



Land suitability assessment using the Marcos method and its comparison with the parametric method

Elahe Karbakhsh-Ravari¹ | Fereydoon Sarmadian²

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail:

elahekarbakhsh@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: fsarmad@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 2, 2025

Revised: July. 3, 2025

Accepted: July. 8, 2025

Published online: Sep. 2025

Keywords:

Digital land suitability

assessment,

Maize,

Multi-criteria decision-making

methods,

Parametric method

ABSTRACT

Given the critical role of land suitability assessment in the optimal management of natural resources and sustainable development, selecting an accurate and reliable assessment method is essential. Multi-criteria decision-making (MCDM) approaches provide a robust framework for evaluating alternatives based on criteria of varying importance. In this study, the MARCOS MCDM method was employed to assess land suitability for irrigated corn, and its performance was compared with that of the traditional parametric method. The MARCOS method operates on the basis of a decision matrix, where alternatives (in this case, soil profiles) are evaluated against a set of criteria (land characteristics). Criterion weights were determined using the best-worst method (BWM), which determined electrical conductivity as the most influential factor, while climate was deemed the least important. Results indicated that the square root method achieved acceptable accuracy in land suitability assessment, with a correlation coefficient of 0.72 between crop yield and the land index. In contrast, the MARCOS method, with a lower correlation coefficient of 0.27, failed to deliver sufficient accuracy in classifying land suitability and was unable to correctly identify fully suitable land classes. While the square root method is a well-established technique in land suitability evaluation and produced favorable results in this study, the MARCOS method—despite incorporating ideal and anti-ideal solutions and applying weighted criteria—tended to generalize the area into just two broad classes: unsuitable and low suitability. This limitation highlights the need for careful consideration when selecting MCDM methods for land evaluation tasks.

Cite this article: Karbakhsh-Ravari, E. Sarmadian, F (2025). Land suitability assessment using the Marcos method and its comparison with the parametric method., *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (7), 1821-1838. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.394553.669933>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.394553.669933>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In today's world, food scarcity is one of the main challenges humanity faces, and it intensifies daily with the increasing global population. This issue necessitates the effective and optimal use of existing food resources. One of the critical factors in ensuring food security is the proper management of agricultural lands. Therefore, land use must be conducted intelligently and sustainably to meet the growing population's needs. The suitability of lands for specific crops and agricultural methods plays a key role in increasing productivity. If lands are utilized correctly and in accordance with soil and climate characteristics, production levels can be increased while preventing environmental degradation. Thus, paying attention to land suitability and its proper management is not only essential for ensuring a sufficient food supply but also for maintaining the ecological balance of the land. Multi-criteria decision-making methods, by creating appropriate structures, help facilitate the decision-making process. The Marcos method is a multi-criteria decision-making approach. Since this method has not been previously used in land suitability assessments, this research examines and compares the Marcos method with the parametric method, one of the common methods for land suitability assessment.

Method

The study area is located within the Abyek lands in Qazvin Province. In this study, physical and chemical data from 275 soil profiles, along with data on the slope and climate of the area, were utilized. Characteristics such as the percentage of lime, gypsum, organic carbon, gravel, slope, and climate were used as criteria.

In the square root method, the degree of limitation was determined by comparing the criteria related to each profile with the requirements of the corn product. Finally, the land suitability class was obtained using the land index.

In the Makos method, eight land characteristics were used as criteria, and soil profiles were used as options to form the decision matrix.

Since this method is not capable of weighting criteria, the criteria were weighted using the best-worst method.

After determining the land suitability class, digital maps were prepared using the random forest model, and the land suitability class for the area was obtained using the mentioned methods.

Results

The results of this article showed that the square root method, with a correlation coefficient of 0.72, has performed land suitability assessment with acceptable accuracy. In contrast, the Marcos method, with an accuracy of 0.27, has not been able to perform land suitability assessment satisfactorily. Based on the square root method, out of 57,132 hectares of land in the region, 26.67% of the land falls into the very suitable class, 42.10% into the relatively suitable class, 13.98% into the low suitability class, and 17.22% into the unsuitable class.

The Marcos method was unable to separate the class of very suitable land, placing 0.32% of the land in the relatively suitable class, 74.71% in the low suitability class, and 93.27% in the unsuitable class.

Conclusions

The parametric method is a standard method for evaluating land suitability. The present study compared the square root method with the multi-criteria decision-making method of Marcos. The results showed that the Marcos method did not provide acceptable results. The reason for this could be that the Marcos method is oriented towards the ideal state. Based on land characteristics and expert opinions, the most important criteria of this study were salinity and alkalinity. In the Marcos method, due to its orientation towards the ideal state, areas with high salinity and alkalinity were classified as unsuitable, and other areas were determined to have low suitability.

Author Contributions

Conceptualization, Fereydoon Sarmadian; methodology, Fereydoon Sarmadian; software, Fereydoon Sarmadian, Elahe Karbakhsh-Ravari; validation, Fereydoon Sarmadian, Elahe Karbakhsh-Ravari; formal analysis, Fereydoon Sarmadian, Elahe Karbakhsh-Ravari; investigation, Elahe Karbakhsh-Ravari; resources, Elahe Karbakhsh-Ravari; data curation, Fereydoon Sarmadian, Elahe Karbakhsh-Ravari; writing—original draft preparation, Elahe Karbakhsh-Ravari; writing—review and editing, Elahe Karbakhsh-Ravari; visualization, Elahe Karbakhsh-Ravari; supervision, Fereydoon Sarmadian; project administration, Fereydoon Sarmadian; funding acquisition, Fereydoon Sarmadian. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript."All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing

of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

ارزیابی تناسب اراضی با روش مارکوس و مقایسه آن با روش پارامتریک

الهه کاربخش راوری^۱ | فریدون سرمیدیان^۲^۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه:elahekarbakhsh@ut.ac.ir^۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه:fsarmad@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	با توجه به نقش حیاتی ارزیابی تناسب اراضی در مدیریت بهینه منابع طبیعی و توسعه پایدار، انتخاب یک روش ارزیابی دقیق و قابل اطمینان، امری ضروری است. رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، چارچوبی قدرتمند برای ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارهای با اهمیت متفاوت ارائه می‌دهند. در این مطالعه، از روش MCDM مارکوس برای ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت ذرت آبی استفاده شد و عملکرد آن با روش پارامتریک مقایسه گردید. روش مارکوس بر پایه یک ماتریس تصمیم‌گیری عمل می‌کند که در آن گزینه‌ها (در این پژوهش پروفیل‌های خاک) در برابر مجموعه‌ای از معیارها (ویژگی‌های اراضی) ارزیابی می‌شوند. وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش بهترین - بدترین (BWM) انجام شد که در آن هدایت الکتریکی به عنوان بااهمیت‌ترین و اقلیم به عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار شناخته شدند. نتایج نشان داد که روش ریشه دوم، با ضریب همبستگی ۰/۷۲ بین عملکرد محصول و شاخص اراضی، دقت قابل قبولی در ارزیابی تناسب اراضی داشته است. در مقابل، روش مارکوس با ضریب همبستگی پایین‌تر (۰/۲۷) دقت لازم برای طبقه‌بندی صحیح تناسب اراضی را نداشته و قادر به تفکیک دقیق کلاس تناسب اراضی نبود. در حالی که روش ریشه دوم، یکی از روش‌های تثبیت شده در ارزیابی تناسب اراضی است و در این مطالعه نتایج مطلوبی را ارائه داده است، روش مارکوس با وجود بهره‌گیری از راه‌حل‌های ایده‌آل و ضدایده‌آل و اعمال وزن معیارها منطقه را تنها به دو طبقه کلی نامناسب و تناسب کم تقسیم کرد. این محدودیت نشان‌دهنده لزوم دقت در انتخاب روش‌های MCDM برای وظایف ارزیابی اراضی است.
واژه‌های کلیدی: ارزیابی رقومی تناسب اراضی، ذرت، روش پارامتریک، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره	

استناد: کاربخش راوری، الهه؛ سرمیدیان، فریدون؛ (۱۴۰۴). ارزیابی تناسب اراضی با روش مارکوس و مقایسه آن با روش پارامتریک، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.394553.669933>، ۱۸۳۸-۱۸۲۱، (۷)

