آلی خاک برای محاسبه شاخص پایداری ساختمانی SI استفاده شد. این شاخص به وسیله پی‌یری (۴۳) پیشنهاد شد و بیان‌کننده خطر تخریب ساختمان خاک ناشی از تخلیه کربن آلی خاک است:

(۲)

$$SI=(1.72 \times SOC / Clay + Silt) \times 100$$

که در رابطه شماره ۲، SI: پایداری ساختمان، SOC: مقدار کربن آلی، Clay: درصد رس و Silt: درصد سیلت است.

کوهنی و همکاران: مقایسه تعیین تناسب اراضی به روش‌های...

جدول (۱) امتیاز عامل خصوصیات اراضی برای محصول جو در منطقه مورد مطالعه برای روش‌های استوری و ریشه دوم. منبع (FAO, 1976; Sys et al, 1993; Givi, 1997; Marzaioli et al, 2010)

Table (1) factor scores of soil characteristics parameters for barley crop in the study area for storie and square root methods. Source (FAO, 1976; Sys et al, 1993; Givi, 1997; Marzaioli et al, 2010)

کلاس تناسب Suitability Class		S1	S2	S3	N	N2		
سطح محدودیت level of limitation		1	2	3	4			
درجه بندی Rating	واحد unit	100	95	85	60	40	25	0
نیتروژن N	میلی گرم بر کیلوگرم mg/kg	>80	80-60	60-40	40-20	<20		
فسفر P	میلی گرم بر کیلوگرم mg/kg	>15	15-12.5	12.5-10	10-7.5	7.5-5	<5	
پتاسیم K	میلی گرم بر کیلوگرم mg/kg	>200	200-175	175-150	150-125	125-100	<100	
ماده آلی Organic matter	گرم بر صد گرم g/100 g	>0.8	0.8-0.4	<0.4				
شیب Slope	درصد %	0-5	5-15	15-30	30-60	>60		
مشخصات فیزیکی Physical properties								
زهکشی Drainage		Well	Moderate	Poor	Very poor			
عمق Depth	سانتی متر cm	>90	90-60	60-30	30-10	>10		
بافت Texture		SiCl,SiCs,SiLC<60s ,SC,CL	SCL, L	SL	LS,Cm,Si Cm	S		
سنگریزه سطحی Surface stoniness	گرم بر صد گرم g/100 g	0-3	3-15	15-35	35-55			
ظرفیت نگهداری آب Water holding capacity(WHC)	گرم بر صد گرم g/100 g	>50	50-40	40-30	30-20	20-15	<15	
خواص شیمیایی Chemical properties								
شوری Salinity (EC)	دسی زیمنس بر متر dS /m	0-8	8-12	12-16	16-20	>20		
درصد سدیم تبادل ESP	گرم بر صد گرم g/100 g	0-15	15-25	25-35	35-45	>45		
محتوای کربنات کلسیم CaCO3	گرم بر صد گرم g/100 g	0-3 3-20	20-35	35-50	50-60	>60		
واکنش خاک (pH)	7.2-7 7.2-7.5	7.0-6.2 7.5-8	6-2.5.8 8-8.2	5.8-5.5 8.2-8.5	<5.5	>8.5		

علاوه بر تحلیل رگرسیون، همبستگی و غیره، تحلیل عاملی (FA) برای هر شاخص انجام شد. برای تعیین ضریب وزنی هر متغیر، از آنالیز فاکتورهای اصلی (FA) نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ استفاده شد. با استفاده از آنالیز فاکتورهای اصلی، واریانس مشترک برای دو مجموعه TDS و MDS به دست آمد و از نسبت واریانس مشترک هر متغیر به مجموع واریانس مشترک کل متغیرها ضریب وزنی برای هر متغیر محاسبه گردید. معمول ترین مدل های تجربی نیم تغییرنا برای بررسی و مطالعه ویژگی های خاک، مدل کروی و نمایی می باشد که از مدل نمایی استفاده شده است. روش های مختلفی در برآورد متغیرهای مکانی وجود دارد که در این تحقیق از روش زمین آماری کریجینگ، برای بررسی تغییرات مکانی پارامترها استفاده شد (۶).

نتایج و بحث

شاخص ریشه دوم

در ریشه دوم یک درجه کمی (عددی) به هر مشخصه زمین اختصاص داده می شود. اساس کار بدین صورت است که برای هر مشخصه از اراضی (اقلیم، خاک و زمین نما) یک ارزش عددی بین ۰ تا ۱۰۰ داده می شود (ارزش عددی ۱۰۰ برای زمانی است که مشخصه مورد نظر هیچ محدودیتی ایجاد نکند) که نشان می دهد در اثر محدودیت آن ها عملکرد چقدر کاهش می یابد و سپس با یک رابطه ریاضی (ریشه دوم)، شاخص اراضی به دست می آید. برای محاسبه شاخص ریشه دوم پارامترهای اقلیمی به همراه سایر فاکتورهای تناسب اراضی در فرمول ریشه دوم قرار گرفت تا درجه نهایی تناسب اراضی محاسبه شود. نتایج حاصل از روش ارزیابی ریشه دوم نشان داد که ۱۳/۹۹ درصد از اراضی با تناسب بالا (S1)، ۷۴/۷۵ درصد از اراضی با تناسب متوسط (S2)، ۸/۸۸ درصد از اراضی با تناسب کم (S3) و ۲/۳۷ درصد از اراضی نامناسب (N) تشخیص داده شد (جدول ۲) و (شکل ۲).

شاخص های کیفیت خاک

برای محاسبه شاخص های IQI و NQI در کل تعداد ۱۷ نمایه (جدول ۴) به دلیل حساسیت آنها در ارزیابی کیفیت خاک، انتخاب و برای کل منطقه مورد مطالعه، در یک مجموعه داده ها TDS گنجانده شدند. این نمایه ها به دلیل تأثیر آنها بر حاصلخیزی خاک، تامین مواد مغذی، رشد ریشه و خاک توسط چندین کارشناس و بررسی نظرات نویسندگان پیشنهاد شده است (۱۲).

