



## The Application of Multi-Criteria Decision-Making Model in Land Suitability Assessment

S. Akhavan<sup>1</sup>, A. Jalalian<sup>2\*</sup>, N. Toomanian<sup>3</sup>, N. Honarjo<sup>4</sup>

Received: 27-09-2022

Revised: 19-12-2022

Accepted: 18-01-2023

Available Online: 18-01-2023

### How to cite this article:

Akhavan, S., Jalalian, A., Toomanian, N., & Honarjo, N. (2023). The Application of Multi-Criteria Decision-Making Model in Land Suitability Assessment. *Journal of Water and Soil* 37(1): 45-62. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JSW.2023.78892.1205>

### Introduction

Land suitability analysis and land use mapping are one of the most practical applications of Geographic Information Systems in land resource management. Complexities in soil have briefly limited studies on how it functions (Karlen, 2008). There are many methods from different centers including food and agriculture organizations (FAO), to evaluate land suitability. These methods are based on the characteristics of the land and the needs of the plant. Soil quality indicators are a set of measurable soil characteristics that affect crop production or the environment and are sensitive to land use change, management or conservation operations. (Brejda, 2000; Aparico and Costa, 2007). As a result, there is a global need for environmental issues, improvement of soil quality assessment methods for sustainable agricultural development and recognition of the sustainability of soil management and land use systems. Until now, various methods have been used to collect data, measure and evaluate soil quality, and laboratory analysis is the most common method, which has the advantage of being easy to use and characterizing and the quantitative characteristics of the test on different soil quality indicators (and Wang, 1998 Gong). Criteria for soil quality indicators should be a set of physical, chemical, biological characteristics or a combination of them (Doran and Parkin, 1997).

### Materials and Methods

In the present study, the qualitative assessment of land suitability was investigated using fuzzy and parametric hierarchical analysis process models for the irrigated wheat and alfalfa crops. Soil characteristics, climatic conditions, topography and accessibility were selected based on the Food and Agriculture Organization framework and expert opinions. The interpolation function was used to plot values to points in terms of quality/ terrain characteristics for the type of operation and the evaluation was performed based on parametric and fuzzy analytical hierarchy process models. The process of evaluation is based on the FAO qualitative land evaluation system (FAO 1976a, b, 1983, 1985), which compares climatic conditions and land qualities/characteristics including topography, erosion hazard, wetness, soil physical properties, soil fertility, and chemical properties, soil salinity and alkalinity with each specific crop requirements developed by Sys et al. (1991a, b, 1993). Based on morphological and physical/chemical properties of soil profiles some 10 land units were identified in the study area. Climate data related to different stages of wheat growth were taken from ten years of meteorological data of the region (2007-2017) and the climatic requirements of the crop were extracted from the Table developed by (Sys et al., 1993). An interpolation technique using the ArcGIS ver 10.3 helped in managing the spatial data and visualizing the land index results in both models for preparing the final land suitability evaluation maps. The FAHP method and (Chang, 1996) method, which is a very simple method for generalizing the hierarchical analysis process to the fuzzy space, was used in order to assign weight to the criteria through. This method is based on computational mean of the experts' opinion and the time normalization method and the use of triangular fuzzy numbers. A pairwise comparison matrix has been made fuzzy based on the experts' opinion and using the triangular fuzzy

1, 2 and 4- Ph.D. Student, Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, respectively.

(\*- Corresponding Author Email: [jalalian@khuisf.ac.ir](mailto:jalalian@khuisf.ac.ir))

3- Associate Professor, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

numb. After calculating the weights of the criteria in the present research through the FAHP method, the entire criteria maps were overlaid through the use of the GIS function and the suitability maps were prepared for the main criteria. The main suitability maps went through weight overlaying eventually and the final map of suitability for wheat and alfalfa cultivation was produced.

### **Results and Discussion**

The results of this study showed that the FAHP was an efficient strategy to increase the accuracy of weight allocation to criteria that affect the analysis of ground fit. The inability of conventional decision-making methods to account for uncertainty paves the way for the use of fuzzy decision-making methods. One of the drawbacks of the AHP is its inability to account for the uncertainty of judgments in pairwise comparison matrices. This defect is compensated by the FAHP method. Instead of considering a specific number in a pairwise comparison, a range of values in the FAHP is used for uncertainty for decision makers. The present research method can be useful for prioritizing lands, improving exploitation, conserving resources, and creating sustainable management. The results of this study, considering the main criteria of cultivation in the study area and the opinion of domestic experts, can provide useful insights into choosing the appropriate cultivation pattern in the region. The use of different fuzzy AHP methods as well as comparing the results of different fuzzy AHP methods in future research is recommended.

**Keywords:** Fuzzy, Geographic information systems, Land suitability, Parametric

## کاربرد مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی تناسب اراضی

سحر اخوان<sup>۱</sup> - احمد جلالیان<sup>۲\*</sup> - نورایر تومانیان<sup>۳</sup> - ناصر هنرجو<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷

### چکیده

تحلیل تناسب اراضی با استفاده از مجموعه متنوعی از عوامل موثر بر تولید کمی و کیفی محصولات و برر سی پیچیدگی‌های روابط آن‌ها باهم، و همچنین نقشه‌برداری کاربری اراضی، از مفیدترین کاربردهای سامانه اطلاعات جغرافیایی و کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت منابع زمین است. در پژوهش حاضر، ارزیابی کیفی تناسب اراضی با استفاده از مدل‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و پارامتریک برای محصول گندم آبی و یونجه مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات خاک، شرایط اقلیمی، توپوگرافی و دسترسی به آب، جاده و مراکز جمعیتی، بر اساس چارچوب سازمان خواربار جهانی و کشاورزی و نظرات کارشناسان انتخاب شد. تابع درونیابی برای ویژگی‌های کیفی و کمی موردنظر، استفاده شد و ارزیابی بر اساس مدل‌های پارامتریک و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شد. بر اساس مدل پارامتریک، مقادیر شاخص‌های زمین برای گندم و یونجه از ۵۰ درصد در برخی نقاط تا ۷۸ درصد در منطقه مورد مطالعه متغیر است، که دشت را به طبقات مناسب (S2) و خیلی مناسب (S1) طبقه‌بندی می‌کند. مقادیر ترجیحی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای کشت گندم و یونجه به ترتیب در منطقه مورد مطالعه از ۲۵ تا ۷۳ درصد و ۲۴ تا ۵۰ درصد می‌باشد که به عنوان متوسط تا خیلی زیاد طبقه‌بندی می‌شود. ضریب کاپا کوهن بین شاخص‌های پارامتری زمین و مقادیر ترجیحی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی با عملکرد گندم و یونجه مشاهده شده، به ترتیب بین ۰/۰۳ تا ۰/۲۳۷ و ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ متغیر است که اعتبار هر دو مدل در برآورد تناسب اراضی برای تولید محصول در منطقه مورد مطالعه را تایید می‌کند. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی یک استراتژی موثر برای افزایش دقت وزنی معیارهای موثر بر تحلیل تناسب زمین نسبت به روش سنتی برای شناسایی محدودیت‌های کشت محصولات می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پارامتریک، تناسب اراضی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، فازی

### مقدمه

این روش‌ها بر پایه مطابقت خصوصیات اراضی و احتیاجات گیاه بنا نهاده شده است. پیچیدگی‌های موجود در خاک به طور جدی مطالعات را در چگونگی کارکردهای آن، محدود کرده است (Karlen, 2008). به سبب اهمیت تغییرات محیط‌زیست، بهبود روش‌های ارزیابی کیفیت خاک، برای توسعه کشاورزی پایدار و مدیریت خاک و زمین ضروری است. ارزیابی تناسب زمین یک ابزار قدرتمند برای حمایت از تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی کاربری زمین است و می‌توان بر اساس پارامترهای بیوفیزیکی و یا شرایط اجتماعی-اقتصادی یک منطقه انجام