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.394553.669933>

مقدمه

اهمیت تولیدات کشاورزی برای بقای جوامع انسانی بر هیچ کس پوشیده نیست اما افزایش جمعیت، گسترش شهرها و شیوه‌های نادرست زراعی منجر به تحمیل فشار زیادی به منابع طبیعی و کشاورزی شده است (Abd-Elmabod et al., 2019; Feizizadeh & Blaschke, 2013; Seyedmohammadi et al., 2019). علاوه بر این محدود شدن اراضی کشاورزی باعث نگرانی کشاورزان، به خطر افتادن تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی شده است. از این رو ارزش بالایی دستیابی به توانایی استفاده بهینه از منابع تجدید ناپذیر مانند اراضی برای گسترش اقتصادی در کنار حفظ منابع برای نسل حاضر و آینده به منظور وصول به توسعه پایدار از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (Akinci et al., 2013). تناسب اراضی تابعی از نیازمندی‌های محصول هدف و ویژگی‌های اراضی است (Mustafa et al., 2011). وجود معیارهای متعدد از جمله پارامترهای اصلی شامل خاک، اقلیم و توپوگرافی، تجزیه و تحلیل تناسب اراضی را پیچیده می‌کند (Akinci et al., 2013). به همین دلیل روش‌های تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) که از دهه ۱۹۸۰ برای تناسب اراضی به آن توجه شد (Seyedmohammadi et al., 2019)، مورد استقبال واقع شده است. از آنجایی که همه معیارهای موثر بر تناسب اراضی دارای درجه اهمیت یکسانی نیستند، از روش‌های مختلفی برای امتیازدهی به این معیارها استفاده شده است (Kilic et al., 2022; Prakash, 2003). انتخاب یک روش دقیق و مناسب برای تناسب اراضی تأثیر زیادی در مدیریت کاربری فعلی و آتی دارد (Pilevar et al., 2020). به همین دلیل یافتن روشی که بیشترین مطابقت و همخوانی را با واقعیت منطقه داشته باشد مورد توجه است. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره یک رویکرد سیستماتیک برای کمک به تصمیم‌گیرندگان در زمینه‌های مدیریت و علوم اجتماعی است که به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا در شرایط پیچیده و با وجود معیارهای متعدد، گزینه‌های مختلف را ارزیابی و انتخاب کنند. به عبارت دیگر این روش‌ها چارچوبی ارائه می‌کنند تا ارزیابی گزینه‌های مختلف از طریق اعمال کردن میزان اهمیت عوامل موثر بر آن‌ها به آسانی انجام شود (Eltarabishi et al., 2020). این رویکرد چندین عامل کیفی و کمی را در نظر می‌گیرد و علاوه بر استفاده از فرضیات ضمنی یا صریح که تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارند، اهمیت هر یک از آن‌ها را با استفاده از نظر کارشناسان و خبرگان حوزه مربوطه در فرایند تصمیم‌گیری لحاظ می‌کند (Taherdoost & Madanchian, 2023).

روش مارکوس از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چند معیاره است که در سال ۲۰۲۰ توسط Stević و همکاران ارائه شد. از آنجا که تاکنون از روش مارکوس برای ارزیابی تناسب اراضی استفاده نشده است، این پژوهش قصد دارد از این روش در ارزیابی تناسب اراضی برای محصول ذرت آبی استفاده کند و به مقایسه آن با روش پارامتریک (ریشه دوم) بپردازد. این روش به معنی سنجش و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس راه حل سازشی می‌باشد و همانند روش تاپسیس^۱ در الگوریتم خود از حالت ایده‌آل و ضد ایده‌آل استفاده می‌نماید. با این تفاوت که روش تاپسیس از فاصله تا حالت ایده‌آل استفاده می‌کند اما روش مارکوس از نسبت ایده‌آل و ضد ایده‌آل بهره می‌گیرد.

پیشینه پژوهش

مطالعات زیادی در زمینه تناسب اراضی به روش پارامتریک صورت گرفته است. موسوی و همکاران (۱۳۹۵)، موسوی و سرمیدان (۱۳۹۷)، سید محمدی و همکاران (۱۳۹۶)، سرمیدان و قوامی (۱۳۹۸)، Bagherzadeh and Gholizadeh (2016) و Azadi et al. (2023) از روش پارامتریک در زمینه تناسب اراضی استفاده کردند. مطالعاتی در زمینه ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش مارکوس صورت نگرفته و از این روش در زمینه‌های مختلف از جمله انتخاب مکان مناسب برای کاربری مورد نظر، انتخاب تامین کننده و ... استفاده شده است که در ادامه به مواردی از آن پرداخته می‌شود. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۱) به منظور پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در دشت سراب از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مارکوس استفاده کردند. مهم‌ترین معیارهای این پژوهش شامل عمق آب، کاربری اراضی و شیب تعیین شد و مناطق پرخطر و بحرانی فرونشست مشخص گردید. نقشه مستخرج از روش مارکوس با عمق سطح آب چاه‌ها همبستگی ۰/۷۷ داشته است که نشان دهنده کارایی مطلوب این روش بوده است. Karaaslan et al. (2022) برای تعیین اولویت‌های منطقه‌ای منابع انرژی تجدیدپذیر در ترکیه از روش مارکوس استفاده کردند و وزن‌دهی را با روش AHP انجام دادند سپس نتایج آن را با سایر

1. MCDM (Multiple Criteria Decision Making)

2. MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution)

3. TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)

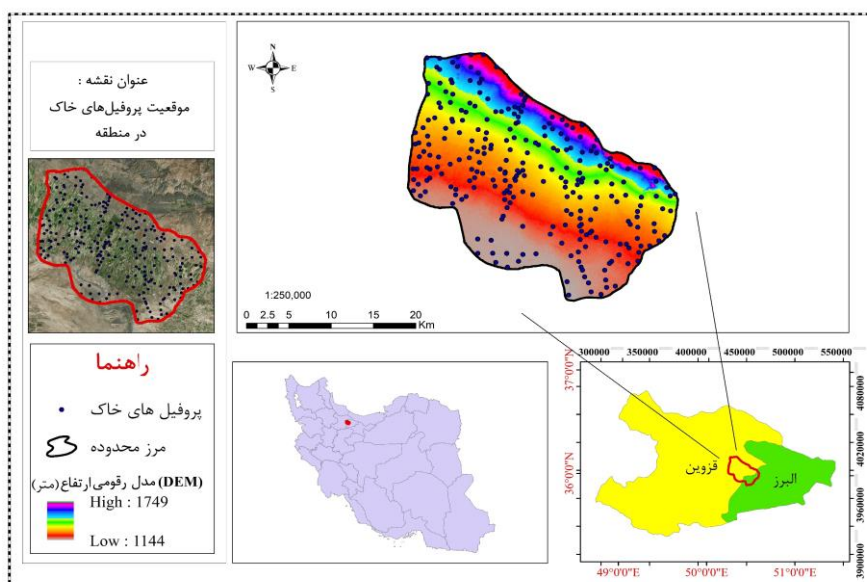
روش‌های MCDM مانند MABAC، MAIRCA و TOPSIS مقایسه کردند که نتایج مشابهی را نشان داد. Abualkashik et al. (2022) برای ارزیابی تولید کشاورزی هوشمند از روش مارکوس فازی استفاده کردند. از آنجایی که کشاورزی هوشمند گستره وسیعی از عوامل را شامل می‌شود، برای این کار باید سیستمی ایجاد شود تا زمینه‌ای مناسب برای ارزیابی و انتخاب روش‌های کشاورزی هوشمند را فراهم کند. بدین منظور شاخص ارزیابی چهار سطحی برای فناوری‌های کشاورزی هوشمند ایجاد و از روش مارکوس فازی برای تعیین شاخص برتر استفاده گردید. نتایج نشان داد این روش در یک محیط پویا پایداری بالایی داشته و می‌تواند در مجموعه داده‌های بزرگ‌تر نیز این‌گونه باشد. Badi et al. (2023) به منظور انتخاب مکان مناسب برای مزارع بادی از روش مارکوس استفاده کردند. در این تحقیق از ۶ معیار استفاده گردید و وزن‌های آن‌ها را از ترکیب روش BWM و AHP به دست آوردند. پس از اجرای مدل، بهترین مکان برای ایجاد مزارع بادی مشخص گردید. نتایج نشان داد این مدل از پایداری بالایی برخوردار بوده و پس از مقایسه نتایج آن با روش‌هایی از جمله MABAC، ARAS، EDAS، CODAS و WASPAS، رتبه برتر جایگاه خود حفظ کرده است.

