



Research Article

The Role of Climate Change in Qualitative and Quantitative Land Suitability for Selected Oilseeds in Bonab and Maragheh Counties

Zahra Sedaghi-Nezamabad¹, Aliasghar Jafarzadeh², Hossein Rezaei³

1-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

E-mail: zahrasedaghi@yahoo.com

2-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

E-mail: ajafarzadeh@tabrizu.ac.ir

3-Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

E-mail: hosseinrezaei@tabrizu.ac.ir

Received: May 13, 2026

Revised: June 8, 2026

Accepted: June 10, 2026

Published: August 16, 2026

Extended Abstract

Background and Objectives

Nowadays, the maintenance of food security is one of the most critical issues facing human societies. Climate change poses a significant risk to the agricultural sector, threatening the food security of human communities. Consequently, assessing the climatic conditions of lands constitutes a constructive scientific measure within the planning process for optimal land use. In recent decades, the production of oilseeds, alongside other agricultural crops, has been increasingly threatened by climate change. Therefore, it is imperative to implement appropriate measures to safeguard oilseed production, as with other agricultural products, in order to address this threat. One scientific and practical strategy for adapting to climate change is the evaluation of climatic suitability, which aids in proposing an optimal cropping pattern. The present study aims to contribute to the sustainable production of oilseeds—specifically sunflower, soybean, rapeseed, sesame, and safflower—under changing climatic conditions by examining the trend of changes in land climate suitability within the counties of Bonab and Maragheh from the 1990s to the 2010s.

Materials and Methods

This research work was completed based on climatic data extracted from synoptic meteorological stations located within the study area, encompassing the Bonab and Maragheh counties in East Azerbaijan province. Using geographical positions of the meteorological stations within the study area, climatic zones were delineated using the Thiessen polygon method. Evaluation of climatic suitability was conducted using both qualitative and quantitative methods for the three decades (the 1990s, 2000s, and 2010s) based on the climatic requirements of the target crops. These requirements included total rainfall and average temperature over the growing period, as well as during the vegetative, flowering, and maturation stages, in addition to the average daily minimum and maximum temperatures of the coldest month. Since the study focused exclusively on irrigated cultivation, only temperature-related climatic requirements were considered for the climatic suitability evaluation. The qualitative climatic suitability evaluation was completed using the square root parametric method, while the quantitative evaluation employed the FAO model through the calculation of potential yield. Finally, based on the climatic suitability classes determined for the studied crop types over the different decades, relevant maps were generated using ArcMap 10.3, and final discussions and management implications were derived from the output maps. Furthermore, statistical comparisons of the quantitative land suitability evaluation results were conducted using Duncan's multiple range test at a 5% probability level in SPSS 26.

Results

Throughout the study area, four land units were identified based on the allocation of a zone to each station according to the Thiessen method. An overview of the climatic statistics from the stations in the study area indicates a general trend of decreasing precipitation and increasing temperature over time. Based on the qualitative land suitability evaluation, for all three decades under review in the study area, the climatic suitability class for sunflower, soybean, sesame, and safflower was highly suitable (S1), while for rapeseed it was unsuitable (N). Although climatic conditions have changed over time—becoming more favorable for safflower, sesame, and rapeseed, and less favorable for soybean and sunflower—these changes were not sufficient to change the climatic suitability class. The results of the impact of climate change on the suitability of land utilization types, as evaluated

by the quantitative method-summarized through statistical analyses the potential of land utilization types yields in the study area-indicated a significant effect of climate change on land climate suitability over time. Based on potential yield, it can be concluded that except for rapeseed and soybean, for which the 2010s and the 1990s, were the optimal periods in terms of climatic suitability respectively, the 2000s provided the most favorable climatic suitability conditions for the other utilization types. Beyond noting the trend of climate change's impact on potential yield, the slope of its temporal variation reveals that rapeseed is the most affected by climatic changes, while sesame is the least affected.