واضح است که برای تداوم تولید پایدار و رفع نیازهای جامعه و در عین حال حفظ اکوسیستم‌های شکننده، نیاز مبرمی به تطبیق منابع زمین و کاربری زمین به مؤثرترین و منطقی‌ترین راه وجود دارد (FAO, 1993). روش‌های زیادی از جمله چارچوب سازمان خوار و بار کشاورزی (FAO)، طبقه‌بندی قابلیت زمین وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA, 1961)، برای ارزیابی تناسب اراضی وجود دارند که

۱، ۲ و ۴ - به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران  
(Email: [jalalian@khuisf.ac.ir](mailto:jalalian@khuisf.ac.ir))  
\* - نویسنده مسئول:

۳ - دانشیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران  
DOI: 10.22067/JSW.2023.78892.1205



جدول ۱- اطلاعات اقلیمی و هواشناسی منطقه در یک دوره ۱۰ ساله

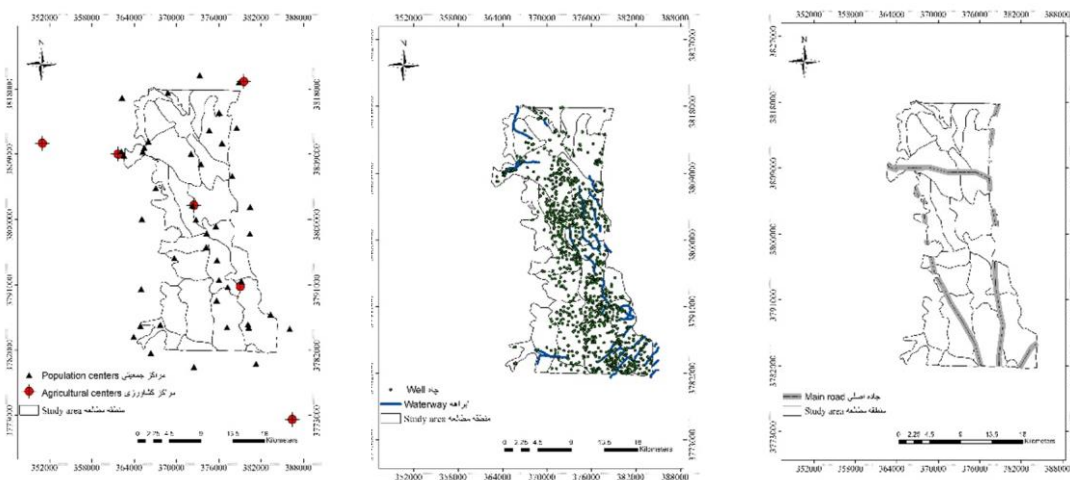
Table 1- Climatic and meteorological information of the region in a period of 10 years

میانگین دمای سالانه	14.5 °C
Average annual temperature	
میانگین بیشینه دمای سالانه	21.3 °C
Average annual maximum temperature	
میانگین کمینه دمای سالانه	7.5 °C
Average annual minimum temperature	
بیشینه مطلق دما در ماه تیر	40.6 °C
The absolute maximum temperature in July	
کمینه مطلق دما در ماه دی	-30 °C
The absolute minimum temperature in January	
میانگین سالانه رطوبت نسبی هوا	% 45.6
Annual average relative humidity	
میانگین بارندگی سالانه	275 mm
Average annual rainfall	

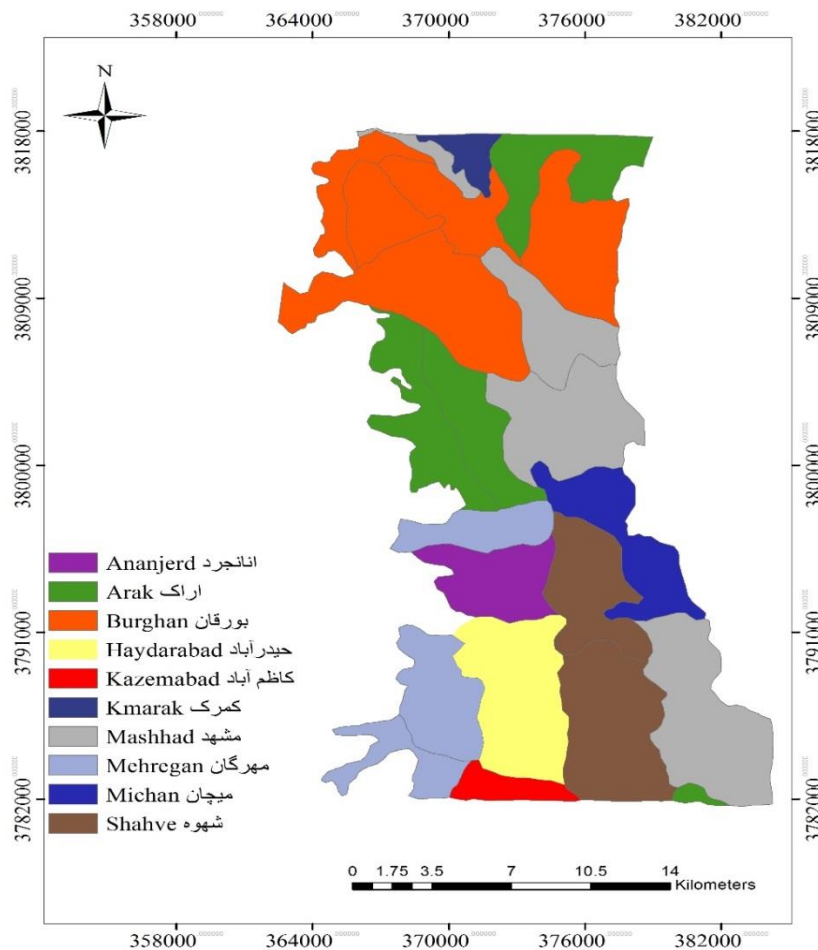
منابع آب مورد استفاده شامل آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی می‌باشد و قسمت اعظم اراضی به کشت زراعت آبی اختصاص دارد. محصولات عمده زراعی که در این منطقه کشت می‌شود عبارت‌اند از: گندم، جو، کلزا، یونجه، ذرت، سیب زمینی، چغندر. به منظور تعیین محدوده منطقه مورد مطالعه، از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان مرکز ملی نقشه‌برداری)، نقشه رقوم ارتفاعات (DEM) و لایه‌های مشتق شده مانند شیب و جهت شیب و نقشه‌های خاک‌شناسی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور و تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. اطلاعات موجود در مورد چاه‌ها و

نهرها از سازمان آب اراک بدست آمد. توزیع فضایی برخی از مجموعه داده‌های وارداتی در منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

تعداد ۱۰ پروفیل شاهد در ۱۰ واحد خاک موجود (شکل ۳)، حفر و از هر لایه نمونه‌های لازم جهت انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز جهت ارزیابی کیفی خاک و رده‌بندی خاک منطقه جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید (جدول ۲).



شکل ۲- الف: جاده‌های اصلی ب: چاه‌آب و نهرها ج: مناطق مسکونی  
Figure 2- Main Roads (a), Well and Waterway (b), Residential Areas (c)



شکل ۳- واحدهای خاک منطقه  
Figure 3- Soil units of the region

شدن به مدل‌ها، تهیه شد. تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده با نرم‌افزار SPSS 22 و ArcGIS10.1 انجام پذیرفت. داده‌های محیطی در این پژوهش شامل توپوگرافی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بودند.

#### ارزیابی کیفی اراضی به روش پارامتریک ریشه دوم

ارزیابی کیفی تناسب زمین نشان‌دهنده درجه تناسب برای کاربری خاص، بدون توجه به شرایط اقتصادی است. که بر جنبه‌های نسبتاً دائمی مناسب بودن، مانند ویژگی‌های آب و هوا و خاک، به جای موارد متغیر، مانند قیمت‌ها، تأکید می‌کند. جهت ارزیابی تناسب اراضی از روش پارامتریک ریشه دوم استفاده شد. مراحل اجرایی شامل ۳ مرحله می‌باشد. الف) جمع‌آوری و پردازش اطلاعات مورد نیاز درباره خصوصیات اراضی، ب) تعیین نیازهای انواع بهره‌وری‌های انتخاب شده، ج) تعیین کلاس‌های کیفی تناسب اراضی.