روش‌شناسی پژوهش

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۵۷۱۳۲ هکتار در استان قزوین و شهرستان آبیک، حد واسط ۳۶ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی، واقع گردیده است. حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه به ترتیب ۱۷۴۹ و ۱۱۴۴ متر بوده و متوسط ارتفاع ۱۲۱۴ متر است. همچنین زمین‌شناسی منطقه عمدتاً شامل پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیمی، مارن قرمز با میان‌لایه ژئیس و نمک، ماسه سنگ، سیلتستون سبز، سنگ آهک نازک، کفه‌های سیلتی - رسی می‌باشد و کاربری اراضی شامل مرتع، زراعت دیم، زراعت آبی و باغ است.

شکل (۱) تصویر منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. تصویر منطقه مورد مطالعه

اطلاعات اقلیمی محدوده مورد مطالعه از آمار ایستگاه‌های باغ کوثر و بوبین زهرا جمع‌آوری گردید که بر اساس آن رژیم حرارتی منطقه ترمیک و رژیم رطوبتی در قسمت‌های شمالی، زریک و در قسمت‌های جنوبی اریدیک به دست آمد. براساس آمار هواشناسی ۲۲ ساله ایستگاه باغ کوثر متوسط دما و بارش سالانه به ترتیب ۱۳/۸۸ درجه سانتی‌گراد و ۲۷۸ میلی‌متر است. بر اساس آمار ۱۷ ساله ایستگاه بوبین زهرا متوسط دما و بارش سالانه به ترتیب ۱۵/۷۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های ۲۷۵ پروفیل خاک موجود در محدوده استفاده گردید که بر اساس آن خاک‌های منطقه در رده‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول و اریدی‌سول قرار دارند.

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، داده‌های هواشناسی، مدل رقومی ارتفاع (۱۲/۵ * ۱۲/۵ متر) و تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (۳۰ * ۳۰ متر) می‌باشد. روش‌های تناسب اراضی در این پژوهش از روش‌های ریشه دوم و مارکوس برای ارزیابی تناسب اراضی استفاده شد. در ابتدا معیارهای مورد استفاده با توجه به وضعیت اراضی و نیازمندی‌های محصول تعیین شده و در روش‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفتند. معیارها خصوصیتی از اراضی هستند که اثر مثبت یا منفی روی تناسب اراضی دارند. معیارهای این پژوهش شامل خصوصیات خاک (هدایت الکتریکی، قلیائیت، درصد آهک، درصد گچ، درصد سنگریزه، درصد کربن آلی) و اقلیم و نیز درصد شیب به عنوان نماینده توپوگرافی می‌باشد.

روش ریشه دوم

پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز از اراضی، درجه تناسب اراضی براساس نیازهای رویشی تیپ بهره‌وری مورد نظر تعیین شده و سپس طبقه‌بندی تناسب اراضی صورت گرفت. با توجه به میزان اثرگذاری خصوصیات مختلف اراضی در اعماق متفاوت خاک، با استفاده از ضرایب وزنی سبب، خصوصیات اراضی تصحیح گردید. سپس از مقایسه خصوصیات اراضی با جدول نیازمندی‌های محصول، درجه محدودیت خصوصیات اراضی تعیین شده و شاخص تناسب اراضی با استفاده از رابطه ذیل به دست آمد:

$$I = R_{min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله I شاخص اراضی، Rmin کم‌ترین درجه متعلق به خصوصیات اراضی و A، B و ... درجه متعلق به سایر ویژگی‌های اراضی می‌باشد. در نهایت پس از محاسبه مقدار شاخص اراضی با استفاده از نمودار ارائه شده توسط سبب و همکاران (۱۹۹۱) برای روش ریشه دوم، شاخص‌ها را تصحیح کرده و کلاس تناسب اراضی با توجه به جدول شماره (۱) تعیین گردید.

جدول ۱. طبقه بندی کلاس تناسب اراضی بر اساس شاخص اراضی در روش ریشه دوم

شرح کلاس تناسب اراضی	علامت کلاس تناسب اراضی	شاخص اراضی
کاملاً مناسب	S1	۷۵-۱۰۰
نسبتاً مناسب	S2	۵۰-۷۵
تناسب کم	S3	۲۵-۵۰
نامناسب	N	۰-۲۵

روش مارکوس

به طور کلی در ارزیابی تناسب اراضی با توجه به خصوصیات پروفیل‌های منطقه و تعیین درجه محدودیت آن‌ها، کلاس تناسب بر اساس روش‌های شناخته شده (روش ریشه دوم، محدودیت ساده یا محدودیت حداکثر) انجام می‌شود. در ارزیابی تناسب اراضی با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به ارزیابی هر پروفیل براساس خصوصیات آن و در قالب الگوریتم آن روش پرداخته می‌شود. وزن معیارها با استفاده از نظر خبرگان تعیین و در ادامه مراحل روش مارکوس اعمال خواهد شد.

گام اول: ایجاد ماتریس تصمیم

در روش مارکوس با استفاده از n معیار به ارزیابی m گزینه پرداخته می‌شود. معیارهای این ماتریس خصوصیات مربوط به اراضی (خاک، شیب و اقلیم) و گزینه‌ها، پروفیل‌های خاک هستند. به عنوان مثال درایه x_{21} تقاطع پروفیل شماره ۲ با معیار شماره ۱ می‌باشد.

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

گام دوم: تعیین ایده‌آل و ضد ایده‌آل

این گام مقادیر ایده‌آل (AI) و ضد ایده‌آل (AAI) را تعیین می‌کند که برای معیارهای با جنبه مثبت یا هر چه بیشتر بهتر (B) و برای معیارهای با جنبه منفی یا هر چه کمتر بهتر (C)، با استفاده از روابط (۲) و (۳) به دست می‌آید. به عنوان مثال معیارهایی مانند هدایت



الکتریکی و درصد آهک از نوع منفی و معیارهایی نظیر کربن آلی از نوع مثبت در نظر گرفته شدند. در ماتریس زیر C_1 ، C_2 و ... C_n معیارهای تحقیق است که مقادیر ایده‌آل و ضد ایده‌آل با توجه به مثبت یا منفی بودن آن تعیین می‌گردد. به عنوان مثال درایه x_{ai1} مقدار ایده‌آل را برای معیار اول از بین تمامی پروفیل‌ها و درایه x_{aa2} مقدار ضد ایده‌آل را برای معیار دوم از بین تمامی پروفیل‌ها مشخص می‌کند.

$$C_1 \quad C_2 \quad \dots \quad C_n$$

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} AAI \\ A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \\ AI \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{aa1} & x_{aa2} & \dots & x_{aan} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \\ x_{ai1} & x_{ai2} & \dots & x_{ain} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$AI = \max_i x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min_i x_{ij} \text{ if } j \in C \quad \text{رابطه ۲}$$

$$AAI = \min_i x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \max_i x_{ij} \text{ if } j \in C \quad \text{رابطه ۳}$$

C : جنبه منفی یا هزینه (Cost)

B : جنبه مثبت یا سود (Benefit)

AI : مقدار ایده‌آل

AAI : مقدار ضد ایده‌آل

گام سوم: نرمال‌سازی

در این گام نرمال‌سازی برای معیارهای با جنبه مثبت و منفی، از طریق روابط (۴) و (۵) انجام شد.

$$n_{ij} = \frac{x_{aj}}{x_{ij}} \text{ if } j \in C \quad \text{رابطه ۴}$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{aj}} \text{ if } j \in B \quad \text{رابطه ۵}$$

n_{ij} : ماتریس نرمال شده

x_{aj} : مقدار ایده‌آل

x_{ij} : مقدار هر درایه از ماتریس

گام چهارم: وزن‌دار کردن

برای ایجاد ماتریس وزن‌دار با استفاده از رابطه (۶)، وزن معیارها در ماتریس نرمال ضرب می‌شود. از آنجایی که روش مارکوس قادر به تعیین وزن معیارهای مورد نظر نمی‌باشد، از روش بهترین - بدترین (BWM) جهت به دست آوردن وزن معیارها و اجرای این گام استفاده گردید.

$$V_{ij} = n_{ij} \times W_j \quad \text{رابطه ۶}$$

V_{ij} : ماتریس وزن‌دار

n_{ij} : ماتریس نرمال شده

W_j : وزن هر معیار

گام پنجم: تعیین درجه مطلوبیت گزینه‌ها

در این گام درجه مطلوبیت ایده‌آل (K^+) و ضد ایده‌آل (K^-) گزینه‌ها، بر اساس روابط (۷) و (۸) محاسبه گردید.