Conclusions

The different climatic rating and varying potential yield for different utilization types demonstrated their differing climatic requirements, a finding that can serve as a foundation for designing an optimal cropping pattern in the study area. Furthermore, the temporal slope of climate rating and potential yield, indicating the degree of susceptibility of each utilization type to climate change, may offer an additional strategy to inform cropping pattern design aimed at adapting to climate change with minimal damage. The summary of the climatic evaluation in this study demonstrated that rapeseed falls into the unsuitable (N) climatic class and exhibits the steepest slope in potential yield variation. Therefore, it is recommended that this crop not be included in the portfolio of utilization types cultivated in the region. Although, under the predefined assumptions of climate change concerning its negative consequences for agriculture, a decline in land climatic suitability was anticipated for all utilization type over time, instances of improved climatic suitability were observed. This indicates that, when summarizing the impact of climate change on utilization type suitability, all climatic factors involved in the growth of the respective plant must always be considered. Another factor that may challenge the hypothesis of a purely negative effect of climate change on agricultural crop suitability is the recognition that a negative trend in one climatic factor among a plant's climatic requirements may sometimes lead to improved conditions with respect to other parameters. Hence, in such studies, the combined effect of climatic factors and their interactions should determine the net effect of climate change on climatic suitability for agricultural crops. Although the qualitative climatic suitability evaluation could not clearly demonstrate the role of climate change in this study due to the absence of a change in suitability class despite shifting climatic conditions over time, the quantitative evaluation provided a more precise perspective by enabling statistical comparison of climate-influenced potential yield over time. Therefore, it is recommended that qualitative and quantitative land suitability evaluation always be conducted in tandem, so that each method, leveraging its respective capabilities, can compensate for the shortcomings of the other in final conclusions aimed at low-cost, low-risk managerial decision-making.

Keywords: Agro-ecological zoning, Climatic requirement, Cultivation pattern, Food security, Land suitability evaluation

Author Contributions

Conceptualization and methodology, Jafarzadeh, A.A. and Rezaei, H; Performing experiments and measurements, Sedaghi-Nezamabad, Z. and Rezaei, H.; formal analysis and data curation, Jafarzadeh, A.A. and Rezaei, H.; writing-original draft preparation, Sedaghi-Nezamabad, Z. and Rezaei, H.; writing- review and editing, Jafarzadeh, A.A. and Rezaei, H.; supervision, Jafarzadeh, A.A.; project administration, Jafarzadeh, A.A. and Rezaei, H.; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

This paper is published as a part of a M.Sc. thesis supported by the Vice Chancellor for Research and Technology of the University of Tabriz, Tabriz, Iran. The authors are thankful to the University of Tabriz for financial supports.

Ethical considerations

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Cite this article: Sedaghi-Nezamabad, Z., Jafarzadeh, A.A., & Rezaei, H. (2026). The role of climate change in qualitative and quantitative land suitability for selected oilseeds in Bonab and Maragheh counties. *Journal of Soil and Plant Science*, 36(3), 1-15.

<https://doi.org/10.22034/sps.2026.72417.1039>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Copyright © 2026 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz

OPEN  ACCESS
JOURNALS



مقاله پژوهشی

نقش تغییر اقلیم در تناسب کیفی و کمی اراضی شهرستان‌های بناب و مراغه برای دانه‌های روغنی منتخب

زهرا صدیقی نظام‌آباد^۱، علی اصغر جعفرزاده^۲، حسین رضائی^۳

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: zahrasedaghi@yahoo.com

۲- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: ajafarzadeh@tabrizu.ac.ir

۳- نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

رایانامه: hosseinrezaei@tabrizu.ac.ir

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰

چکیده

تغییر اقلیم از مخاطرات بخش کشاورزی است که امنیت غذایی جوامع بشری را تهدید می‌کند. پژوهش حاضر با بررسی روند تغییر تناسب اقلیمی اراضی شهرستان‌های بناب و مراغه برای دانه‌های روغنی آفتابگردان، سویا، کلزا، کنجد و گلرنگ طی دهه‌های ۷۰ تا ۹۰ شمسی سعی دارد گامی در راستای تولید پایدار این محصولات در بستر تغییر اقلیم بردارد. برای این کار، بر اساس موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه، جداسازی پهنه‌های اقلیمی با روش تیسن انجام شد. ارزیابی تناسب اقلیمی محصولات هدف برای دهه‌های ۷۰، ۸۰ و ۹۰ شمسی طبق روش‌های کیفی پارامتریک ریشه دوم و کمی پهنه‌بندی زراعی-اکولوژیکی در هر واحد اقلیمی انجام گردید. ترسیم نقشه‌های خروجی و مقایسه‌های آماری بر اساس نتایج روش‌های تناسب اراضی به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای Arc Map 10.3 و SPSS 26 انجام شد. بر اساس روش ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای هر سه دهه و هر دو منطقه مورد بررسی، کلاس تناسب اقلیمی برای آفتابگردان، سویا، کنجد و گلرنگ وضعیت خیلی مناسب (S1) و برای کلزا نامناسب (N) بود. نتایج ارزیابی کمی تناسب اراضی بر مبنای مقادیر تولید پتانسیل، تأثیر معنادار تغییر اقلیم بر تناسب اقلیمی را نشان داد. همچنین، برای کلزا و سویا دهه‌های ۹۰ و ۷۰ و برای سایر تیپ‌های بهره‌وری دهه ۸۰ بهترین تناسب اقلیمی را داشتند. تغییر اقلیم با توجه به نیازهای اقلیمی متفاوت انواع تیپ‌های بهره‌وری و شرایط کشت آن‌ها اثرات معنادار منفی و گاه مثبت بر تناسب اقلیمی دانه‌های روغنی در محدوده مورد مطالعه داشت. تلفیق نتایج ارزیابی کیفی و کمی تناسب اقلیمی، در معرفی الگوی کشت مناسب برای هر منطقه به تصمیم‌گیران بخش کشاورزی کمک خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی تناسب اراضی، الگوی کشت، امنیت غذایی، پهنه‌بندی زراعی-اکولوژیکی، نیاز اقلیمی.