برای محاسبه شاخص کیفیت تجمعی IQI از معادله (۵) و برای محاسبه شاخص کیفیت نمورو NQI از معادله (۶) با مجموعه داده های TDS و MDS استفاده شد:

$$IQI = \sum_{i=1}^n W_i N_i \quad (5)$$

که در رابطه شماره ۵، W_i وزن تعلق یافته به هر ویژگی خاک، N_i مقدار نمره یا امتیاز تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی های استفاده شده می باشد.

$$NQI = \sqrt{\frac{P^2_{ave} + P^2_{min}}{2} \times \frac{n-1}{n}} \quad (6)$$

که در رابطه شماره ۶، P_{ave} میانگین امتیاز تعلق یافته به ویژگی های انتخاب شده در هر نمونه خاک و P_{min} حداقل امتیاز موجود در بین ویژگی های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی های مورد نظر است. قبل از هرگونه تجزیه و تحلیل آماری، منظم کردن داده ها و ارائه ی یک خلاصه ی آماری از توزیع داده ها ضروری است. در این پژوهش، پارامترهای آماری شامل بیشینه، کمینه، میانگین، چولگی، کشیدگی، واریانس و ضریب تغییرات داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ محاسبه و ارزیابی شدند. همچنین، توزیع داده ها به دو روش هیستوگرام و بررسی چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفت و در صورت نرمال نبودن توزیع داده ها، از تبدیل لگاریتمی و یا ریشه ی دوم استفاده شد.

شاخص استوری

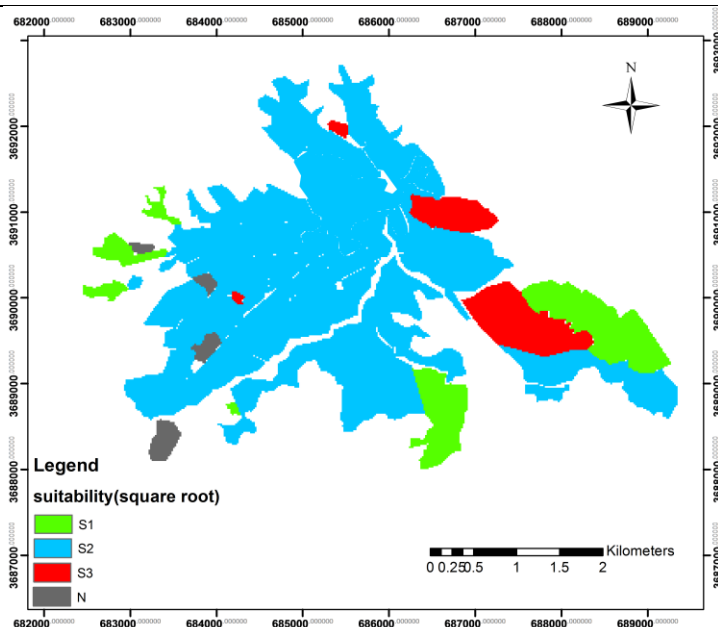
همانند روش ریشه دوم در استوری یک درجه کمی (عددی) به هر مشخصه زمین اختصاص داده می‌شود. اساس کار بدین صورت است که برای هر مشخصه از اراضی (اقلیم، خاک و زمین نما) یک ارزش عددی بین ۰ تا ۱۰۰ داده می‌شود و سپس با یک رابطه ریاضی (استوری)، شاخص اراضی به دست می‌آید. برای محاسبه شاخص استوری نیز پارامترهای اقلیمی به همراه سایر فاکتورهای تناسب اراضی در فرمول قرار گرفت تا

درجه نهایی تناسب اراضی محاسبه شود. نتایج روش استوری نشان داد که ۱۰/۰۸ درصد از اراضی با تناسب بالا (S1)، ۶۱/۹۶ درصد از اراضی با تناسب متوسط (S2)، ۲۵/۵۷ درصد از اراضی با تناسب کم (S3)، و ۲/۳۷ درصد از اراضی نامناسب (N) تشخیص داده شدند (جدول ۳ و شکل ۳).

جدول (۲) تناسب اراضی به روش ریشه دوم در منطقه مورد مطالعه

Table (2) Suitability of lands by the square root method in the study area

مناسب بودن اراضی به روش ریشه مربع	کلاس	نمره	مساحت (هکتار)	درصد
Suitability of lands by square root method	Class	Score	Area (hectares)	Percentage
تناسب بالا	S1	75-100	166.2	13.9
High Suitable				
تناسب متوسط	S2	50-75	888	74.7
Moderate Suitable				
تناسب کم	S3	25-50	105.4	8.8
Marginally Suitable				
نامناسب	N	<25	28.1	2.3
Unsuitable				



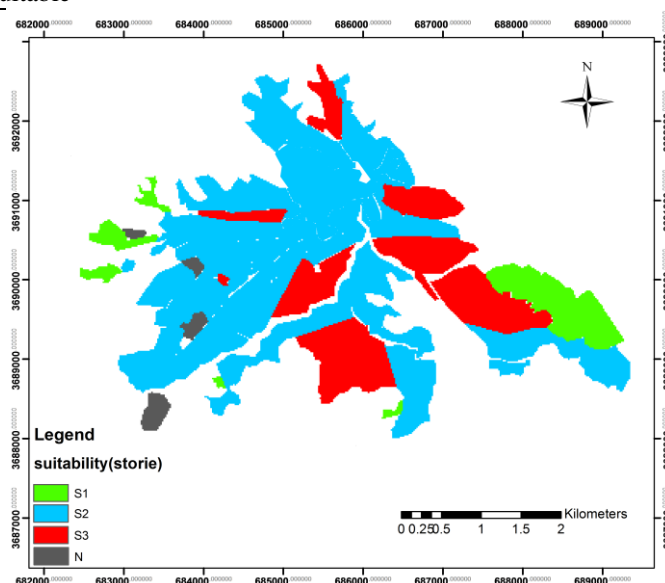
شکل (۲) نقشه تناسب اراضی منطقه مورد مطالعه به روش ریشه دوم