نمونه‌برداری از پارامترهای تاثیرگذار در مدل‌های ارزیابی به صورت نقاط مطالعاتی و به روش تصادفی طبقه‌بندی شده با استفاده از شبکه‌بندی انجام شده با ابعاد شبکه‌ای ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر صورت گرفت و تعداد ۱۱۲ نمونه خاک از عمق (۰-۳۰) سانتی‌متری از سطح منطقه، مورد آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی برای وارد شدن به مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره قرار گرفت. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee, 1986). ماده آلی به روش والکی-بلمک (Reak et al., 1990)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به و سیله هدایت سنج و واکنش خاک در عصاره ۱:۲، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با اسات آمونیوم با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر و فسفر قابل استفاده به روش اولسن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. میزان سنگریزه نیز همزمان با کوبیدن و عبور از الک تعیین گردید. سپس اطلاعات حاصل از آن‌ها وارد نرم‌افزار GIS گردید و با روش میانبایی کریجینگ بهترین مدل برازش گردید و نقشه‌های رستری هر معیار برای وارد

جدول ۲- رده‌بندی خاک‌های موجود در منطقه

Table 2- Classification of Soils in the Region

شکل ظاهری زمین The shape of the earth	سری خاک Soil series	فامیل خاک Soil family
فلات و تراس‌های فوقانی Upper plateaus and terraces	کاظم آباد Kazemabad	Haploxerept Fine loamy, Carbonatic, Thermic, Typic
	کمرک Kamarak	Fine loamy, Carbonatic, Thermic, Typic Calcixerept
خاک‌های مخروط افکنه‌های آبرفتی سنگریزه دار Pebble alluvial alluvial cone soils	اراک Arak	Loamy Skeletal, Mixed, Thermic, Typic Haploxerept
	انانجرد Anajard	Loamy Skeletal, Mixed, Thermic, Typic Haploxerept
	مهرآباد Mehrabad	Loamy Skeletal, Mixed, Thermic, Typic Xerorthents
دشت‌های سیلابی Flood plains	میچان Michan	Fine loamy, Mixed, Thermic, Typic Xerorthents
	حیدرآباد Hyderabad	Fine loamy, Carbonatic, Thermic, Typic Haploxerept
	بورقان Burqan	Fine loamy, Carbonatic, Thermic, Typic Haploxerept
خاک‌های دشت‌های آبرفتی دامنه‌ای Soils of alluvial plains	مشهد Mashhad	Fine, Carbonatic, Thermic, Typic Haploxerept
	شهبوه Shahveh	Fine, Mixed, Thermic, Typic Haploxerept

جدول ۳- مقادیر شاخص اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی (روش فائو)

Table 3- Land index values in land suitability classes (FAO method)

کلاس تناسب Suitability class	شاخص اراضی Land index
خیلی مناسب Very Suitable	S1 100-75
تناسب متوسط Average Suitable	S2 75-50
تناسب کم Low Suitable	S3 50-25
نامناسب در شرایط فعلی Unsuitable in the current situation	N1 25-12.5
نامناسب دائمی Permanently Suitable	N2 12.5-0

### تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)

یک چارچوب بالقوه ارائه می‌دهد که منعکس کننده نگرش افراد درگیر در فرآیند تصمیم‌گیری است. این چارچوب اطلاعاتی، برخی از معیارها را ترکیب می‌کند و یک واحد شاخص ارزیابی را تشکیل می‌دهد.

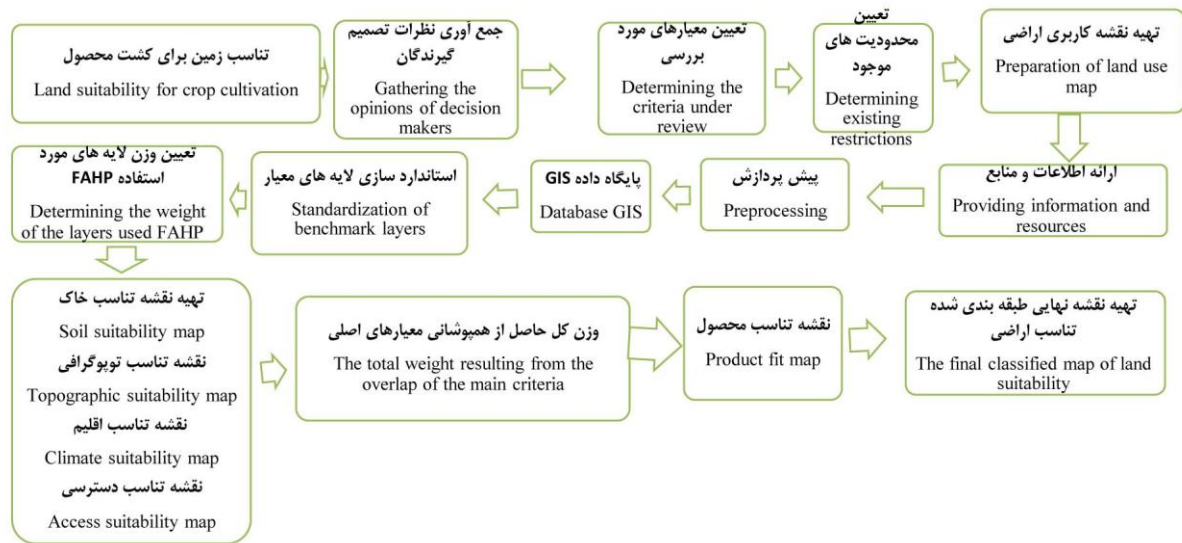
این مدل ارزیابی براساس سیستم ارزیابی کیفی اراضی فائو (FAO 1976a, b, 1983, 1985) انجام گردید. نیازهای اقلیمی محصول از جدول تهیه شده توسط سائیس و همکاران (Sys et al., 1993) استخراج شد.