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad \text{رابطه ۸}$$

K_i^+ : درجه مطلوبیت ایده‌آل K_i^- : درجه مطلوبیت ضد ایده‌آل S_{ai} : مقدار S_i متعلق به مقدار ایده‌آل S_i : جمع سطری هر یک از سطرهای ماتریس وزن دار S_{aai} : مقدار S_i متعلق به مقدار ضد ایده‌آل

پارامتر $S_i = (i = 1, 2, \dots, m)$ در روابط (۷) و (۸)، جمع مقادیر سطری در ماتریس وزن دار می‌باشد که از رابطه (۹) به دست می‌آید.

$$S_i = \sum_{j=1}^n V_{ij} \quad \text{رابطه ۹}$$

گام ششم: تعیین عملکرد مطلوب گزینه‌ها

در این گام پس از محاسبه عملکرد مطلوب ضد ایده‌آل ($f(K_i^-)$) و عملکرد مطلوب ایده‌آل ($f(K_i^+)$)، عملکرد مطلوب هر گزینه با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌گردد. جدول شماره (۲) مقادیر مورد نیاز جهت محاسبه عملکرد مطلوب نهایی هر گزینه را برای تعدادی از پروفیل‌ها به طور مثال ارائه کرده است.

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1 - f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1 - f(K_i^-)}{f(K_i^-)}} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

 $f(K_i^-)$: عملکرد مطلوب ضد ایده‌آل $f(K_i^+)$: عملکرد مطلوب ایده‌آل $f(K)$: عملکرد مطلوب نهایی برای هر گزینه

جدول ۲. مقادیر مورد نیاز جهت تعیین عملکرد مطلوب نهایی برای هر گزینه (پروفیل) در گام‌های روش مارکوس

پروفیل	Si	Ki ⁻	Ki ⁺	f(Ki ⁻)	f(Ki ⁺)
AAI	۰/۰۴	۱/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۹۷
۱	۰/۱۸	۵/۱۸	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۹۷
۲	۰/۲۳	۶/۳۵	۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۹۷
۳	۰/۱۷	۴/۸۵	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۹۷
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۲۷۳	۰/۳۷	۱۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۰۳	۰/۹۷
۲۷۴	۰/۲۷	۷/۶۸	۰/۲۷	۰/۰۳	۰/۹۷
۲۷۵	۰/۳۷	۱۰/۵۱	۰/۳۷	۰/۰۳	۰/۹۷
AI	۱/۰۰	۲۸/۱۳	۱/۰۰	۰/۰۳	۰/۹۷

Si : جمع سطری هر یک از سطرهای ماتریس وزن دار

Ki⁻ : درجه مطلوبیت ضد ایده‌آلKi⁺ : درجه مطلوبیت ایده‌آلf(Ki⁻) : عملکرد مطلوب ضد ایده‌آلf(Ki⁺) : عملکرد مطلوب ایده‌آل**گام هفتم: تعیین رتبه گزینه‌ها**

این گام با استفاده از مقادیر عملکرد مطلوب گزینه‌ها که از رابطه (۱۲) به دست آمد به رتبه‌بندی گزینه‌های پژوهش می‌پردازد. رتبه برتر



به گزینه‌ای تعلق خواهد داشت که بیشترین عملکرد مطلوب را داشته باشد. در روش مارکوس مقدار $f(Ki)$ نشان دهنده شاخص اراضی بوده و کلاس تناسب اراضی بر اساس جدول شماره (۱) محاسبه می‌گردد. جدول شماره (۳) به عنوان نمونه مقادیر $f(Ki)$ و کلاس تناسب اراضی به دست آمده برای تعدادی از پروفیل‌ها با روش مارکوس را نشان می‌دهد.

جدول ۳. کلاس تناسب به دست آمده براساس مقدار عملکرد مطلوب هر گزینه $f(Ki)$

پروفیل	$f(Ki)$	کلاس تناسب
۱	۰/۱۸	N
۲	۰/۲۳	N
۳	۰/۱۷	N
⋮	⋮	⋮
۲۷۳	۰/۳۷	S3
۲۷۴	۰/۳۹	S3
۲۷۵	۰/۳۷	S3

اعتبار سنجی

برای اعتبار سنجی نتایج روش‌های ریشه دوم و مارکوس، ضریب همبستگی (R^2) بین شاخص اراضی حاصل از روش‌های مذکور با عملکرد محصول به دست آمده و ارزیابی روش‌ها انجام گردید.

تهیه نقشه رقومی تناسب اراضی

نقشه‌های رقومی با ارائه اطلاعات مکانی تناسب اراضی نقش مهمی در تصمیمات مدیریتی ایفا کرده و برای استفاده کشاورزان و بهره‌برداران کاربردی است. برای تولید نقشه‌های رقومی تناسب اراضی از خصوصیات خاک به عنوان متغیر مستقل و کلاس تناسب اراضی به عنوان متغیر وابسته استفاده گردید.

متغیرهای محیطی مورد نیاز از مدل رقومی ارتفاع ($۱۲/۵ * ۱۲/۵$ متر) و میانگین تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 ($۳۰ * ۳۰$ متر) به ترتیب با استفاده از نرم افزار Saga و Erdas Imagine استخراج گردید. پس از آن تمامی متغیرها به ابعاد $۳۰ * ۳۰$ متر تبدیل شده و برای ورود به مدل مورد استفاده قرار گرفتند.

جهت تهیه نقشه رقومی تناسب اراضی برای هر پروفیل دارای کلاس تناسب اراضی، اطلاعات متغیرهای محیطی استخراج گردیده و در قالب فایل اکسل به عنوان ورودی مدل جنگل تصادفی در نرم‌افزار Rstudio مورد استفاده قرار گرفت. از ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش مدل و از ۳۰ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

جدول ۴. متغیرهای محیطی مورد استفاده

نام متغیر محیطی	معادل متغیر محیطی
شاخص بازتابنده سطح	Diffuse insolation
مدل رقومی ارتفاع	Digital Elevation Model (DEM)
شاخص همواری کف دره با درجه همواری کف دره	Multi Resolution index of Valley Bottom Flatness (MRVBF)
ارتفاع استاندارد	Standardized height
شاخص خیزی توپوگرافیک	TopographicWetness Index (TWI)
شاخص عمق دره	Valley Depth
شاخص پوشش گیاهی نرمال شده	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
شاخص اثر باد	Wind Effect

یافته‌های پژوهش

جدول شماره (۵) خلاصه آماری خصوصیات خاک را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانطور که در جدول مشخص است، مقدار هدایت الکتریکی و قلیائیت در منطقه تغییرات زیادی دارد.

جدول ۵. خلاصه آماری خصوصیات خاک منطقه

انحراف استاندارد	حداقل	حداکثر	میانگین	آماره خصوصیات خاک
۴/۱۸	۰/۱۴	۲۶/۷۴	۱/۳۹	درصد گچ
۸/۸۸	۰/۴۲	۴۷/۳۲	۱۵/۰۳	درصد آهک
۱۲/۵۰	۰/۱۵	۷۰/۸۳	۵/۵۲	درصد سنگریزه
۱۶/۷۲	۰/۱۸	۱۵۲/۶۲	۵/۹۸	هدایت الکتریکی
۲۵/۴۵	۰/۱۲	۱۵۱/۸۶	۱۱/۵۷	SAR
۰/۵۵	۰/۱۷	۴/۳۰	۰/۹۰	درصد کربن آلی

نتایج وزن دهی به معیارها

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، وزن دهی معیارها با روش بهترین - بدترین برای اجرای گام چهارم روش مارکوس انجام شد. جدول شماره (۶) نتایج وزن دهی به معیارها را براساس نظر ۵ خبره ارائه می‌دهد. طبق جدول زیر معیار هدایت الکتریکی دارای بیشترین اهمیت و معیار اقلیم دارای کم‌ترین اهمیت می‌باشد.