Figure (2) Land suitability map of the studied area by square root method

جدول (۳) تناسب اراضی به روش استوری در منطقه مورد مطالعه

Table (3) Suitability of lands by storie method in the study area

مناسب بودن اراضی به روش ریشه مربع	کلاس	نمره	مساحت (هکتار)	درصد
Suitability of lands by square root method	Class	Score	Area (hectares)	Percentage
تناسب بالا	S1	75-100	119.8	10
High Suitable				
تناسب متوسط	S2	50-75	736	61.9
Moderate Suitable				
تناسب کم	S3	25-50	303.8	25.5
Marginally Suitable				
نامناسب	N	<25	28.1	2.3
Unsuitable				



شکل (۳) نقشه تناسب منطقه مورد مطالعه به روش استوری

Figure (3) Suitability map of the studied area by storie method

ارزیابی شاخص کیفیت خاک

خاک می‌شوند (۵). در این مورد، کمترین مقدار بر هر مقدار نمایه تقسیم شد به طوری که کمترین مقدار امتیاز ۱ را دریافت کرد. (۳) تابع "محدوده بهینه" برای پارامترهای خاک از جمله درصد شن، سیلت، رس و pH اعمال شد. در این مورد، مقادیر آستانه یا محدوده بهینه نیز مشخص شد: مقدار ۷/۵ برای pH و مقادیر ۴۰، ۳۵ و ۲۵ درصد برای شن، سیلت و رس در نظر گرفته شد (۴، ۳۴، ۴۶). امتیازها با استفاده از توابع «بیشتر بهتر است» یا «کمتر بهتر است» بسته به اینکه مقدار پارامتر کمتر یا بالاتر از محدوده بهینه باشد، اختصاص داده شد. داده های تمام افق های نیم رخ خاک با محاسبه میانگین وزنی برای به دست آوردن یک مقدار شاخص استفاده شد.

در این مطالعه از سه تابع امتیازدهی استاندارد (جدول ۴) استفاده شده و نمرات از ۰ تا ۱۰ با روش نمره گذاری خطی تخصیص داده شد (۳۴). بر اساس حساسیت نمایه خاک، سه نوع تابع اعمال شد: (۱) "بیشتر بهتر است" این تابع برای پارامترهای ظرفیت تبادل کاتیونی، پایداری ساختمان، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، قطر میانگین وزنی قطر خاکدانه، درصد رطوبت اشباع، که مقدار شاخص بر بالاترین مقدار تقسیم شد به طوری که بالاترین مقدار امتیاز ۱ را دریافت کرد. (۲) تابع "کمتر بهتر است" برای پارامترهای قابلیت هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، آهک، درصد سنگریزه سطحی و جرم مخصوص ظاهری اعمال شد زیرا مقادیر بالای این پارامترها باعث تخریب و کاهش تخلخل

جدول (۴) توابع امتیاز دهی و پارامترهای آن برای متغیرهای کیفیت خاک
 Table (4) scoring functions and its parameters for soil quality variables

متغیر Variable	نوع تابع function type	حد پایین lower limit	حد بالا upper limit	حد اپتیمم Optimum limit	تابع امتیاز دهی استاندارد Standard scoring function	
قابلیت هدایت الکتریکی EC	کمتر، بهتر Less is better	0.2	20		$N(x) = \begin{cases} 1 & X < L \\ 1 - 0.9 \frac{X-L}{U-L} & L \leq X \leq U \\ 0.1 & X > U \end{cases}$	
کربنات کلسیم CaCO ₃	کمتر، بهتر Less is better	3	60			
جرم مخصوص ظاهری ρ _b	کمتر، بهتر Less is better	1.25	1.7			
سنگریزه Gravel	کمتر، بهتر Less is better	3	55			
نسبت جذب سدیم SAR	کمتر، بهتر Less is better	3	13			
واکنش خاک pH	بهینه optimal	7.2	8.5	7.5		
شن sand	بهینه optimal	20	60	40		
سیلت silt	بهینه optimal	10	40	35		
رس clay	بهینه optimal	10	40	25		
کربن آلی Organic carbon	بیشتر، بهتر more is better	0.1	3.2			$f(x) = \begin{cases} 0.1 & X < L \\ 0.9 \frac{X-L}{U-L} + 0.1 & L < X < U \\ 1 & U < X < L \\ 1 - 0.9 \frac{X-L}{U-L} & L < X < U \\ 0.1 & X > U \end{cases}$
فسفر P	بیشتر، بهتر more is better	5	15			
پتاسیم K	بیشتر، بهتر more is better	100	200			
نیتروژن N	بیشتر، بهتر more is better	0.03	0.12			
ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	بیشتر، بهتر more is better	15	35			
درصد رطوبت اشباع SP	بیشتر، بهتر more is better	10	25			
میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD	بیشتر، بهتر more is better	0.5	2.5			
ساختمان خاک Structure	بیشتر، بهتر more is better	0.02	0.05			
					$M(x) = \begin{cases} 0.1 & X < L \\ 0.9 \frac{X-L}{U-L} + 0.1 & L \leq X \leq U \\ 1 & X > U \end{cases}$	