استناد به این مقاله: صدیقی نظام‌آباد، ز.، جعفرزاده، ع.ا. و رضائی، ح. (۱۴۰۵). نقش تغییر اقلیم در تناسب کیفی و کمی اراضی شهرستان‌های بناب و مراغه برای دانه‌های روغنی منتخب. نشریه دانش خاک و گیاه، ۳۶(۳)، ۱-۱۵.

<https://doi.org/10.22034/sps.2026.72417.1039>

مقدمه

امروزه با توجه به افزایش روزافزون جمعیت، یکی از مهم‌ترین مسائل پیش‌روی جوامع بشری امنیت غذایی و بهداشتی است (Pozza & Field, 2020). با روند فعلی افزایش جمعیت برای حفظ امنیت غذایی، تولید جهانی محصولات کشاورزی بایستی از سطوح فعلی افزایش یابد. از جمله عوامل محیطی که مسیر مذکور مختل نموده و بر توسعه پایدار تولیدات کشاورزی تأثیر داشته‌است، تغییر اقلیم است (Eekhout & de Vente, 2022; Wu *et al.*, 2023). اقلیم به‌عنوان یکی از اجزای اصلی اراضی نقش مهمی در قابلیت تولید اراضی دارد به‌نحوی که گزارش شده‌است که تغییر اقلیم هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت بر تولید محصولات کشاورزی تأثیر معناداری دارد (Haji-rahimi *et al.*, 2024). از این‌رو سنجش وضعیت اقلیم اراضی از جمله اقدامات علمی سازنده طی فرایند برنامه‌ریزی استفاده بهینه از اراضی می‌باشد که نقش کلیدی در توسعه کشاورزی پایدار دارد (Maroofi *et al.*, 2024).

دانه‌های روغنی که از نظر سطح زیرکشت، تولید و مصرف به‌عنوان دومین گروه محصولات زراعی مهم بعد از غلات شناخته می‌شوند، منبعی مهم برای تغذیه انسان و دام بوده و در تولید مواد صنعتی متعدد نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ponnampalam *et al.*, 2019; Liu & Dai, 2020; OECD-FAO, 2020). گزارش شده‌است که در دهه اخیر تولید دانه‌های روغنی نیز به موازات سایر محصولات کشاورزی در معرض تهدید تغییر اقلیم قرار گرفته‌است که منجر به ناامنی غذایی می‌شود (Lobell *et al.*, 2011). از این‌رو ضروری است که برای مواجهه با این تهدید اقدامات مقتضی در زمینه حفظ تولید دانه‌های روغنی نیز به موازات سایر محصولات کشاورزی لحاظ گردد. با توجه به ماهیت فاکتور اقلیم، مقابله با تغییرات و تبعات منفی آن کاری غیرممکن می‌باشد، لیکن گزینش ارقام سازگار با شرایط اقلیمی و نیز بهینه‌سازی الگوی کشت می‌تواند راهکارهای مدیریتی باشند که از تبعات منفی پدیده تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصولات کشاورزی بکاهند و در تولید پایدار مواد غذایی نقش به‌سزایی ایفا نمایند (Soleymani Nejad *et al.*, 2019). از این‌رو همراهی با شرایط اقلیمی و نه مقابله با آن راهکار فائق آمدن بر این مشکل می‌باشد که این مهم خود مستلزم بهره‌گیری از اصول علمی برای حداکثر موفقیت است. در این راستا ارزیابی تناسب اراضی که به بررسی هماهنگی و مطابقت داشتن مشخصات اراضی مشتمل بر اقلیم، زمین‌ما و خاک با نیازهای انواع تیپ‌های بهره‌وری می‌پردازد می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای علمی و عملی همراهی با تغییرات اقلیم از طریق کمک به الگوی کشت بهینه شناخته شود. تحقیقات پژوهشگران (Pournaji Iran *et al.*, 2023) در مورد محصولات استراتژیک گندم و جو این موضوع را نشان داد که ارزیابی تناسب اقلیم به‌عنوان بخشی از ارزیابی تناسب اراضی به نحوی منعکس‌کننده تأثیر اقلیم بر درجه تناسب وضعیت آب‌وهوایی برای انواع تیپ‌های بهره‌وری است.