جدول ۶. وزن به دست آمده از روش BWM بر اساس نظرات ۵ خبره

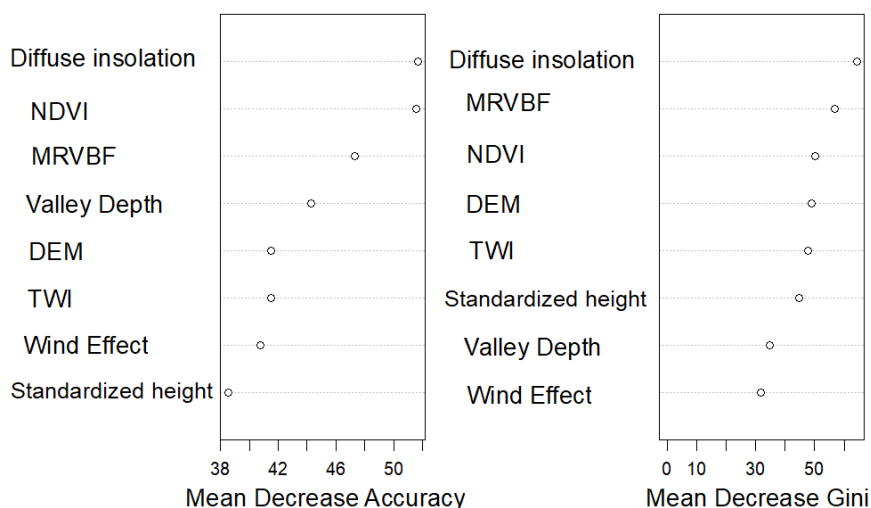
وزن معیار	معیار
۰/۲۶	هدایت الکتریکی
۰/۲۱	قلیائیت
۰/۱۴	آهک
۰/۱۲	گچ
۰/۰۹	سنگریزه
۰/۰۸	شیب
۰/۰۷	کربن آلی
۰/۰۳	اقلیم

تناسب اراضی به روش ریشه دوم

در روش ریشه دوم از ۵۷۱۳۲ هکتار مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۵۲۴۲/۷ هکتار در کلاس بسیار مناسب، ۲۴۰۵۴/۲ هکتار در کلاس نسبتاً مناسب، ۷۹۹۲/۱۶ هکتار در کلاس تناسب کم و ۹۸۴۲/۹۴ هکتار در کلاس نامناسب قرار دارد. در این روش، قسمت عمده اراضی شامل ۱۵۲۴۲/۷ هکتار معادل ۲۶/۶۷ درصد از منطقه دارای تناسب S1 برای محصول ذرت آبی می‌باشد. جدول (۷) کلاس تناسب اراضی به دست آمده با این روش را ارائه کرده است. همچنین شکل (۲) میزان اهمیت متغیرهای محیطی را در روند مدل‌سازی تناسب اراضی نشان می‌دهد.

جدول ۷. کلاس تناسب اراضی به روش ریشه دوم

کلاس تناسب اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
S1	۱۵۲۴۲/۷	۲۶/۶۷
S2	۲۴۰۵۴/۲	۴۲/۱۰
S3	۷۹۹۲/۱۶	۱۳/۹۸
N	۹۸۴۲/۹۴	۱۷/۲۲
مجموع	۵۷۱۳۲	۱۰۰



شکل ۲. اهمیت متغیرهای محیطی در روند مدل‌سازی کلاس تناسب اراضی با روش ریشه دوم

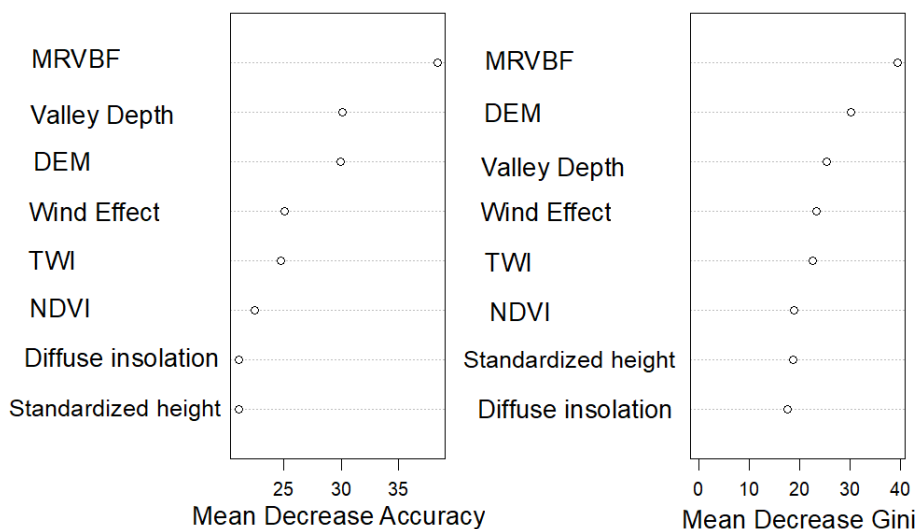
بر اساس شکل (۲) مهم‌ترین متغیرها در روند مدل‌سازی با استفاده از روش ریشه دوم تابش پخشیده، NDVI و شاخص همواری کف دره می‌باشند.

کلاس تناسب اراضی به روش ماکوس

روش ماکوس قادر به جداسازی کلاس بسیار مناسب نبوده است. بر اساس این روش ۱۸۴ هکتار از اراضی در کلاس نسبتاً مناسب، ۴۰۹۸۹/۳۱ هکتار در کلاس تناسب کم و ۱۵۹۵۸/۶۹ هکتار در کلاس نامناسب قرار دارد. جدول شماره (۸) کلاس تناسب اراضی به روش ماکوس را برای محصول ذرت ارائه کرده است. همچنین شکل (۳) میزان اهمیت متغیرهای محیطی را در روند مدل‌سازی تناسب اراضی نشان می‌دهد.

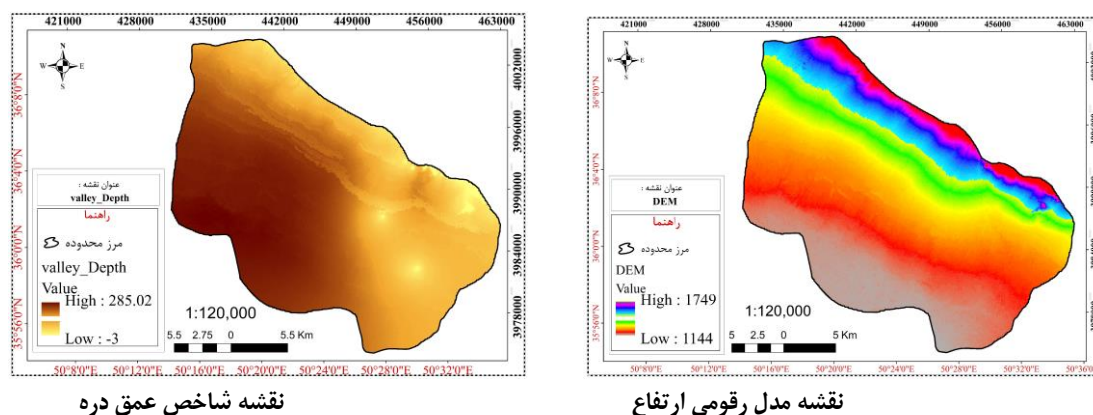
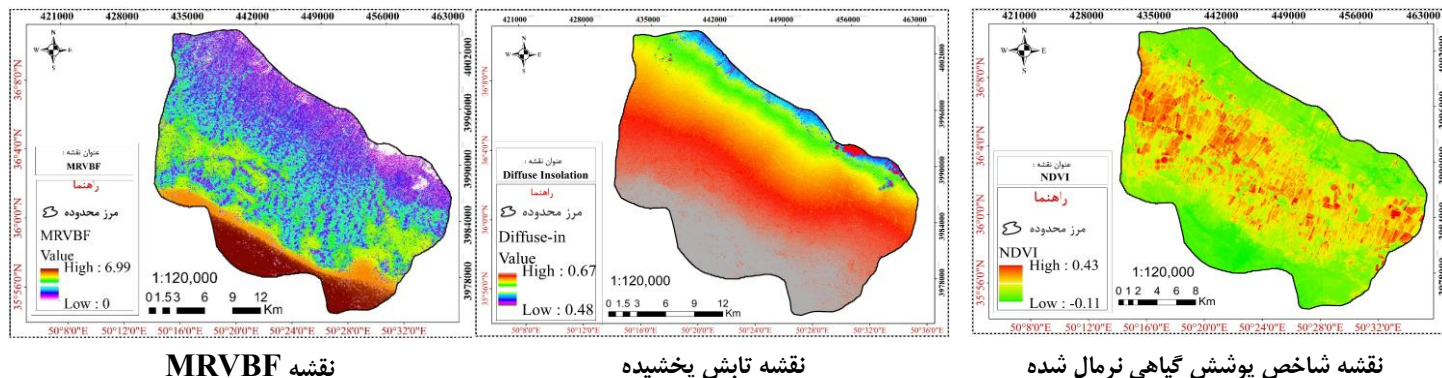
جدول ۸. کلاس تناسب اراضی به روش ماکوس