### تعیین کلاس‌های کیفی تناسب

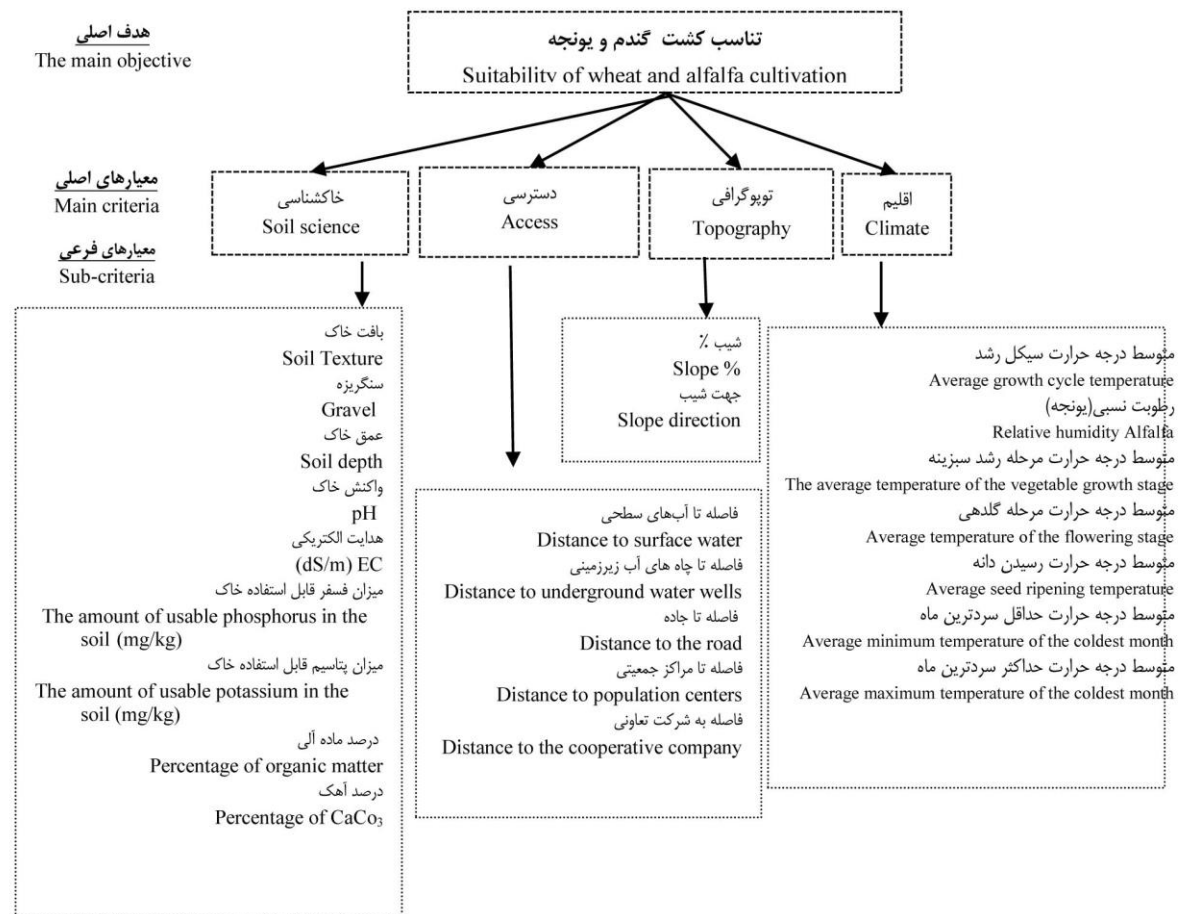
در این مرحله عمل انطباق خصوصیات اراضی با نیازهای انواع بهره‌وری به روش پارامتریک ریشه دوم انجام شد و کلاس نهایی اراضی تعیین گردید. در روش پارامتریک یک درجه‌بندی در مقیاس ۱۰۰-۰ به سطوح محدودیت نسبت داده شد. با یک رابطه ریاضی، شاخص نهایی اراضی به دست آمد، رابطه (۱).

$$I = Rmin \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \dots} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، Rmin حداقل درجه بین خصوصیات مختلف و A، B، ... درجات خصوصیات دیگر غیر از این خصوصیات با حداقل درجه می‌باشند (Ayubi and Jalalian, 2014). سپس با استفاده از شاخص محاسبه شده، کلاس‌های کیفی تناسب اراضی تعیین گردید (جدول ۳).



شکل ۴- جریان روش شناسی مورد استفاده در مطالعه  
Figure 4- Flowchart of the methodology used in the study



شکل ۵- ساختار درختی تصمیم گیری مورد استفاده در مطالعه  
Figure 5- Decision tree structure used in the study



دسته اصلی شامل خصوصیات خاک، شرایط آب و هوایی، توپوگرافی و دسترسی طبقه‌بندی می‌شوند. پس از آماده‌سازی، نقشه‌ها نیاز به استانداردسازی داشتند. مقادیر موجود در نقشه‌های ورودی مختلف ممکن است معانی متفاوتی داشته باشند و ممکن است شامل واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی باشند (به عنوان مثال نقشه شیب بر  $h$  سب در صد، دما بر  $h$  سب درجه و غیره). به منظور مقایسه مقادیر متقابل، لازم است آن‌ها را با تبدیل به واحدهای اندازه‌گیری مشابه (۱-۰) استانداردسازی و بدون مقیاس نماییم. در این تحقیق از دو روش استانداردسازی، AHP فضایی برای استانداردسازی تمامی معیارهای کاربردی به جز معیارهای فاصله‌ای که برای آن‌ها از تحلیل هزینه-فایده استفاده شد، به عنوان مثال، در معیار مراکز جمعیتی، تحلیل هزینه-فایده، به کار رفت که بالاترین امتیاز (درجه تناسب = ۱) را به نزدیکترین نقطه به مراکز جمعیتی و کمترین (درجه تناسب = ۰) را به دورترین آن‌ها اختصاص می‌دهد.

#### آماده‌سازی داده‌ها با استفاده از GIS

آماده‌سازی داده‌ها اولین گام اساسی در تحلیل تناسب زمین است. یک تکنیک درونیابی با استفاده از نسخه ۱۰٫۱ ArcGIS با مدیریت داده‌های مکانی و تجسم نتایج شاخص زمین در هر دو مدل، برای تهیه نقشه‌های نهایی تناسب اراضی در منطقه استفاده شد.

#### اعتبارسنجی مدل

برای ارزیابی توافق بین روش‌های فازی و فائو با تولید مشاهده شده در منطقه، ضریب کاپا که تو س (Cohen, 1960) تهیه شده است بکار رفت. ضریب کاپا اندازه‌گیری میزان توافق بین دو مشاهدات (نقشه) است و محاسبه آن بر اساس تفاوت بین پیکسل نقشه‌ها است. مقدار کاپا ۰ نشان می‌دهد که توافق ضعیفی بین نقشه‌ها وجود دارد و مقدار ۱ نشان دهنده توافق تقریباً کامل است.

#### نتایج و بحث

مدل پارامتریک در ارزیابی تناسب زمین. بر اساس نیازهای اقلیمی محصول، شاخص اقلیم (CI) و نرخ اقلیمی (CR) به عنوان عوامل اجرا شده در برآورد شاخص زمین تعیین شدند (Ayubi and Jalalian, 2014). در منطقه شرایط اقلیمی بهینه برای گندم و یونجه به ترتیب ۹۷٫۴ و ۹۲٫۷۴ تعیین گردید و اقلیم منطقه را در کلاس بسیار مناسب (S<sub>1</sub>) برای گندم آبی و یونجه قرار داد (جدول ۴ و ۵). مقادیر شاخص زمین بر اساس مدل پارامتریک بین ۵۰ تا ۷۸ با میانگین ۶۸/۸ متغیر بود (جدول ۶). طبقات تناسب زمین برای گندم و یونجه به دو دسته S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub> طبقه‌بندی شدند (شکل ۶).

با توجه به تعداد زیاد عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری، بررسی تناسب زمین را می‌توان به عنوان یک روش ارزیابی چندمعیاره در نظر گرفت (Reshmidevi, 2009). ترکیب روش MCDM و روش GIS یک ابزار قدرتمند برای تحلیل فضایی تشکیل می‌دهد (Yu, 2009). شکل ۴ جریان کلی روش شناسی را که در اینجا دنبال کرده‌ایم، ارائه می‌دهد.

#### انتخاب معیارهای ارزیابی

مجموعه معیارهای انتخاب شده باید به اندازه کافی فضای تصمیم‌گیری را آشکار کند و باید به عنوان راهنمای هدف نهایی عمل کند (Kihoro, 2013). در راستای اجرای مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره، ساختار درخت تصمیم‌گیری برای ارزیابی تناسب اراضی ایجاد گردید (شکل ۵).