با توجه به اهمیت دانه‌های روغنی و خطر تهدید تغییر اقلیم بر تولیدات آن‌ها و با توجه به اینکه اثرات این پدیده بر بخش کشاورزی در هر منطقه و کشور با توجه به ویژگی‌های آن متفاوت است (Eyni-Nargeseh *et al.*, 2015) و نیز با استناد به تحقیقات (Ahadzadeh *et al.*, 2024) که با اشاره به جایگاه حساس امنیت غذایی ایران در پاسخ به تأثیرات منفی تغییر اقلیم و توصیه به اقدام علمی و عملی برای مواجهه با این بحران و لحاظ محل اجرای این پژوهش، مجموعه‌ای از مطالعات انجام شده در ایران که مرتبط با موضوع بحث حاضر می‌باشند از جمله تحقیقات (Roshanali & Zakeri, 2012), (Halabian & Esmaeli, 2018), (Navidi & Seyedmohammadi, 2024)

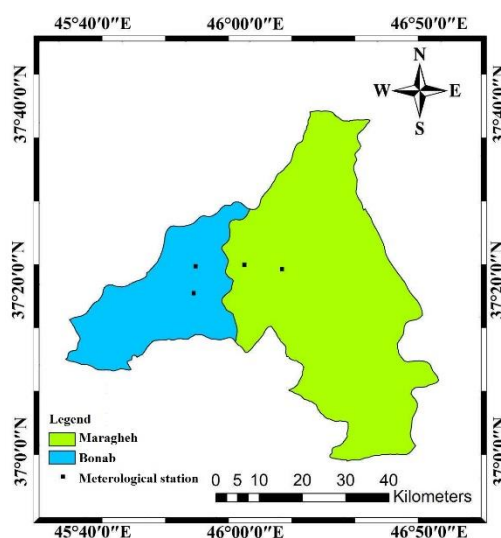
بررسی شدند. جمع‌بندی این تحقیقات بیانگر آن است که دما و بارش به‌عنوان محدود کننده‌ترین فاکتورهای اقلیمی طی فرآیند ارزیابی تناسب اراضی برای دانه‌های روغنی شناخته شده‌اند.

بنا بر موارد بحث شده در فوق، تصمیم‌گیری‌های موفق در مواجهه با تغییر اقلیم مستلزم بهره بردن از ارزیابی تناسب اقلیم اراضی برای تیپ‌های بهره‌وری است. این پژوهش بر آن است تا با تأمین منابع اطلاعاتی پایه حاصل از نقش اقلیم و تغییرات آن در تناسب دانه‌های روغنی، گامی در راستای تولید و توسعه پایدار کشت آفتابگردان، سویا، کلزا، کنجد و گلرنگ در شهرستان‌های بناب و مراغه بردارد. از این‌رو ارزیابی تناسب اقلیم در شهرستان‌های مذکور در سیر زمانی دهه‌های ۷۰، ۸۰ و ۹۰ شمسی بررسی شد تا با مشخص شدن روند تغییرات تناسب اقلیم، بتوان چشم‌انداز آتی اراضی منطقه را از نظر اقلیم برای دانه‌های روغنی ترسیم و راهکارهای مناسب در تولید آن‌ها، حاصل از تلفیق نتایج این پژوهش با سایر اقدامات مقابله با تبعات منفی تغییر اقلیم تبیین گردد.