انتخاب حداقل مجموعه داده ها

انتخاب مجموعه MDS منجر به از دست رفتن اطلاعاتی از نمایه هایی که انتخاب نشده اند می شود، اما از مشکلاتی مانند اضافی بودن اطلاعات و کارهای آزمایشگاهی خسته کننده و پر هزینه جلوگیری می کند (۴۴). برای انتخاب مجموعه MDS، تجزیه عاملی (FA) به عنوان ابزار کاهش داده ها و تعیین مهم ترین ویژگی هایی که باید در MDS گنجانده شود، استفاده شد (۴، ۴۶). روش چرخش Varimax برای به دست آوردن یک راه حل ساده از ماتریس "بارها" استفاده شد که با آن هر متغیر به هر یک از عوامل کمک می کند. بر اساس این چرخش، می توان واریانس بارهای هر عامل را به حداکثر رساند. بارها تمایل به گرفتن مقادیر زیاد یا پایین دارند. بنابراین، هر متغیر تمایل به داشتن بار بالایی در یک عامل دارد. تعداد عوامل به گونه ای انتخاب شد که مقادیر ویژه < 1 یا بسیار نزدیک به ۱ باشد و واریانس هر متغیر بیش از ۷۱٪ باشد (۳). همچنین فرض بر این بود که متغیرهای خاک با بار عاملی بالا، خواص خاکی هستند که به بهترین وجه نشان دهنده تغییرات در کیفیت خاک هستند. اینها خواص خاک هستند که مقادیر مطلق ۲۰٪ بار بالاترین فاکتور را دارند (۳۴، ۴). برای انتخاب ویژگی های مؤثر فیزیکوشیمیایی منطقه مورد مطالعه از روش (PCA) استفاده شد. بر همین اساس، پنج مؤلفه اصلی با ارزش ویژه بزرگتر از یک که در مجموع ۶۹ / ۸۲ درصد از واریانس کل را تحت پوشش قرار می دادند، استخراج شد (جدول ۵). همان طور که در جدول ۵ مشاهده می شود از بین ۱۷ معیار مورد بررسی در TDS، پنج معیار، رس، شن، سیلت، pH خاک و درصد رطوبت اشباع به عنوان حداقل مجموعه داده ها MDS انتخاب شد. مجموعه MDS، بر اساس شرایط و وضعیت خاک منطقه مورد مطالعه قابل قبول بود و شامل مجموعه ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی است (۶۱). در این پژوهش در PC1، pH و نیتروژن بالاترین وزن را داشتند که به دلیل تاثیر پذیری بیشتر خصوصیات خاک از مقادیر pH این پارامتر انتخاب و جز مجموعه MDS قرار داده

شد. پس از آن متغیرهای درصد شن، درصد سیلت، درصد رطوبت اشباع و درصد رس به ترتیب بالاترین وزن را در سایر PC ها داشتند و در مجموعه MDS قرار گرفتند.

تخصیص وزن و نمایه های خاک برای هر مجموعه داده (MDS و TDS)

واریانس مشترک و ضریب وزنی برای هر متغیر برای دو مجموعه TDS و MDS با استفاده از آنالیز فاکتورهای اصلی محاسبه گردید (جدول ۶) (۴۷، ۵۱).

کلاس های کیفیت خاک

به منظور طبقه بندی شاخص ها، از روش کیوآی و همکاران^۱ (۴۴) استفاده شد (جدول ۷). در این روش کیفیت خاک به ۵ کلاس درجه بندی می شود. خاک های درجه V مناسب برای رشد گیاه، خاک های درجه IV مناسب برای رشد گیاه اما با مقدار کمی محدودیت، خاک های درجه III دارای محدودیت بیشتری نسبت به درجه II و خاک های درجه I دارای محدودیت زیاد برای رشد گیاه هستند. نقشه توزیع مکانی درجه کیفیت خاک نیز با استفاده از نرم افزار ArcGIS تهیه گردید (شکل ۶). همچنین مقادیر میانگین شاخص های کیفیت خاک در کل نمونه ها محاسبه شد (جدول ۸) (۵۰).

رابطه بین شاخص های کیفیت خاک در مجموعه داده های کل و مجموعه داده های حداقل

در مورد کل نمونه های مورد بررسی منطقه مورد مطالعه رابطه خطی شاخص های کیفیت خاک بین دو مجموعه TDS و MDS بررسی شد که نتایج در شکل های (۵ و ۴) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود ضریب تبیین (R^2) بین مدل های IQITDS و IQIMDS (۰/۷۹۶) و NQITDS و NQIMDS (۰/۷۰۱) است و نشان می دهد که با اطمینان می توان از دسته داده های حداقل به جای مجموعه داده های کل استفاده کرد.

کوهنی و همکاران: مقایسه تعیین تناسب اراضی به روش‌های...

جدول (۵) نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی
Table (5) The results of principal components analysis

PC5	PC4	PC3	PC2	PC1	مؤلفه‌های اصلی PC Main components PC
1.76	2.46	2.92	3.39	3.49	ارزش ویژه special value
10.37	14.51	17.29	19.98	20.53	درصد Percent
82.69	72.32	57.81	40.52	20.53	درصد تجمعی cumulative percentage
					بردارهای ویژه Special vectors
0.005	0.200	-0.196	<u>0.921</u>	0.098	شن sand
-0.034	-0.047	<u>0.972</u>	0.036	-0.041	سیلت silt
<u>0.928</u>	-0.141	-0.519	-0.831	-0.057	رس clay
0.131	<u>0.906</u>	-0.008	-0.007	0.055	درصد رطوبت اشباع SP
0.205	0.182	0.101	0.258	-0.727	قابلیت هدایت الکتریکی EC
-0.432	0.445	-0.099	0.253	0.585	کربن آلی OC
0.173	0.036	-0.020	0.108	<u>0.949</u>	واکنش خاک pH
0.173	0.036	-0.020	0.108	0.949	نیتروژن N
0.178	-0.691	-0.174	0.568	0.005	کربنات کلسیم CaCO ₃
0.870	0.156	0.165	-0.275	0.233	چگالی ظاهری ρ _b
0.180	0.664	-0.142	0.335	0.286	سنگریزه Gravel
-0.537	-0.003	0.361	-0.166	110	فسفر P
0.345	0.268	-0.304	0.771	0.256	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC
-0.048	0.281	0.037	-0.166	0.652	نسبت جذب سدیم SAR
-0.131	0.501	-0.250	0.446	-0.365	پتاسیم K
-0.454	0.043	-0.598	-0.586	0.171	میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD
-0.036	-0.044	0.972	0.041	-0.036	ساختمان Structure

جدول (۶) واریانس مشترک و ضریب وزنی برای هر کدام از متغیرها در دو مجموعه TDS و MDS
 Table (6) variance and common weighting factor for each of the variables in two sets of TDS and MDS