#### فرآیند سلسله مراتبی فازی (FAHP)

با عدم قطعیت و منبع ابهام سروکار دارد و برای ترکیب داده‌های نادقیق در چارچوب تصمیم‌گیری استفاده شده است (Brahma, 2018). FAHP یک فرمت AHP است که معیارهای مختلف را از طریق استفاده از اعداد فازی ارزیابی می‌کند و موفق شده است بر ایرادات AHP غلبه کند و می‌تواند ابهام و تردید را در ارزیابی، زمانی که به مسائل پیچیده و چند شاخصی می‌رسد، از بین ببرد (Yu, 2011). مهم‌ترین دلایل استفاده از FAHP به جای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک این است که مقادیر در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک به صورت جفت از طریق اعداد مطلق مقایسه می‌شوند (Saaty, 1980). در حالی که این عدم قطعیت نمی‌تواند با منطق فازی نشان داده شود (Jiang and Eastman, 2000). وزن‌دهی معیارها به روش چانگ (Chang, 1996) جهت بسط‌دهی تحلیل سلسله مراتبی به فضای فازی استفاده می‌شود که مبتنی بر میانگین حسابی نظرات کارشناسان، روش نرمالایز و استفاده از اعداد مثلث فازی است. در ابتدا ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی گردیدند و ماتریس مقایسه زوجی فازی معیارهای اصلی و همچنین ماتریس مقایسه زوجی فازی معیارهای فرعی و زیرمعیارها، تهیه گردید. سپس وزن‌های هر کدام از معیارهای اصلی و زیرمعیارها بدست آمد. با استفاده از وزن‌های حاصل از مقایسه جفتی در روش FAHP لایه‌های استاندارد شده به روش ساتی تلفیق شدند. نقشه‌های تناسب معیارهای فرعی و معیارهای اصلی و نقشه نهایی تناسب برای کشت گندم به روش FAHP حاصل گردید. ارزیابی تناسب زمین یک فرآیند ارزیابی چندمعیاره است و معیارهای آن فضایی و غیر مکانی بوده و شامل داده‌های کیفی و کمی تحت شرایط مختلف می‌باشد (Chen et al., 2010). بر اساس نظر کارشناسان و دیدگاه تصمیم‌گیران و چارچوب فائو برای کشت گندم آبی و کشت یونجه، عوامل تاثیرگذار در چهار

جدول ۴- ارزیابی اقلیمی گندم در منطقه

Table 4- Climatic requirements and characteristics for wheat cultivation in the study area

مشخصات اقلیمی Climatic characteristics	اطلاعات اقلیمی Climatic information	درجه پارامتریک Parametric grade	معادله مربوطه The corresponding equation
متوسط درجه حرارت سیکل رشد Average growth cycle temperature (°C)	15	95	$R=95+1(15-20)$
متوسط درجه حرارت مرحله رشد سبزینه‌ای The average temperature of the vegetative growth stage (°C)	11.45	99.31	$R=95+25.1(X-8)$
متوسط درجه حرارت مرحله گلدهی Average temperature of flowering stage (°C)	19.68	98.55	$R=95+6.0(X-14)$
متوسط درجه حرارت رسیدن دانه Average seed ripening temperature (°C)	25.2	93	$R=95+7.1(X-24)$
متوسط درجه حرارت حداقل سردترین ماه Average minimum temperature of the coldest month (°C)	-5.2	100	-----
متوسط درجه حرارت حداکثر سردترین ماه Average maximum temperature of the coldest month (°C)	5.5	100	-----
شاخص اقلیمی خیدر (ریشه دوم) Khaider climate index (second root)	---	89.67	$CI= Rmin*\sqrt{R1.100+R2.100+...}$
درجه اقلیمی R Climatic degree R	---	97.4	$CR=67.16 + 9.0 * CI$
کلاس اقلیم Climate class			$S_1$

مقایسات شاخص سازگاری کمتر از ۰/۱ بود (جدول ۹). در محیط GIS با استفاده از نقشه‌های استاندارد شده هر معیار و وزن‌های حاصل از مدل FAHP نقشه‌های تناسب اراضی برای معیارهای مختلف توپوگرافی، ویژگی‌های خاک، شرایط اقلیمی و دسترسی در تهیه گردید که در (شکل ۷ و ۸) نشان داده شده است.

مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) در ارزیابی تناسب زمین

مقایسه معیارها به روش اعداد فازی با ماتریس مقایسه زوجی برای تمامی معیارها در جدول ۷ آمده است. تبدیل ماتریس‌ها به ماتریس فازی با هدف رسیدن به وزن‌های نرمال انجام شد و برای هر معیار، وزن‌ها در مدل FAHP محاسبه شد (جدول ۸). در تمامی

جدول ۵- ارزیابی اقلیمی یونجه در منطقه

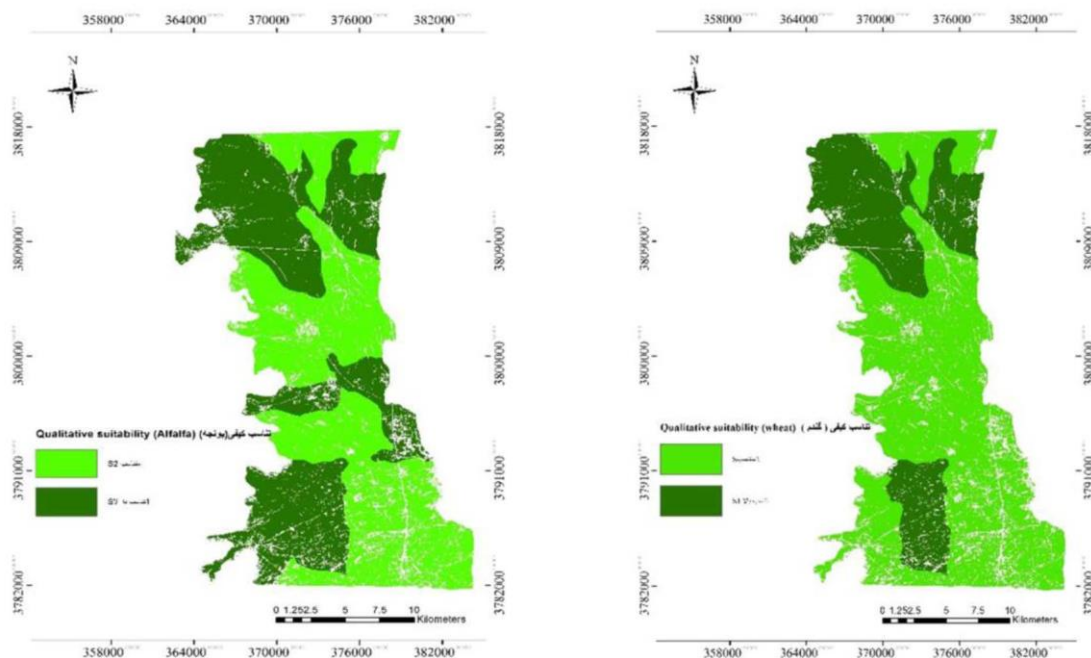
Table 5- Climatic requirements and characteristics for alfalfa cultivation in the study area

نیازهای اقلیمی Climatic characteristics	اطلاعات اقلیمی Climatic information	درجه پارامتریک Parametric grade	معادله مربوطه The corresponding equation
متوسط درجه حرارت سیکل رشد Average growth cycle temperature (°C)	20	85	$R=95-2.5(X-20)$
رطوبت نسبی % Relative humidity%	36.97	98.2	$R=100-25.0(X-30)$
شاخص اقلیمی خیدر (ریشه دوم) Khaider climate index (second root)	---	84.23	$CI= Rmin*\sqrt{R1.100+R2.100+...}$
درجه اقلیمی R Climatic degree R	---	92.47	$CR=67.16 + 9.0 * CI$
کلاس اقلیم Climate class			$S_1$

جدول ۶- مقادیر شاخص زمین، کلاس تناسب اراضی، به‌روش پارامتریک برای محصولات

Table 6- The values of land indexes, land suitability classes, the preference values and classes by Parametric Crops

یونجه Alfalfa		گندم Wheat		واحد اراضی Land unit
کلاس اراضی Land class	شاخص اراضی Land index	کلاس اراضی Land class	شاخص اراضی Land index	
S2	73	S2	75	
S2	62	S2	56	AR
S1	75	S1	77	BU
S1	78	S1	78	HA
S2	58	S2	68	KA
S2	61	S2	73	KM
S2	73	S2	74	MA
S1	50	S2	50	ME
S1	75	S2	75	MI
S2	63	S2	62	SH



شکل ۶- پهنه‌بندی تناسب اراضی برای تولید گندم و یونجه با مدل پارامتریک در دشت اراک

Figure 6- Land suitability zoning for wheat and alfalfa production with parametric model in Arak plain