مواد و روش‌ها

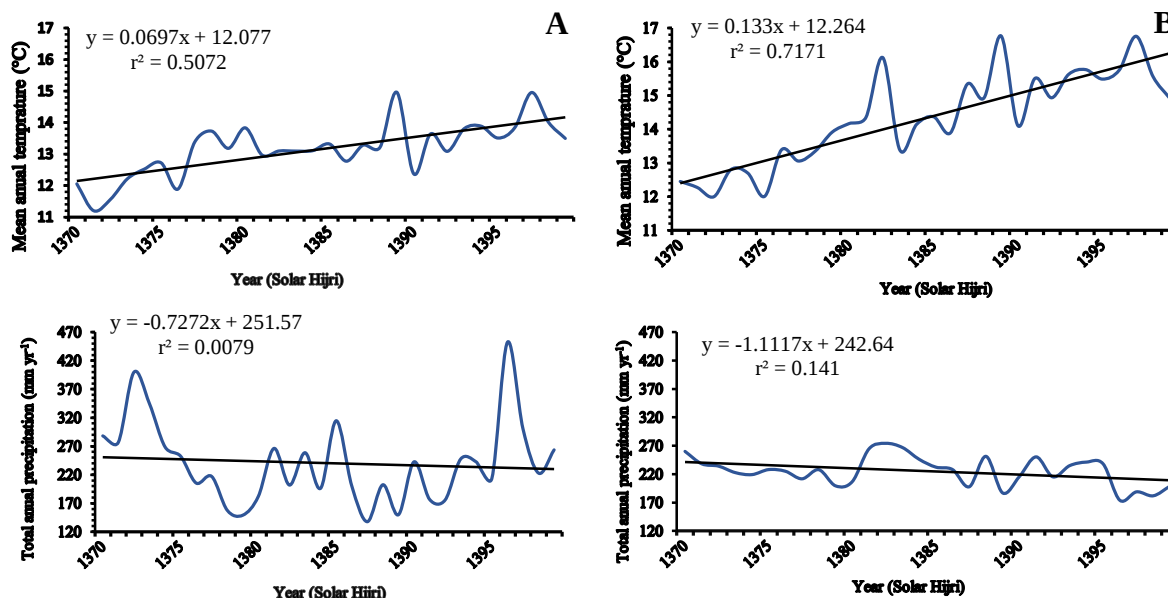
منطقه مورد مطالعه و بانک اطلاعاتی

مطالعه در حوضه استحفاظی شهرستان‌های بناب و مراغه از استان آذربایجان شرقی با محدوده‌ای به وسعت تقریبی ۲۹۱۷۰۰ هکتار انجام شد. این پژوهش بر پایه اطلاعات اقلیمی مستخرج از ایستگاه‌های هواشناسی واقع در محدوده مورد بررسی تکمیل شد که شکل ۱ شمای کلی از موقعیت محل اجرای پژوهش را نشان می‌دهد. براساس آمار سازمان هواشناسی کشور (IRIMO, 2021)، اقلیم منطقه نیمه‌خشک تا مدیترانه‌ای نیمه‌مرطوب با میانگین بارندگی و دمای به‌ترتیب ۲۵۶ میلی‌متر و ۱۴/۴ درجه سلسیوس می‌باشد. شکل ۲ که روند تغییرات دما و بارش را به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی اقلیم در دو شهرستان مورد مطالعه به‌شرح افزایش متوسط دمای سالیانه و کاهش مجموع بارش سالیانه نشان می‌دهد، در تطابق با گزارش‌های پیشین (Pooralihoseini & Massah Bavani, 2014; Salehi Komroudi & Shakeri Bostanabad, 2019)، بیانگر آن است که محدوده مورد مطالعه در سال‌های اخیر تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم قرار گرفته و این امر خود یکی از علل اجرای پژوهش حاضر در نواحی مورد بحث می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی.

Figure 1- Location of Study area and meteorological station.



شکل ۲- روند تغییرات میانگین دما و مجموع بارش در دهه‌های اخیر برای شهرستان‌های (A) مراغه و (B) بناب.