مجموعه حداقل داده‌ها		مجموعه داده‌های کل		متغیر
MDS		TDS		Variable
ضریب وزنی	واریانس مشترک	ضریب وزنی	واریانس مشترک	
Weighting factor	Common variance	Weighting factor	Common variance	
0.200	0.936	0.066	0.936	شن sand
0.204	0.951	0.067	0.951	سیلت silt
0.211	0.984	0.069	0.984	رس clay
0.180	0.842	0.059	0.842	درصد رطوبت اشباع SP
		0.048	0.681	قابلیت هدایت الکتریکی EC
		0.056	0.801	کربن آلی OC
0.202	0.944	0.067	0.944	واکنش خاک pH
			0.944	نیتروژن N
		0.061	0.863	کربنات کلسیم CaCO3
		0.066	0.938	چگالی ظاهری ρ _b
		0.048	0.688	سنگریزه Gravel
		0.032	0.458	فسفر P
		0.067	0.943	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC
		0.038	0.535	نسبت جذب سدیم SAR
		0.047	0.663	پتاسیم K
		0.066	0.939	میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD
		0.067	0.95	ساختمان Structure

مربوط به کلاس V (کیفیت بالا) ۳۸/۷۸ درصد مربوط به کلاس IV (کیفیت خوب) می‌باشد. همچنین در مدل NQIMDS بیشترین درصد مربوط به کلاس کیفیت IV (کیفیت خوب) با مقدار ۷۴/۸۲ بود و ۲۵/۰۹ درصد از مساحت در این مدل به کلاس V (کیفیت بالا) تعلق گرفت.

درصد و مساحت کلاس‌های کیفیت خاک

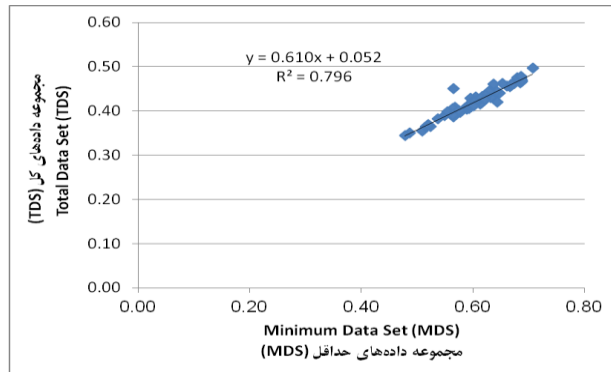
از نرم‌افزار ArcGIS برای تعیین مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌های درجه کیفیت خاک استفاده شد (جدول ۸) و اشکال (۶ تا ۹) همانطور که مشاهده می‌شود در مدل IQITDS و NQITDS صد درصد مساحت منطقه مربوط به کلاس کیفیت V (کیفیت بالا) بود. در مدل IQIMDS ۶۱/۲۱ درصد

جدول (۷) درجه‌بندی کیفیت خاک در مدل‌های IQI و NQI در دو مجموعه TDS و MDS
Table (7) Grading of soil quality in IQI and NQI models TDS and MDS

V	درجه کیفیت خاک Soil quality grade					روش Method	نوع مدل Model type
	IV	III	II	I			
0.61<IQITDS<0.52	0.52<IQITDS<0.45	0.45<IQITDS<0.37	0.37<IQITDS<0.29	0.29<IQITDS<0.21	TDS	IQI	
0.71<IQIMDS<0.61	0.61<IQIMDS<0.52	0.52<IQIMDS<0.43	0.43<IQIMDS<0.34	0.34<IQIMDS<0.25	MDS		
0.38<NQITDS<0.33	0.33<NQITDS<0.28	0.28<NQITDS<0.23	0.23<NQITDS<0.18	0.18<NQITDS<0.13	TDS	NQI	
0.48<NQIMDS<0.41	0.41<NQIMDS<0.35	0.35<NQIMDS<0.29	0.29<NQIMDS<0.23	0.23<NQIMDS<0.17	MDS		

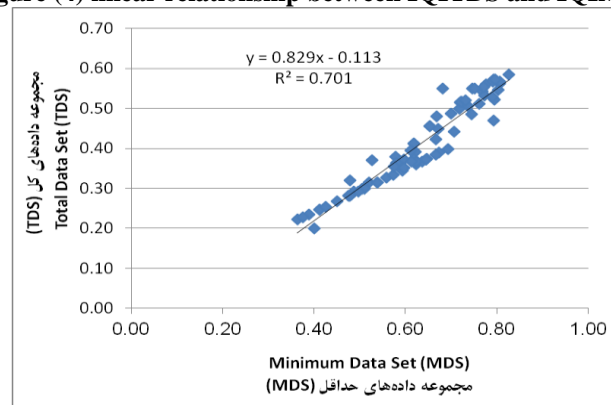
جدول (۸) مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در کل نمونه‌ها
Table (8) average values of soil quality indicators in all samples

NQI _{MDS}	NQI _{TDS}	IQI _{MDS}	IQI _{TDS}	شاخص‌های کیفیت خاک Soil quality indicators
0.405	0.406	0.627	0.613	نمونه‌ها samples