جدول ۷- ماتریس مقایسه زوجی فازی شده معیارهای اصلی در کشت گندم و یونجه

Table 7- Fuzzy evaluation of the main criteria for Wheat and Alfalfa

شاخص Indicator	خصوصیات خاک Soil properties	توپوگرافی Topography	آب و هوا Climate	دسترسی Access
خصوصیات خاک Soil properties	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)
توپوگرافی Topography		(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)
آب و هوا Climate			(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
دسترسی Access				(1, 1, 1)

جدول ۸- عملکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی معیارهای اصلی - گندم و یونجه  
 Table 8- Performance fuzzy analytical hierarchical process, for Wheat and Alfalfa

شاخص Indicator	عدد فازی Fuzzy number			وزن های نرمال شده Normalized weights
	پایین Down	وسط Center	بالا Top	
خصوصیات خاک Soil properties	0.214936	0.42535	0.804701	0.464322
توپوگرافی Topography	0.157591	0.308692	0.592107	0.35463
آب و هوا Climate	0.061434	0.09753	0.193684	0.032187
دسترسی Access	0.085069	0.168422	0.336179	0.148861

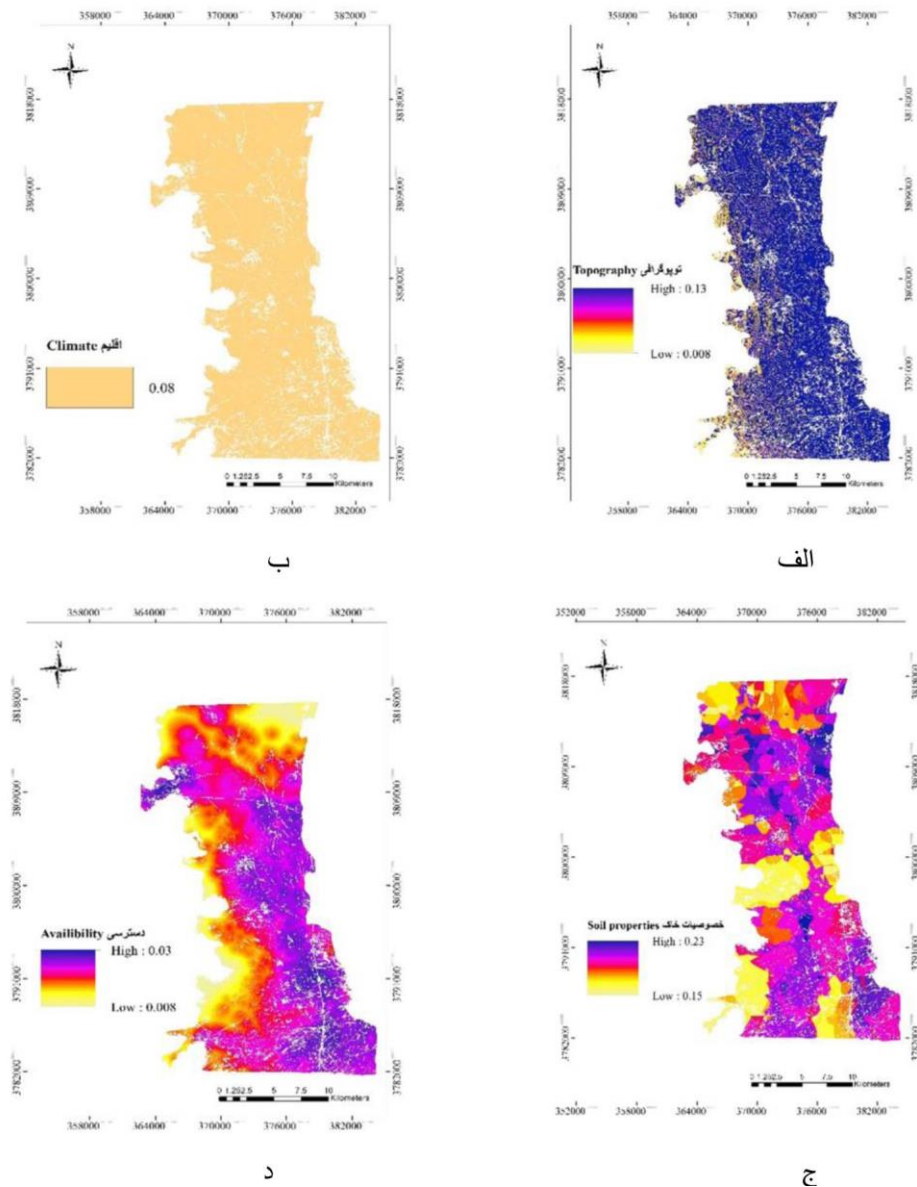
جدول ۹- وزن های حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی معیارها  
 Table 9- Weights derived from performance fuzzy analytical hierarchical process for all criteria

معیارها و زیر معیارها Criteria and sub-criteria	وزن های نرمال شده Normalized weights	
	گندم Wheat	یونجه Alfalfa
<b>خاکشناسی Soil science</b>		
بافت Soil Texture	0.2	0.23
سنگریزه Gravel	0.22	0.3
عمق خاک Soil depth	0.18	0.21
ماده آلی Percentage of organic matter	0.15	0.06
شوری (dS/m) EC	0.05	0.05
اسیدیته pH	0.11	0.07
میزان فسفر قابل استفاده خاک The amount of usable phosphorus in the soil (mg/kg)	0.01	0.03
میزان پتاسیم قابل استفاده خاک The amount of usable potassium in the soil (mg/kg)	0.05	0.001
درصد آهک Percentage of Caco <sub>3</sub>	0.01	0.05
شاخص سازگاری Compatibility index	0.06	0.09
<b>توپوگرافی Topography</b>		
جهت شیب Slope direction	0.85	0.69
شیب Slope %	0.14	0.31
شاخص سازگاری Compatibility index	0.001	0.00
<b>اقلیم Climate</b>		
متوسط درجه حرارت سیکل رشد Average growth cycle temperature	0.26	0.78

رطوبت نسبی (یونجه)	-	0.22
Relative humidity Alfalfa		
متوسط درجه حرارت مرحله رشد سبزینه	0.23	-
The average temperature of the vegetable growth stage		
متوسط درجه حرارت مرحله گلدهی	0.21	-
Average temperature of the flowering stage		
متوسط درجه حرارت رسیدن دانه	0.17	-
Average seed ripening temperature		
متوسط درجه حرارت حداقل سردترین ماه	0.09	-
Average minimum temperature of the coldest month		
متوسط درجه حرارت حداکثر سردترین ماه	0.001	-
Average maximum temperature of the coldest month		
شاخص سازگاری	0.01	0.0
Compatibility index		
<b>دسترسی</b>		
<b>Access</b>		
فاصله تا آب‌های سطحی	0.4	0.4
Distance to surface water		
دسترسی به آب زیر زمینی	0.32	0.32
Distance to underground water wells		
فاصله تا جاده	0.11	0.11
Distance to the road		
فاصله تا مراکز جمعیتی	0.1	0.1
Distance to population centers		
فاصله تا شرکت های تعاونی	0.06	0.06
Distance to the cooperative company		
شاخص سازگاری	0.02	0.02
Compatibility index		

جدول ۱۰ - طبقه بندی تناسب اراضی بر اساس درصد مساحت هر طبقه کلاس تناسب  
**Table 10- Land suitability classes according to the percent of each suitability class**

کلاس تناسب اراضی Land suitability class	مدل پارامتریک Parametric model		مدل FAHP FAHP model	
	گندم % Wheat	یونجه % Alfalfa	گندم % Wheat	یونجه % Alfalfa
	تناسب بالا High suitability	32	46	28
متناسب Suitability	68	54	32	22
تناسب متوسط Average suitability	0	0	23	8
تناسب کم Low suitability	0	0	15	10
بدون تناسب Unsuitability	0	0	2	0
مجموع Total	100	100	100	100