کلاس تناسب	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
S1	-	-
S2	۱۸۴	۰/۳۲
S3	۴۰۹۸۹/۳۱	۷۱/۷۴
N	۱۵۹۵۸/۶۹	۲۷/۹۳
مجموع	۵۷۱۳۲	۱۰۰



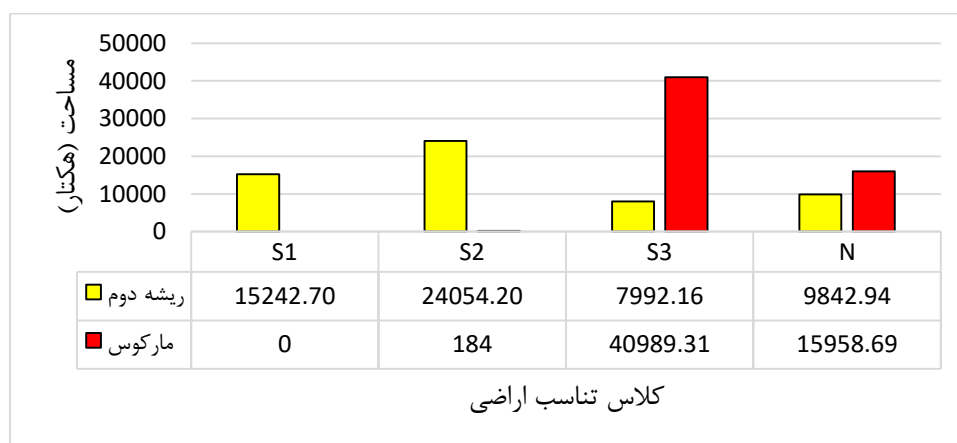
شکل ۳. اهمیت متغیرهای محیطی در روند مدل‌سازی کلاس تناسب اراضی با روش ماکوس

بر اساس شکل (۳) مهم‌ترین متغیرها در روند مدل‌سازی با استفاده از روش مارکوس شاخص همواری کف دره، شاخص عمق دره و مدل رقومی ارتفاع می‌باشند. شکل (۴) وضعیت تغییرات متغیرها را در منطقه نشان می‌دهد.



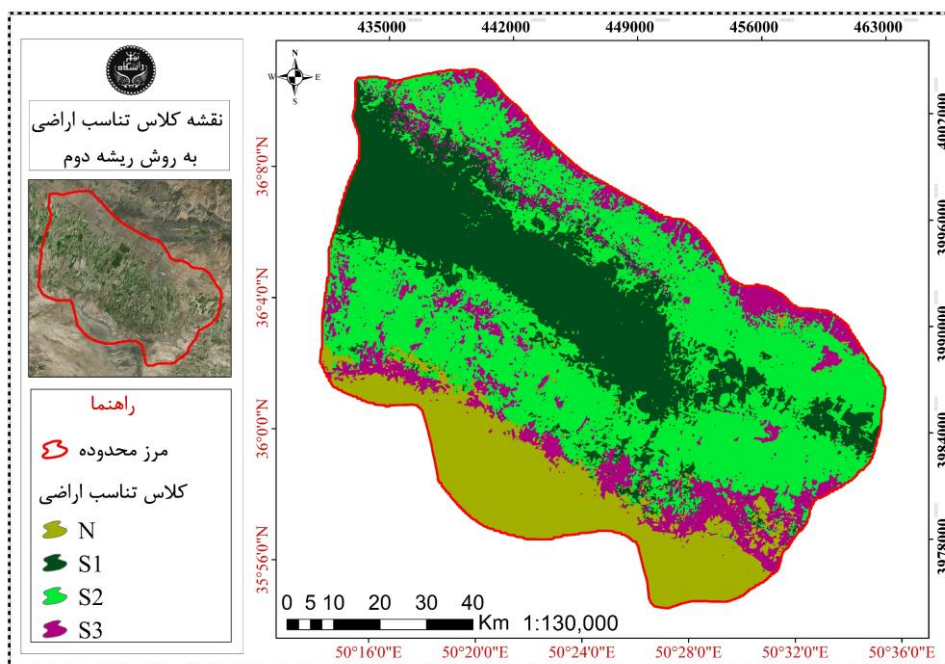
شکل ۴. نقشه متغیرهای محیطی استفاده شده در تهیه نقشه رقومی تناسب اراضی

نقشه‌های رقومی کلاس تناسب اراضی برای روش ریشه دوم با ضریب کاپای ۰/۸۴ و دقت کلی ۰/۸۷ و برای روش مارکوس با ضریب کاپای ۰/۶۰ و دقت کلی ۰/۷۶ تهیه شد که در ادامه ارائه گردیده است. محدودیت‌های اراضی در قسمت‌های شمالی مربوط به سنگریزه و خصوصیات خاک و در قسمت‌های جنوبی منطقه، شوری و قلیائیت بالا می‌باشد. در شکل (۵) مساحت‌های اختصاص داده شده به کلاس‌های تناسب اراضی در هر روش به صورت نمودار ستونی نمایش داده شده است.