شکل (۴) رابطه خطی IQITDS و IQIMDS

Figure (4) linear relationship between IQITDS and IQIMDS



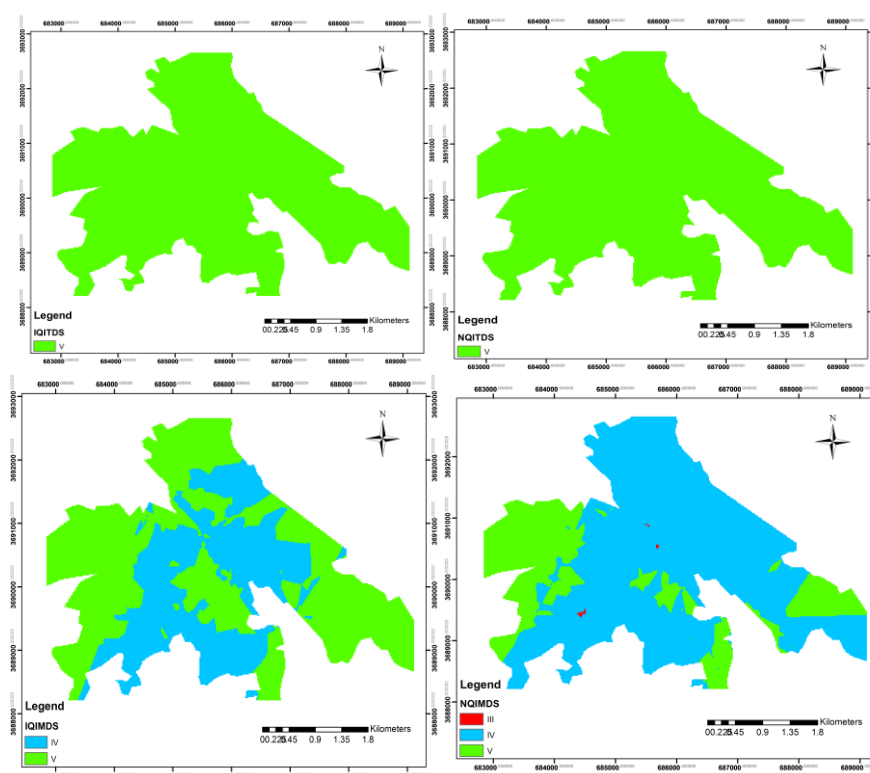
شکل (۵) رابطه خطی NQITDS و NQIMDS

Figure (5) Linear relationship between NQITDS and NQIMDS

جدول (۹) مساحت و درصد درجه کیفیت خاک در روش های TDS و MDS در مدل های مختلف

Table (9) area and percentage of soil quality grade in TDS and MDS methods in different models

NQI		IQI		درجه Degree	روش شاخص Index method
درصد Percent	مساحت (هکتار) Area (hectares)	درصد Percent	مساحت (هکتار) Area (hectares)		
0	0	0	0	I	مجموعه داده های کل TDS
0	0	0	0	II	
0	0	0	0	III	
0	0	0	0	IV	
100	1457.51	100	1457.51	V	
0	0	0	0	I	مجموعه حداقل داده ها MDS
0	0	0	0	II	
0.07	1.07	0	0	III	
74.82	1090.35	38.78	565.27	IV	
25.09	365.73	61.21	892.23	V	



شکل (۶) نقشه های کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه به روش های IQITDS, IQIMDS, NQITSD, NQIMDS
Figure (6) Soil quality maps of the study area by IQITDS, IQIMDS, NQITSD, NQIMDS methods

ضعف های شناخته شده در مقایسات روش هاست. چون منابع و دامنه های طبقه بندی برای پارامترها طبق نتایج تجربی برای ایران محدود هستند و بهتر است که در مطالعات آینده با استفاده از روش های تجربی پارامترهای بیشتری در محاسبه شاخص ها و کلاس های ارزیابی اراضی با اثبات دقیق در نظر گرفته شوند. برای حل این مشکل و مقایسه صحیح نتایج طبق جدول زیر درصد

برای محاسبه ضرایب همبستگی بین کلاس های کیفیت خاک و کلاس های تناسب اراضی نمی توان از روش های معمول سنجش همبستگی مثل پیرسون یا ضریب کاپا استفاده کرد به دو دلیل: اول اینکه تعداد و دوم نوع پارامترهای انتخاب شده طبق منابع موجود (جدول ۱ و ۴) برای ارزیابی کیفیت خاک و سنجش تناسب اراضی متفاوت است. که این مساله یکی از

با مقدار (۰/۷۶۰) وجود دارد. همچنین کمترین همبستگی بین روش‌های IQITDS و NQITDS با روش‌های ریشه دوم و استوری وجود دارد که می‌توان در کل نتیجه گرفت که انتخاب حداقل داده‌ها یا MDS نسبت به انتخاب داده‌های کل نتایج قابل قبول‌تری داشته و با اطمینان بالای ۹۰ درصد می‌توان گفت شاخص NQIMDS با انتخاب پنج فاکتور (درصد شن، درصد سیلت، درصد رس، درصد رطوبت اشباع و pH) می‌تواند به خوبی جایگزین اندازه‌گیری مقدار تناسب اراضی برای کشت جو در منطقه مورد نظر باشد و با اندازه‌گیری مقادیر پنج پارامتر تاثیرگذار می‌توان صرفه جویی بالایی در صرف هزینه و وقت داشت.

کلاسها در دو روش سنجش کیفیت خاک و ارزیابی تناسب اراضی معادل هم قرار گرفته اند. ارزیابی کیفیت خاک شامل پنج کلاس است که کلاس V نماینده بهترین شرایط برای رشد گیاه و کلاس I نماینده بدترین شرایط است. در طبقه بندی بر اساس تناسب اراضی با دو روش استوری و ریشه دوم از کلاس‌های S1 تا N استفاده شده است که کلاس S1 نشان دهنده تناسب بالا و کلاس N نشان دهنده تناسب پایین است. برای مقایسه دو روش بر اساس درصد مساحت کلاس‌ها تنظیم شده است که نتایج بحث برانگیزی دارد. (جدول ۱۰)

همانطور که جدول ۱۱ نتایج نشان می‌دهد بیشترین مقدار همبستگی بین شاخص NQIMDS و روش ریشه دوم با مقدار (۰/۹۵۱) وجود دارد. پس از آن بیشترین همبستگی بین شاخص NQIMDS و روش استوری

جدول (۱۰) معادل سازی کلاس‌های ارزیابی اراضی و کلاس‌های کیفیت خاک بر اساس درصد مساحت
Table (10) Equivalence of land assessment classes and soil quality classes based on area percentage

	IQITDS	IQIMDS	NQITDS	NQIMDS	ریشه دوم square root	استوری storie
V or S1	100	61.21	100	25.09	13.99	10.08
IV or S2	0	38.78	0	74.82	74.75	61.98
III or S3	0	0	0	0.07	8.88	25.57
II or N	0	0	0	0	2.37	2.37
I or N2	0	0	0	0	0	0

جدول (۱۱) مقادیر همبستگی بین روش‌های ارزیابی تناسب اراضی (square root و storie) با روش‌های اندازه‌گیری

کیفیت خاک (IQITDS، IQIMDS، NQITDS و NQIMDS)

Table (11) Correlation values between land suitability assessment methods (square root and storie (with soil quality measurement methods IQITDS, IQIMDS, NQITDS and NQIMDS

ضریب همبستگی (R ²)	IQITDS	IQIMDS	NQITDS	NQIMDS
ریشه دوم square root	0.011	0.245	0.011	0.951
استوری storie	0.047	0.123	0.047	0.760