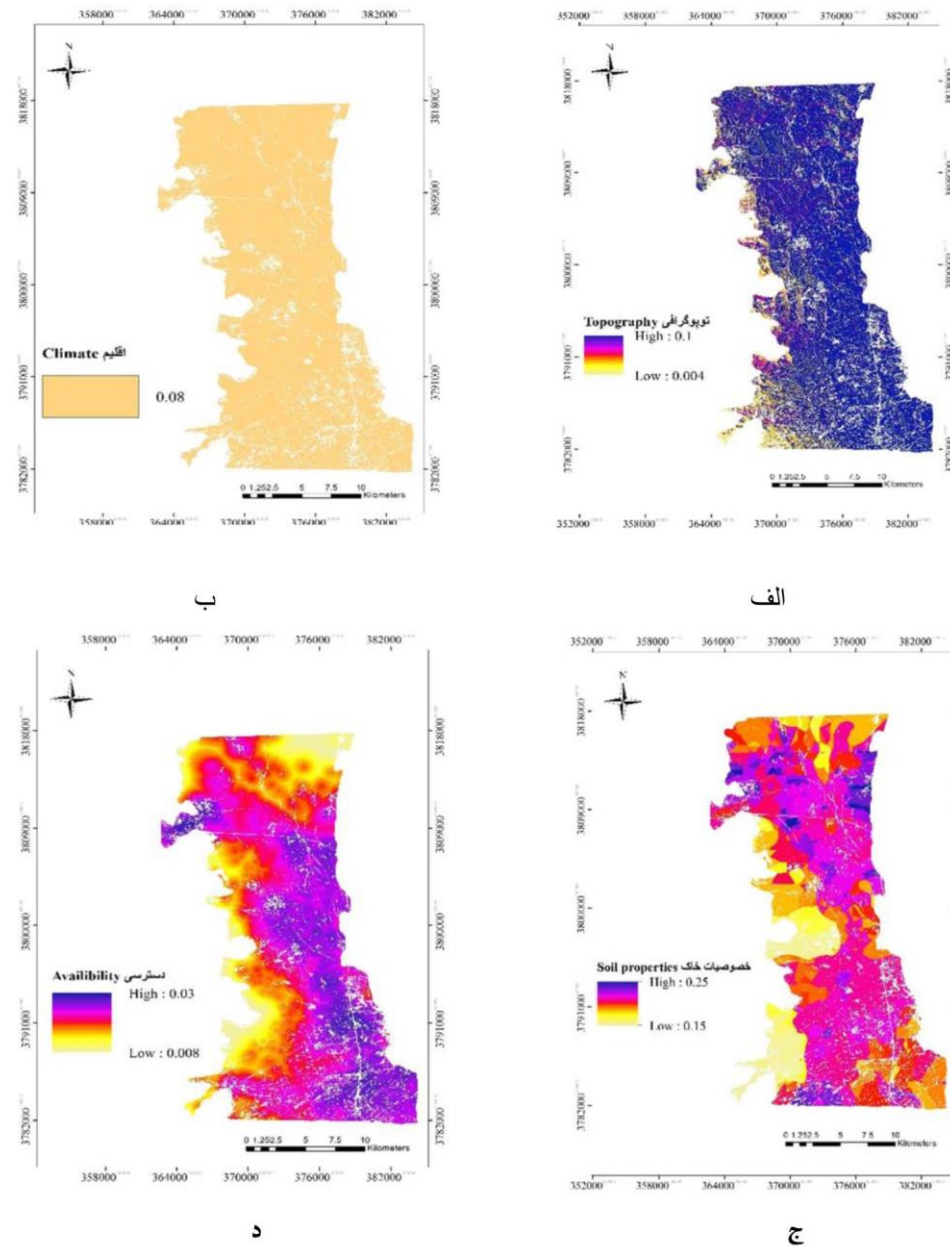


شکل ۷- نقشه‌های تناسب (کشت گندم)، (الف) توپوگرافی، (ب) شرایط اقلیمی، (ج) خصوصیات خاک، (د) دسترسی

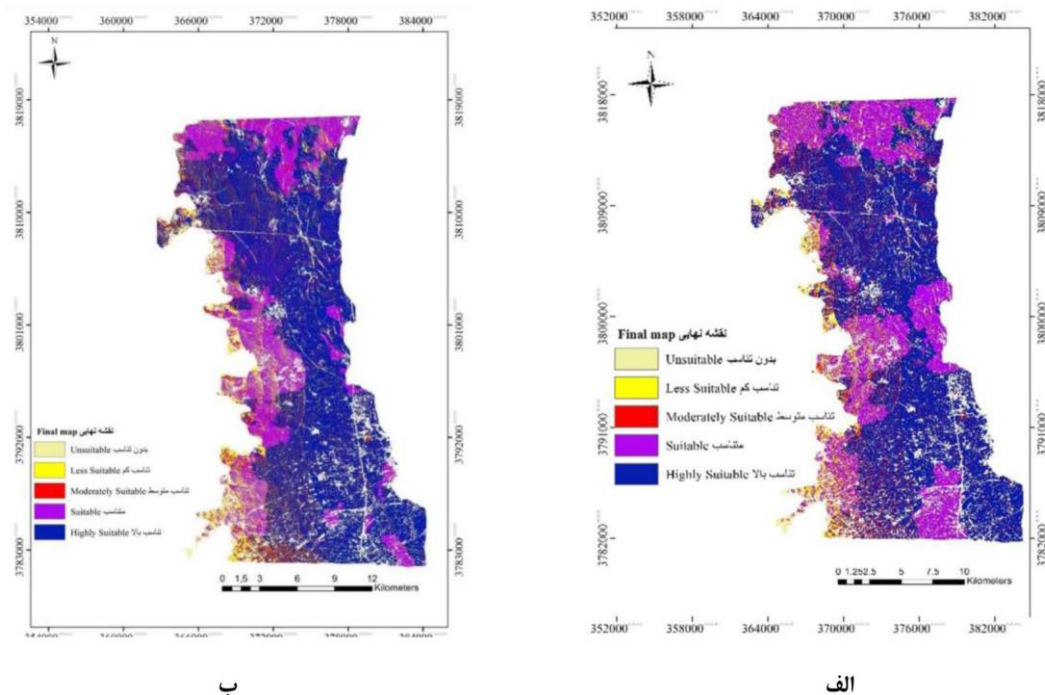
Figure 7- Suitability maps( wheat cultivation) of topography (a), soil properties (b), climatic conditions (c), and accessibility factor (d)

مناسب، کمتر مناسب و نامناسب با مرزهای تدریجی تفکیک گردید و مساحت هر طبقه تناسب در منطقه محاسبه گردید. نقشه‌های ارزیابی بدست آمده از تناسب کیفی نیز به نقشه رستری تبدیل شدند و به ۲ طبقه بسیار مناسب و مناسب تفکیک گردید (جدول ۱۰).

در نهایت نقشه تناسب اراضی طبقه بندی شده منطقه مورد مطالعه برای کشت گندم و یونجه با همپوشانی وزنی چهار نقشه تناسب که از معیارهای اصلی استخراج شده بود بدست آمد (شکل ۹). نقشه‌های نهایی حاصل شده براساس Natural Breaks در نرم افزار ArcGIS به ۵ طبقه تناسب اراضی بسیار مناسب، مناسب، نسبتا



شکل ۸- نقشه‌های تناسب (کشت یونجه)، (الف) توپوگرافی، (ب) شرایط اقلیمی، (ج) خصوصیات خاک، (د) دسترسی  
 Figure 8- Suitability maps (alfalfa cultivation) of topography (a), soil properties (b), climatic conditions (c), and accessibility factor (d)



شکل ۹- پهنه‌بندی تناسب اراضی با مدل FAHP در دشت اراک. الف- گندم ب- یونجه

Figure 9- The zonation of land suitability by FAHP model in ARAK plain. A- Wheat B- Alfalfa