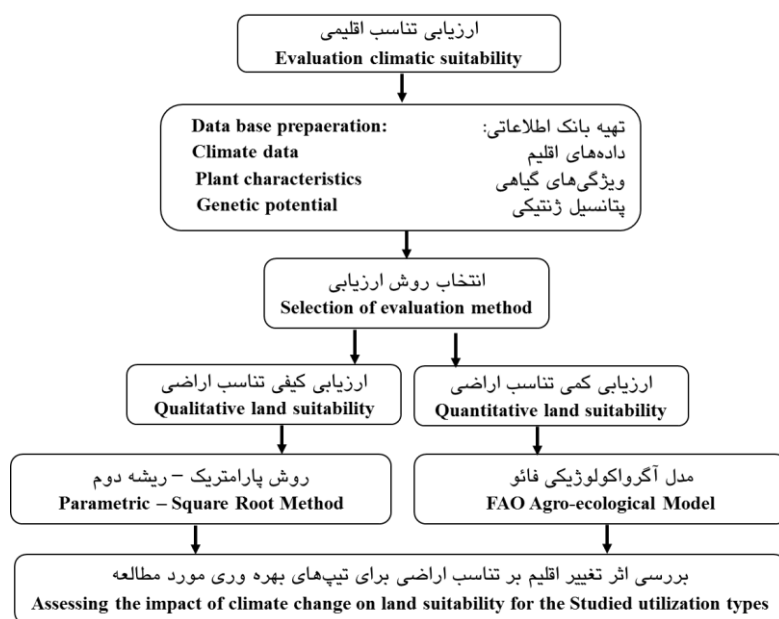
Figure 2- Trend of average temperature and total precipitation changes over recent decades for Maragheh (A) and Bonab (B).

بررسی‌های اقلیم در مطالعات محیطی برای پهنه‌های جداسازی شده صورت می‌گیرد، حال آنکه داده‌های اقلیم مستخرج از ایستگاه‌های هواشناسی با توزیع مکانی نقطه‌ای می‌باشند. از این‌رو نخست بایستی بسط اطلاعات نقطه‌ای به پهنه‌ای مشخص انجام گیرد. این مهم با بسط اطلاعات نقطه‌ای اقلیم به نزدیک‌ترین محدوده آن نقطه که در پژوهش حاضر ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشند صوت گرفت. بدین منظور از روش چند ضلعی‌های تیسن که قابلیت آن در مطالعات پیشین اثبات شده (Pournaji Iran *et al.*, 2023; Mohammadhosseini-Sagayesh *et al.*, 2025) استفاده شد. براساس این روش که در نرم‌افزار Arc Map 10.3 اجرا شد، هر کدام از نقاط معلوم در داخل یک چند ضلعی قرار می‌گیرند و تمامی نقاط مجهول در چند ضلعی مورد نظر، ارزشی برابر با نقطه معلوم به خود اختصاص می‌دهند که در آن چند ضلعی واقع شده است (Thiessen, 1911).

ارزیابی تناسب اقلیم تیپ‌های بهره‌وری

روندنمای مطالعه حاضر که برای ارزیابی تناسب اقلیم تیپ‌های بهره‌وری آفتابگردان، سویا، کلزا، کنجد و گلرنگ تکمیل شده در شکل ۳ ارائه شده است. نیازهای اقلیمی این محصولات شامل مجموع بارندگی و میانگین دمای طول دوره رشد، مراحل رشد رویشی، گلدهی و رسیدگی و نیز میانگین روزانه حداقل و حداکثر درجه حرارت سردترین ماه می‌باشد (Sys *et al.*, 1993). با توجه به اینکه کشت آبی محصولات مورد بحث تحت ارزیابی قرار گرفته، پارامترهای اقلیمی مرتبط با بارش از مجموعه محاسبات حذف گردید. همچنین برای تعیین دوره رشد و مراحل مختلف آن برای هر یک از تیپ‌های بهره‌وری از آمار و اطلاعات کارشناسان جهاد کشاورزی و زارعین هر منطقه استفاده شد. براساس شکل ۳ بخش اصلی ارزیابی تناسب اقلیم شامل مقایسه نیازهای تیپ‌های بهره‌وری با شرایط

اقلیمی هر منطقه می باشد. در این مطالعه ارزیابی تناسب اقلیم به دو روش کیفی و کمی برای سه دهه ۷۰، ۸۰ و ۹۰ شمسی صورت گرفت.



شکل ۳- روندنمای ارزیابی تناسب اقلیم تیپ های بهره وری.

Figure 3- The flowchart of climate suitability evaluation for utilization types.

ارزیابی کیفی تناسب اقلیم با روش پارامتریک ریشه دوم انجام شد که در آن از مقایسه وضعیت ویژگی های اقلیمی با نیازهای تیپ بهره وری به هر مشخصه یک درجه بندی کمی از صفر تا ۱۰۰ تخصیص یافته و از تلفیق درجات مذکور از طریق رابطه ۱ شاخص اقلیم محاسبه می گردد. در گام بعد با استفاده از رابطه ۲ شاخص اقلیم به درجه اقلیم تبدیل شده و کلاس بندی تناسب اقلیم اراضی برای تیپ های بهره وری مورد مطالعه از شرایط خیلی مناسب تا نامناسب در ۵ کلاس صورت می گیرد (FAO, 1976; Sys et al., 1991a; Sys et al., 1991b). در رابطه های ۱ و ۲، CI شاخص اقلیم، CR درجه اقلیم و A، B، C، D و ... درجات ویژگی های مختلف و Rmin حداقل درجه بین خصوصیات مختلف می باشند.