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که اکثر واحدها در مدل استوری و ریشه دوم در کلاس تناسب متوسط (S2) برای تولید جو قرار گرفتند مقایسه همبستگی بین روش های ارزیابی تناسب اراضی و اندازه گیری کیفیت خاک نشان داد بیشترین مقدار همبستگی بین روش NQIMDS و ریشه دوم وجود دارد. هرچند روش های طبقه بندی کیفیت خاک متفاوت از روش های ارزیابی اراضی استوری و ریشه دوم است سعی شد با معادل سازی کلاس ها بر این مشکل چیره شد. نتایج نشان داد که استفاده از مجموعه داده های حداقل حتی با تمرکز بر تعدا کمتری از پارامترهای خاک نتایج واقعی تری ارائه می دهند. نقشه های حاصل از مجموعه های (MDS) با تاکید بر استفاده از پارامترهایی که در مولفه های اصلی قرار گرفته اند و تاثیر بیشتری بر خصوصیات خاک دارند، نتایج مشابه تری به دو مدل استوری و ریشه دوم داشته اند. که نشان می دهد انتخاب مجموعه داده های

(MDS) مخصوصا در شاخص NQI با وجود کاهش هزینه های مربوط به نمونه برداری و آزمایش و صرف وقت کمتر، خروجی های بهتری نسبت به استفاده از مجموعه داده های کل دارند. نتایج حاصل از این تحقیق می تواند در تصمیم گیری های مدیریتی مفید باشد. در مطالعات آینده باید استفاده از ابزارهای پیش بینی جدید مد نظر قرار گیرد. از آنجایی که منابع زمین به شدت در حال کاهش است، برنامه ریزی موثر کاربری زمین باید برای شناسایی مناطق جدید تولید محصول مد نظر قرار گیرد.

سپاس گذاری

صمیمانه از بخش آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام برای حمایت های لجستیکی که به طور قابل توجهی در طول پروژه تحقیقاتی کمک کردند، تشکر می کنیم.

References

1. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Abd Shah, H., and Kazemian, A. 2020. Agricultural statistics of the Crop Year 2018-2019, Volume One: Crop Products. Deputy of Planning and Economics, Information and Communication Technology Center, Tehran. (In Persian)
2. Akpoti, K., Kabo-bah, A. T., and Zwart, S. J. 2019. Agricultural land suitability analysis: State-of-the-art and outlooks for integration of climate change analysis. *Agricultural systems*, 173: 172-208.
3. Amirinejad, A. A., Kamble, K., Aggarwal, P., Chakraborty, D., Pradhan, S. and Mittal, R. B. 2011 . Assessment and mapping of spatial variation of soil physical health in a farm. *Geoderma*, 160(3-4), 292-303.
4. 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.
5. Andrews, S. S., Karlen, D. L., and Cambardella, C. A. 2004. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6): 1945-1962.
6. Aparicio, V., and Costa, J. L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research*, 96(1-2): 155-165.
7. Asghari, S., Dizajghorbani Aghdam, S., and Esmali, A. 2016. Investigation te Spatial Variability of some Soil Physical Quality Indices in Fandoghlu Region of Ardabil Using Geostatistics. *Water and Soil*, 28(6): 1271-1283. (Persian with English abstract)
8. Banaei, H. M. 1998. Soil moisture and temperature regimes map of Iran (1: 2500000). Soil and Water Research Institute. (In Persian)
9. Bremner, J. M., and Mulvaney, C. S. 1982. Nitrogen total. *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties*, 9: 595-624.
10. Brasher, B. R., Franzmeier, D. P., Valassis, V., and Davidson, S. E. 1966. Use of saran resin to coat natural soil clods for bulk-density and water-retention measurements. *Soil Science*, 101(2): 108.
11. Behnia, M. R. 1997. *Cereal*. Second Edition. University of Tehran Press, pp: 610. (In Persian)
12. Booty, W. G., Lam, D. C. L., Wong, I. W. S., and Siconolfi, P. 2001. Design and implementation of an environmental decision support system. *Environmental Modelling and Software*, 16(5): 453-458.
13. Chen, J. 2014. GIS-based multi-criteria analysis for land use suitability assessment in City of Regina. *Environmental Systems Research*, 3: 1-10.
14. Darwish, K. M., Wahba, M. M., and Awad, F. 2006. Agricultural soil suitability of Haplo-soils for some crops in newly reclaimed areas of Egypt. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(12): 1235-1243.
15. De la Rosa, D., and Van Diepen, C. A. 2002. Qualitative and quantitative land evaluation, In 1.5. Land use and land cover. *Encyclopedia of Life Support System (EOLSS-UNESCO)*.
16. FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Soils Bulletin No.32. FAO, Rome.
17. FAO. 1985. Guidelines: Land Evaluation for Irrigated Agriculture. Soil Bulletin No.55. FAO, Rome.