### نتیجه‌گیری

مناسب کشت مناسب می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که FAHP یک استراتژی کارآمد برای افزایش دقت تخصیص وزن به معیارهایی است که بر تحلیل تناسب زمین تأثیر می‌گذارد. روش تحقیق حاضر با کاربرد مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند برای اولویت‌بندی اراضی کشت گندم و یونجه، بهبود بهره‌برداری، حفظ منابع و ایجاد مدیریت پایدار با بکارگیری انواع معیارهای متفاوت و موثر از نظر کارشناسان (مسائل اقتصادی و زیست محیطی و ...) اطلاعات مفیدی را در اختیار بهره‌برداران بخش کشاورزی قرار دهد و بینش مفیدی در انتخاب الگوی کشت مناسب در منطقه ارائه دهد. استفاده از معیارهای مختلف در مدل AHP فازی و همچنین مقایسه نتایج مدل‌ها و کاربرد تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره برای انواع محصولات کشاورزی در راستای بهره‌وری کمتر در مصرف آب در تحقیقات آتی توصیه می‌شود. با توجه به اینکه در الگوی کشت نیاز به نقشه‌های تناسب اراضی به عنوان نقشه‌های پایه می‌باشد لذا داشتن بهترین نقشه تناسب اراضی کمک شایانی به طرح الگوی کشت در منطقه می‌نماید. آگاهی از این که چه محصولاتی به طور طبیعی بهترین بازده را در یک قطعه زمین دارند، اطلاعات بسیار مفیدی را در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران در سازمان جهاد کشاورزی و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی منطقه قرار می‌دهد.

بررسی نقشه‌های تناسب ارزیابی تهیه شده با مدل FAHP نشان داد از کل منطقه، ۸۰٪ برای کشت گندم و ۸۲٪ برای کشت یونجه بسیار مناسب و مناسب می‌باشد (جدول ۵) و به ترتیب برای کشت گندم و یونجه ۳۲٪ و ۴۶٪ از مساحت منطقه دارای تناسب  $S_1$  و ۶۸٪ و ۵۴٪ دارای تناسب  $S_2$  می‌باشند. نتایج نشان داد که سطح وسیعی از منطقه پتانسیل بالایی برای کشت و تولید گندم و یونجه دارد. پس مناطقی می‌باشد که کشت این دو محصول در مناطقی که برای کشت بسیار مناسب هستند، صورت پذیرد. علاوه بر این، سایر محصولات باید در مناطقی کاشته شوند که برای کشت گندم و یونجه کمتر مناسب هستند. ضریب کاپا بدست آمده از مقایسه مقادیر تولید مشاهده شده با نقشه‌های حاصل از مدل پارامتریک و FAHP به ترتیب برای کشت گندم ۰،۲۳۷ و ۰،۰۳ و کشت یونجه ۰،۰۴۲ و ۰،۰۰۱ بود که نشان دهنده تطابق ضعیف مدل پارامتریک با شرایط واقعی کشت در منطقه در راستای ارزیابی تناسب اراضی است. همچنین مقدار پایین ضریب کاپا در هر دو مدل بیانگر مدیریت بسیار پایین مزرعه توسط کشاورز می‌باشد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی با ۹ درجه‌بندی نظرات کارشناسان برای انواع معیارها را باهم می‌سنجد و با ترکیبی از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارزیابی و شناسایی محل و محصول



1. Ayubi, S., & Jalalian, A. (2014). *Land evaluation (agricultural uses and natural resources)*. Publications of Isfahan University of Technology. Fifth Edition. (In Persian)
2. Brahma, B., Pathak, K., Lal, R., Kurmi, B., Das, M., Nath, P.C., & Das, A.K. (2018). Ecosystem carbon sequestration through restoration of degraded lands in Northeast India. *Land Degradation & Development* 29(1): 15-25. <https://doi.org/10.1002/ldr.2816>.
3. Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research* 95(3): 649-655. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2).
4. Chen, Y., Yu, J., & Khan, S. (2010). Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software* 25(12): 1582-1591. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.06.001>.
5. Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20(1): 37-46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>.
6. Dent, D., & Young, A. (1981). *Book: Soil survey and land evaluation*. George Allen & Unwin.
7. FAO. (1976a). A framework for land evaluation. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
8. FAO. (1976b). *A framework for land evaluation*. FAO Soil Bulletin 32. Rome.
9. FAO. (1983). *Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture*. FAO Soils Bulletin, No. 52, FAO, Rome.
10. FAO. (1985). *Guideline: land evaluation for irrigated agriculture*. FAO Soils Bulletin, No. 55. Rome.
11. FAO. (1993). *Guideline for Land use planning*. FAO Development Series No: 21, Rome, p 96.
12. Fekadu, Dadi, A., Miller, E.R., & Mwanri, L. (2020). Antenatal depression and its association with adverse birth outcomes in low and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *PloS One* 15(1): e0227323. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227323>.
13. Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1986). *Particle-size analysis In: A. Klute, Methods of soil analysis, Part 1-Physical and mineralogical methods, 2nd edition, Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wiscon. USA. 383-409*.
14. Jiang, H., & Eastman, J.R. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 14(2): 173-184. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/136588100240903>.
15. Karlen, D.L. (2008). Sustainability indicators: a scientific assessment. *Journal Environment Quality* 37: 1663-1663. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0005br>.
16. Kihoro, J., Bosco, N.J., & Murage, H. (2013). Suitability analysis for rice growing sites using a multicriteria evaluation and GIS approach in great Mwea region, Kenya. *SpringerPlus* 2(1): 1-9. Available at <https://link.springer.com/article/10.1186/2193-1801-2-265>.
17. Mert, M., Bölük, G., & Çağlar, A.E. (2019). Interrelationships among foreign direct investments, renewable energy, and CO<sub>2</sub> emissions for different European country groups: a panel ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research* 26(21): 21495-21510. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05415-4>.
18. Musavi, M., & Bozorgi-Amiri, A. (2017). A multi-objective sustainable hub location-scheduling problem for perishable food supply chain. *Computers & Industrial Engineering* 113: 766-778. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.07.039>.
19. Pilevar, A.R., Matinfar, H.R., Sohrabi, A., & Sarmadian, F. (2020). Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming. *Ecological Indicators* 110: 105887. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105887>.
20. Reak R., Kalra, Y., Vaughan, B., & Wolf, A.M. (1990). *Soil analysis handbook of reference methods*. CRC press. 1st Edit, pp. 264.
21. Reshmidevi, T.V., Eldho, T.I., & Jana, R. (2009). A GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds. *Agricultural Systems* 101(1-2): 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.04.001>.
22. Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy: planning, priority setting, resource allocation* (Decision Making Series). New York, McGraw-Hill. <http://citeseerx.ist.psu.edu/doi=10.1.1.410.5705>.
23. Sys, C., Van Ranst, E., & Debaveye, IJ. (1991a). *Land evaluation*. Part I: principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation, Agricultural Publication-No. 7, Brussels, Belgium, p 274.
24. Sys, C., Van Ranst, E., & Debaveye, IJ. (1991b). *Land evaluation*. Part II: methods in land evaluation. General Administration for Development Cooperation, Agricultural Publication-No. 7, Brussels, Belgium, p 247.
25. Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, IJ., & Beernaert, F. (1993). *Land evaluation*. Part III: crop requirements. General Administration for Development Cooperation, Agricultural Publication-No. 7, Brussels, Belgium, p 199.
26. Triantafylis, J., Odeh, I.O.A., & McBratney, A.B. (2001). Five geostatistical models to predict soil salinity from electromagnetic induction data across irrigated cotton. *Soil Science Society of America Journal* 65(3): 869-878.

<https://doi.org/10.2136/sssaj2001.653869x>.

27. Yu, J., Chen, Y., & Wu, J.P. (2009). *Cellular automata and GIS based land use suitability simulation for irrigated agriculture*. In 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia (pp. 13-17). Retrieved from [https://mssanz.org.au/modsim09/I8/yu\\_j.pdf](https://mssanz.org.au/modsim09/I8/yu_j.pdf).
28. Yu, J., Chen, Y., Wu, J., & Khan, S. (2011). Cellular automata-based spatial multi-criteria land suitability simulation for irrigated agriculture. *International Journal of Geographical Information Science* 25(1): 131-148. <https://doi.org/10.1080/13658811003785571>.