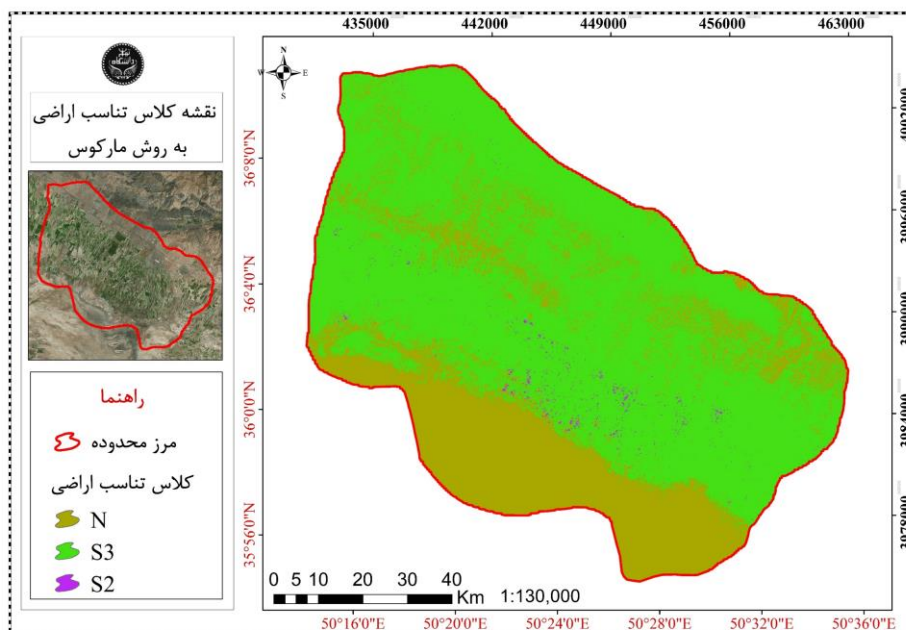


شکل ۵. مقایسه مساحت کلاس‌های تناسب اراضی در روش‌های مارکوس و ریشه دوم

همانطور که از اشکال (۳) و (۴) مشخص است، شاخص همواری کف دره با درجه تفکیک متعدد (MRVBF) در روند مدل سازی هر دو ریشه دوم و مارکوس، جزء شاخص های با اهمیت بوده است. این شاخص رسوب گذاری را در قسمت های مختلف منطقه نشان می دهد. مقادیر بالاتر این شاخص نشان دهنده رسوب گذاری بیشتر و مقادیر پایین تر نشان دهنده رسوب گذاری کمتر می باشد. در بخش های شمالی منطقه رسوب گذاری کمتر و اندازه رسوبات بزرگ تر و در قسمت های جنوبی منطقه رسوب گذاری بیشتر و اندازه رسوبات ریز تر بوده و در تولید نقشه های تناسب اراضی ارائه شده (شکل ۶ و ۷)، اهمیت بالایی داشته است.



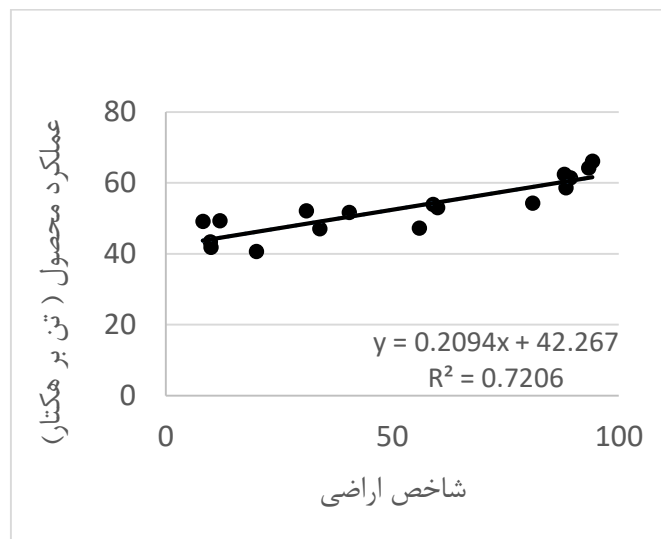
شکل ۶. نقشه تناسب اراضی برای محصول ذرت آبی به روش ریشه دوم



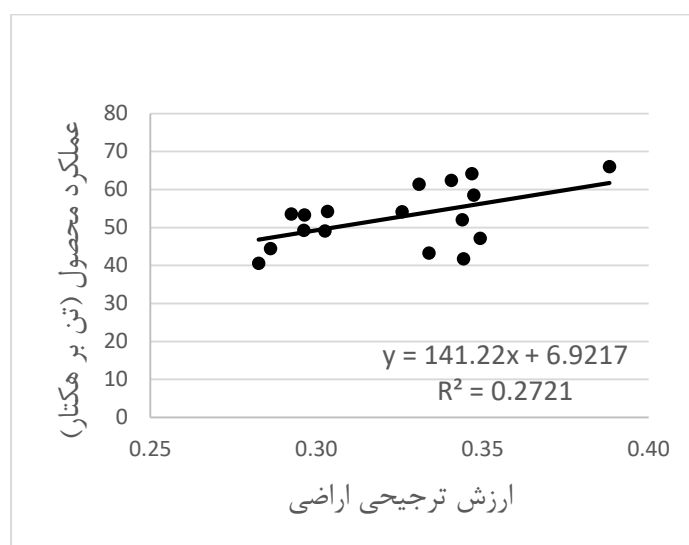
شکل ۷. نقشه تناسب اراضی برای محصول ذرت آبی به روش مارکوس

به منظور اعتبارسنجی روش های مورد استفاده، از ضریب همبستگی بین شاخص اراضی و یا ارزش ترجیحی به دست آمده از

روش‌های ریشه دوم و مارکوس و عملکرد محصول استفاده گردید. لازم به ذکر است در این پژوهش از عملکرد محصول موجود در مطالعات سابق که در این منطقه برای محصول ذرت آبی به دست آمده بود، استفاده شد. شکل (۸) و (۹) ضریب همبستگی را در روش‌های مورد استفاده نشان می‌دهد.



شکل ۸. نمودار عملکرد محصول و شاخص اراضی به روش ریشه دوم



شکل ۹. نمودار عملکرد محصول و ارزش ترجیحی به روش مارکوس

بحث

روش ریشه دوم که از روش‌های معمول تناسب اراضی می‌باشد، با ضریب همبستگی $0/72$ در ارزیابی تناسب اراضی موفق عمل کرده است اما روش مارکوس با توجه به ضریب همبستگی $0/27$ ارزیابی تناسب اراضی را به صورت مطلوبی انجام نداده و حتی قادر به جداسازی کلاس تناسب بسیار مناسب نیز نبوده است.

روش مارکوس در الگوریتم خود از حالت ایده‌آل و ضد ایده‌آل بهره می‌گیرد بنابراین مقادیر معیارهای دارای وزن بالاتر، تاثیر به‌سزایی در نتیجه داشته است. در قسمت‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه، میزان شوری و قلیائیت خاک‌ها به دلیل قرار داشتن در اراضی پست و سطح بالای آب زیرزمینی، با اختلاف زیادی نسبت به سایر بخش‌های منطقه بیشتر می‌باشد. از آنجایی که معیارهای هدایت الکتریکی و قلیائیت با توجه به وضعیت خاک‌های منطقه و نظر خبرگان به ترتیب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند، پروفیل‌هایی که دارای

بیشترین شوری و قلیائیت بوده است به عنوان حالت ضد ایده آل و دارای کلاس تناسب نامناسب (N) قرار گرفته است. به عبارتی می توان گفت روش مارکوس با تمرکز بر روی با اهمیت ترین معیارها که در این مطالعه هدایت الکتریکی و قلیائیت می باشد تناسب اراضی را انجام داده و همانطور که در نقشه تناسب اراضی به روش مارکوس مشاهده می شود این روش منطقه را به دو بخش عمده نامناسب و تناسب کم تقسیم کرده است. بنابراین این روش از بازه تغییرات داده ها تاثیر پذیر بوده است. از نزدیک ترین کاربردهای روش مارکوس در علوم مرتبط با منابع طبیعی، می توان به پژوهش انجام شده توسط اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۱) اشاره کرد که از این روش جهت پهنه بندی خطر فرونشست استفاده شده و نقشه حاصل با سطح آب های زیرزمینی همبستگی ۰/۷۷ داشته است. در پژوهش ایشان در گام نرمال سازی ماتریس تصمیم، از توابع عضویت فازی استفاده شده است در صورتی که در پژوهش حاضر تمامی گام ها از جمله نرمال سازی ماتریس تصمیم، طبق الگوریتم متعلق به روش مارکوس انجام شد و نتایج مورد انتظار واقع نگردید.

روش ریشه دوم با توجه به بررسی هر پروفیل به طور مستقل، تناسب اراضی را به طور مطلوب انجام داده است. سرمیدان و قوامی (۱۳۹۸) در ارزیابی تناسب اراضی برای ذرت آبی از روش های ریشه دوم، استوری و روش تصمیم گیری چندمعیاره تاپسیس استفاده کردند که روش ریشه دوم با ضریب همبستگی ۰/۷۸ نسبت به دو روش دیگر برتری داشت. معیارهای استفاده شده این تحقیق شامل شیب، اقلیم، سنگریزه، آهک، گچ، ماده آلی، هدایت الکتریکی و قلیائیت بوده است.