$$CI = R_{min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100} \times \dots} \quad (1)$$

$$\text{اگر} \begin{cases} CI > 92/5 & CR = CI \\ 25 < CI < 92/5 & CR = 1/6 + 0/9 CI \\ CI < 25 & CR = 1/6 CI \end{cases} \quad (2)$$

برای ارزیابی کمی تناسب اقلیم اراضی نیاز به محاسبه تولید پتانسیل بوده، که بدین منظور از مدل فائو استفاده شد. در این مدل با توجه به پتانسیل ژنتیکی محصول و ویژگی های فیزیولوژیکی گیاهی آن با استفاده از داده های اقلیمی، براساس رابطه ۳ فرآیند ارزیابی صورت می گیرد (Sys et al., 1991a). در رابطه ۳، Y: پتانسیل تابشی - حرارتی تولید (کیلوگرم وزن خشک بر هکتار)، bgm: حداکثر شدت تولید زیست توده ناخالص (کیلوگرم وزن خشک

بر هکتار در ساعت)، $KLAI$: ضریب تصحیح شاخص سطح برگ، H_i : شاخص برداشت، L : طول دوره رشد (روز)، C_i : ضریب تنفس می باشد.

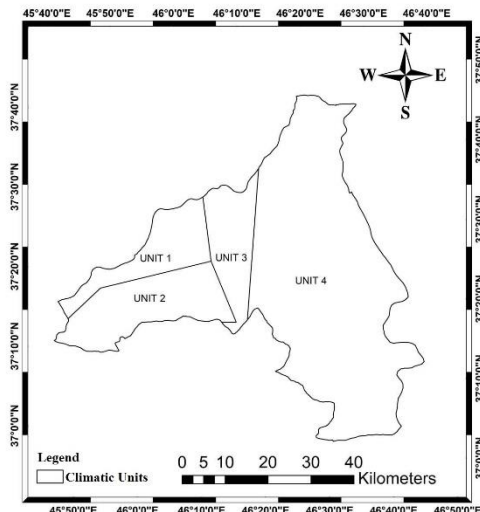
$$Y = \frac{0.36bgm \times KLAI \times H_i}{\left[\left(\frac{1}{L}\right) + 0.25C_i\right]} \quad (2)$$

در نهایت بر مبنای کلاس های تناسب اقلیم تعیین شده برای تیپ های بهره وری مورد مطالعه در دهه های مختلف، نقشه های مربوطه با نرم افزار Arc Map 10.3 ترسیم و بحث های نهایی و مدیریتی با استناد به نقشه های خروجی صورت گرفت. همچنین، مقایسه آماری نتایج ارزیابی کمی تناسب اراضی با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج و بحث

جداسازی واحدهای اقلیمی

جداسازی اراضی تحت واحدهای اقلیمی در محدوده مورد مطالعه براساس ایستگاه های هواشناسی فعال در بازه زمانی مدنظر پژوهش صورت گرفت که ۴ واحد اراضی بر مبنای اختصاص پهنه های از محدوده مورد مطالعه به هر ایستگاه طبق روش تیسن شناسایی شدند (شکل ۴). بر این مبنا در هر یک از واحدهای چهارگانه، ارزیابی تناسب اقلیم با استناد به آمار اخذ شده از ایستگاه مستقر در آن واحد انجام شد.



شکل ۴- نقشه واحدهای اقلیمی بر مبنای حوضه های تحت کنترل ایستگاه های هواشناسی در محدوده مورد مطالعه.

Figure 4- Climatic units map based on representation area of meteorological station in the study area.

ارزیابی تناسب اقلیم تیپ های بهره وری

نگاه کلی به آمار اقلیمی ایستگاه های محدوده مورد مطالعه نشان می دهد که در یک روند کلی در بستر زمان از مقدار بارش کاسته شده و بر میزان دمای هوا افزوده شده است. از آنجایی که کشت آبی هدف این پژوهش بوده، پارامتر

بارش از محاسبات حذف و نیازهای اقلیمی مرتبط با دما برای ارزیابی تناسب اقلیم مدنظر قرار گرفت که در ادامه نتایج حاصل از هر روش ارزیابی تناسب برای تیپ‌های بهره‌وری به تفکیک ارائه شده است.