18. Gee, G. W., and Bauder, J. W. 1986. Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5: 383-411.
19. Ghanbarie, E., Jafarzadeh, A. A., Shahbazi, F., and Servati, M. 2016. Comparing parametric methods (the square root and the storie) with the fuzzy set theory for land evaluation of khaje region for wheat. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR)*, 7: 343-351.
20. 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): 163-167.
21. Halder, J. C. 2013. Land suitability assessment for crop cultivation by using remote sensing and GIS. *Journal of geography and Geology*, 5(3): 65-74.
22. Hamzeh, S., Mokarram, M., and Alavipanah, S. K. 2014. Combination of Fuzzy and AHP methods to assess land suitability for barley: Case Study of semi arid lands in the southwest of Iran. *Desert*, 19(2): 173-181.
23. Hassan, I., Javed, M. A., Asif, M., Luqman, M., Ahmad, S. R., Ahmad, A., and Hussain, B. 2020. Weighted overlay based land suitability analysis of agriculture land in Azad Jammu and Kashmir using GIS and AHP. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 57(6).
24. Hengl T., Rossiter D.G., and Stein A. 2003. Soil sampling strategies for spatial prediction by correlation with auxiliary maps. *Geoderma*, 120:75-93.
25. Hoseini, Y., and Kamrani, M. 2018. Using a fuzzy logic decision system to optimize the land suitability evaluation for a sprinkler irrigation method. *Outlook on Agriculture*, 47(4): 298-307.
26. IIASA, F. 2012. *Global Agro-ecological Zones–Model Documentation (GAEZ v. 3.0)*. International Institute of Applied Systems Analysis & Food and Agricultural Organization, Laxenburg, Austria and Rome, Italy.
27. Kemper, W. D., and Rosenau, R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5: 425-442.
28. Khiddir, S. M. 1986. A statistical approach in the use of parametric systems applied to the FAO framework for land evaluation (Doctoral dissertation, Ghent University).
29. Klute, A., and Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods*, 5: 687-734.
30. Kurukulasuriya, P., and Mendelsohn, R. O. 2008. How will climate change shift agro-ecological zones and impact African agriculture?. *World Bank Policy Research Working Paper*, (4717).
31. Lanyon, L. E., and Heald, W. R. 1982. Magnesium, calcium, strontium, and barium. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9: 247-262.
32. Lavkulich, L. M. 1981. *Methods Manual, Pedology Laboratory*. Department of Soil Science, University of British Columbia, Vancouver. British Columbia, Canada.
33. Leroux, L., Castets, M., Baron, C., Escorihuela, M. J., Bégué, A., and Seen, D. L. 2019 . Maize yield estimation in West Africa from crop process-induced combinations of multi-domain remote sensing indices. *European Journal of Agronomy*, 108: 11-26.
34. Liebig, M. A., Varvel, G., and Doran, J. 2001. A simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. *Agronomy Journal*, 93(2): 313-318.
35. Maleki, P., Landi, A., Sayyad, G. H., Baninemeh, J., and Zareian, G. 2010. Application of fuzzy logic to land suitability for irrigated wheat.

36. Mohammadrezaei, N., Pazira, E., Sokoti, R., and Ahmadi, A. 2014 . Land suitability evaluation for wheat cultivation by Fuzzy-AHP, Fuzzy-Simul Theory approach as compared with parametric method in the southern plain of Urmia. *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci*, 3: 112-117.
37. Mokarram, M., Rangzan, K., Moezzi, A., and Baninemeh, J. 2010. Land suitability evaluation for wheat cultivation by fuzzy theory approach as compared with parametric method. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 38(Part II): 140-145.
38. Mustafa, A. A., Singh, M., Sahoo, R. N., Ahmed, N., Khanna, M., Sarangi, A., and Mishra, A. K. 2011. Land suitability analysis for different crops: a multi criteria decision making approach using remote sensing and GIS. *Researcher*, 3(12): 61-84.
39. Nelson, D. W., and Sommers, L. E. 1983. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9: 539-579.
40. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties*, 9: 181-197.
41. Nimmo, J. R., and Perkins, K. S. 2002. 2.6 Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: part 4 physical methods*, 5: 317-328.
42. Olsen, S. R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.
43. Pieri, C. J. 2012. *Fertility of soils: a future for farming in the West African Savannah* (Vol. 10). Springer Science and Business Media.
44. 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.
45. Qin, M. Z., and 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.
46. Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H. A., Fereidouni, Z., and Bandarabadi, S. R. 2014 . Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological indicators*, 40: 19-26.
47. Rezaei, S. A., Gilkes, R. J., Andrews, S. S., and Arzani, H. 2005 . Soil quality assessment in semiarid rangeland in Iran. *Soil use and management*, 21(4): 402-409.
48. Rhoades, J. D. 1982. Cation exchange capacity. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9: 149-157.
49. Richards, L. A. 1968. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture handbook*, 60: 210-220.
50. Santos-Francés, F., Martínez-Graña, A., Ávila-Zarza, C., Criado, M., and Sánchez, Y. 2019. Comparison of methods for evaluating soil quality of semiarid ecosystem and evaluation of the effects of physico-chemical properties and factor soil erodibility (Northern Plateau, Spain). *Geoderma*, 354: 113872.
51. Shahab, H., Emami, H., Haghnia, G. H., and Karimi, A. 2013. Pore size distribution as a soil physical quality index for agricultural and pasture soils in northeastern Iran. *Pedosphere*, 23(3): 312-320.
52. Shields, P. G., Smith, C. D., and McDonald, W. S. 1996. Agricultural land evaluation in Australia: a review.

53. Silva-Gallegos, J. J., Aguirre-Salado, C. A., Miranda-Aragón, L., Sánchez-Díaz, G., Valdez-Lazalde, J. R., Pedroza-Carneiro, J. W., and Flores-Cano, J. A. 2017. Locating potential zones for cultivating *Stevia rebaudiana* in Mexico: weighted linear combination approach. *Sugar Tech*, 19: 206-218.
54. Soil Survey Staff. 2014. Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, pp: 1001.
55. Storie, R. E. 1978. Storie index soil rating. University of California, Division of Agricultural Sciences Special Publication, No. 3203, Oakland, USA.
56. Sumner, M. E., and Miller, W. P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5: 1201-1229.
57. Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J. 1991. Land Evaluation, Part I. Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculations. General administration for development cooperation, Brussels, pp: 40-80.
58. Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J., and Beernaert, F. 1993. Land Evaluation. Part III: crop requirements. *Agricultural Publications n° 7*, GADC, Brussels, Belgium, pp:191.
59. Teka, K., and Haftu, M. 2012. Land suitability characterization for crop and fruit production in Midlands of Tigray, Ethiopia. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 4(1): 64-76.
60. Van de Graaff, R.H.M. 1988. Land Evaluation. In: Gunn, R.H., Beattie, J.A., Reid, R.E., van deGraaff, R.H.M. (Eds.), *Australian Soil and Land Survey Handbook: Guidelines for Conducting Surveys*. Inkata Press, Sydney, pp: 258-281.
61. Vasu, D., Srivastava, R., Patil, N. G., Tiwary, P., Chandran, P., and Singh, S. K. 2018. A comparative assessment of land suitability evaluation methods for agricultural land use planning at village level. *Land use policy*, 79: 146-163.
62. Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3): 338-353.