Bagherzadeh and Gholizadeh (2016) جهت ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی از روش ریشه دوم و روش تصمیم گیری چندمعیاره تاپسیس استفاده کردند که ضریب همبستگی بالای روش ریشه دوم (۰/۹۴) دقت بالاتر این روش را نشان داد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

با توجه به روش های متفاوت ارزیابی تناسب اراضی یکی از چالش های موجود در این زمینه داشتن حداکثر همخوانی نتایج با واقعیت منطقه است. در این پژوهش به مقایسه دو روش ریشه دوم و مارکوس در ارزیابی تناسب اراضی برای محصول ذرت پرداخته شد. روش ریشه دوم یک روش شناخته شده در زمینه ارزیابی تناسب اراضی می باشد که ضریب همبستگی ۰/۷۲ با عملکرد محصول، دقت قابل قبول این روش را تایید می کند. روش مارکوس از روش های تصمیم گیری چندمعیاره است. تفاوت اصلی روش های تصمیم گیری چندمعیاره در اجرای الگوریتم هاست. این روش در ارزیابی تناسب اراضی موفق عمل نکرده است و با توجه به مهم ترین معیارها که در این پژوهش هدایت الکتریکی و قلیائیت می باشد، قسمت هایی از منطقه با هدایت الکتریکی و قلیائیت بالا را در کلاس نامناسب و بخش عمده دیگر آن را در کلاس تناسب کم قرار داده است. بنابراین تناسب اراضی با این روش می تواند با تغییر سایر داده ها تغییر کند؛ به این معنا که تناسب اراضی برای یک پروفیل، متاثر از تغییر دامنه داده های منطقه خواهد بود.

بر اساس روش ریشه دوم ۲۶/۶۷ درصد از اراضی در کلاس تناسب S1، ۴۲/۱۰ درصد در کلاس تناسب S2، ۱۳/۹۸ درصد در کلاس تناسب S3 و ۱۷/۲۲ درصد از اراضی در کلاس تناسب N و بر اساس روش مارکوس ۰/۳۲ درصد در کلاس تناسب S2، ۷۱/۷۴ درصد در کلاس تناسب S3 و ۲۷/۹۳ درصد از اراضی در کلاس تناسب N قرار گرفتند. طبق نتایج این پژوهش روش ریشه دوم با ضریب همبستگی ۰/۷۲ کلاس تناسب اراضی را با دقت قابل قبول انجام داده است. در پژوهش های آتی می توان به مقایسه روش پارامتریک با دیگر روش های تصمیم گیری چندمعیاره و نیز بررسی اثر تعداد گزینه ها و بازه تغییرات معیارها بر نتایج روش ها و همچنین استفاده از سایر روش های استاندارد سازی و وزن دهی برای پیاده سازی روش های تصمیم گیری چندمعیاره پرداخت.

"هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- سرمیدان، فریدون و قوامی، محمد سجاد (۱۳۹۸). ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش TOPSIS و مقایسه آن با روش های پارامتریک برای محصول ذرت در بخشی از اراضی قزوین. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۰ (۹)، ۲۲۷۵-۲۲۸۷.
- سیدمحمدی، جواد؛ جعفرزاده، علی اصغر؛ سرمیدان، فریدون؛ شهبازی، فرزین و قربانی، محمدعلی (۱۳۹۶). مقایسه کارایی روش های TOPSIS، AHP و ریشه دوم در تعیین اولویت کشت گندم، جو و ذرت تحت آبیاری بارانی در دشت مغان. *دانش آب و خاک*، ۲۷ (۲)، ۴۵-۵۹.
- صیاد اصغری سراسکانرود، الناز پیروزی، لیلا آقایی (۱۴۰۱). پهنه بندی گستره خطر فرونشست زمین در دشت سراب با بهره گیری از الگوریتم های تحلیل چند معیاره MARCOS و CODAS. *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۱ (۴۴)، ۱۴۹-۱۷۲.

موسوی، سید امین؛ سرمیدان، فریدون و طاعتی، عباس (۱۳۹۵). مقایسه روش فائو و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای ارزیابی تناسب اراضی برای گندم دیم در منطقه کوهین. *پژوهش‌های خاک*، ۳۰(۴)، ۳۶۷-۳۷۷.

موسوی، سید امین؛ سرمیدان، فریدون و طاعتی، عباس (۱۳۹۷). ارزیابی تناسب اراضی برای جو دیم با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و GIS در بخشی از کوهین، *دانش خاک و گیاه*، ۲۸(۲)، ۱۷۹-۱۹۲.

REFERENCE

- Abd-Elmabod, S. K., Fitch, A. C., Zhang, Z., Ali, R. R., & Jones, L. (2019). Rapid urbanisation threatens fertile agricultural land and soil carbon in the Nile delta. *Journal of environmental management*, 252, 109668.
- Abuolkishik, A. Z., Almajed, R., & Thompson, W. (2022). Evaluating Smart Agricultural Production Efficiency using Fuzzy MARCOS method. *J. Neutrosophic Fuzzy Syst*, 3, 8-18.
- Akıncı, H., Özalp, A. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and electronics in agriculture*, 97, 71-82.
- Azadi, A., Jalali, S. A. S., & Navidi, M. N. (2023). Assessment of land suitability for sugarcane cultivation using TOPSIS and parametric methods in Southwestern Iran. *Eurasian Soil Science*, 56(6), 818-829.
- Badi, I., Pamučar, D., Stević, Ž., & Muhammad, L. J. (2023). Wind farm site selection using BWM-AHP-MARCOS method: A case study of Libya. *Scientific African*, 19, e01511.
- Bagherzadeh, A., & Gholizadeh, A. (2016). Modeling land suitability evaluation for wheat production by parametric and TOPSIS approaches using GIS, northeast of Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, 1-11.
- Eltarabishi, F., Omar, O. H., Alsayouf, I., & Bettayeb, M. (2020). Multi-criteria decision making methods and their applications. In *Proceedings of the international conference on industrial engineering and operations management*. Dubai: UAE.
- Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013). Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(1), 1-23.
- Karaaslan, A., Adar, T., & Delice, E. K. (2022). Regional evaluation of renewable energy sources in Turkey by new integrated AHP-MARCOS methodology: a real application. *International Journal of Sustainable Energy*, 41(2), 103-125.
- Kilic, O. M., Ersayın, K., Gunal, H., Khalofah, A., & Alsubeie, M. S. (2022). Combination of fuzzy-AHP and GIS techniques in land suitability assessment for wheat (*Triticum aestivum*) cultivation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2634-2644.
- Mousavi, S. A., Sarmadian, F., & Taati, A. (2017). Comparison of AHP and FAO Methods for Land Suitability Evaluation of Rainfed Wheat in Kuhin Area. *Iranian Journal of Soil Research*, 30(4), 367-377. (In Persian).
- Mousavi, S. A., Sarmadian, F., & Taati, A. (2018). Land Suitability Evaluation of Rainfed Barley Using Analytical Hierarchy Process Technique and GIS in a Part of Kuhin Area. *Water and Soil Science*, 28(2), 179-192. (In Persian).
- Mustafa, A. A., Singh, M., Sahoo, R. N., Ahmed, N., Khanna, M., Sarangi, A., & 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.
- 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.
- Prakash, T. N. (2003, December). Land suitability analysis for agricultural crops: a fuzzy multicriteria decision making approach. Kolkata, West Bengal: ITC.
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130.
- Sarmadian, F. and GHavami, M. J. (2020). Land Suitability Evaluation Using TOPSIS Method and Its Comparison with Parametric Methods for Maize Production in Part of Qazvin. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(9), 2275-2287. (In Persian).
- Sayyad Asghari Saraskanrood, Elnaz Pirooz, Leila Aghayary (2023). Land Subsidence Risk Zoning in Sarab Plain, using MARCOS and CODAS Multi-Criteria Analysis Algorithms. *Journal of Geography and*



Environmental Hazards, 11(44), 149-172. (In Persian).

- Seyedmohammadi, J., & Shahbazi, F. (2017). Comparing the efficiency of TOPSIS, AHP and square root methods in cultivation priority determination for wheat, barley and maize under sprinkler irrigation in Dasht-e-Moghan. *Water and Soil Science*, 27(2), 45-59. (In Persian).
- Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A. A., & McDowell, R. W. (2019). Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. *Geoderma*, 352, 80-95.
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS). *Computers & industrial engineering*, 140, 106231.
- Sys, C., Van Ranst, E., & Debaveye, J. (1991). Land evaluation part I, principles in land evaluation and crop production Publication.
- Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77-87.