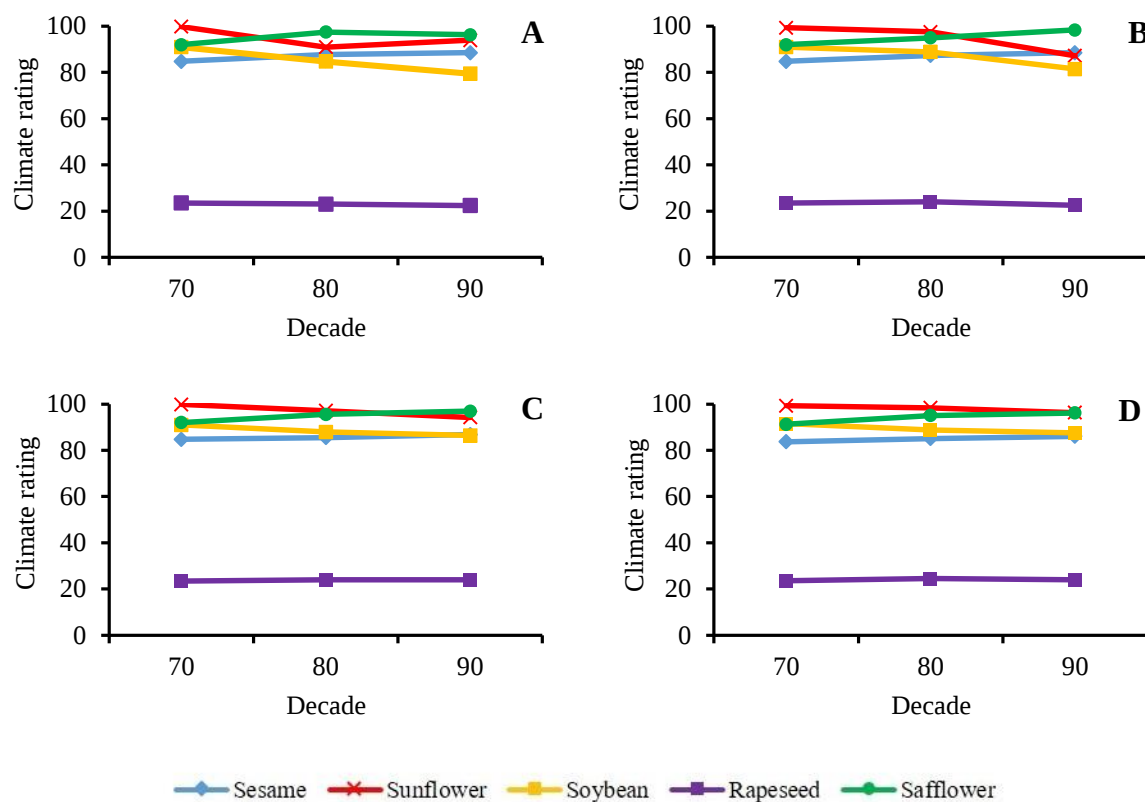
ارزیابی کیفی تناسب اقلیم

براساس نتایج این روش که در شکل ۵ ارائه شده، در هر سه دهه مورد بررسی کلاس تناسب اقلیم برای تیپ‌های بهره‌وری آفتابگردان، سویا، کنجد و گلرنگ وضعیت خیلی مناسب (S1) است، هر چند ویژگی‌های اقلیمی مورد بررسی درجه تناسب متفاوتی از کلاس خیلی مناسب را به خود اختصاص داده‌اند. برای تیپ بهره‌وری کلزا در بازه زمانی مذکور کلاس تناسب اقلیم نامناسب (N1) می‌باشد. محدود کننده‌ترین فاکتور اقلیمی برای کلزا میانگین حداقل دمای دوره رشد تشخیص داده شد که منجر به کلاس تناسب نامناسب شده است، هرچند سایر فاکتورهای اقلیمی دخیل در تناسب اقلیمی این گیاه نیز در کلاس‌های متوسط (S2) و کم (S3) جای گرفته‌اند. نگاه دقیق‌تر به واسطه نتایج نمودارهای ارائه شده در شکل ۵ بیانگر آن است که اگرچه تغییرات درجه اقلیم در بستر زمان صورت گرفته و این تغییرات به‌نحوی بوده که شرایط اقلیمی برای گلرنگ، کنجد و کلزا متناسب‌تر و برای سویا و آفتابگردان نامتناسب‌تر شده، لیکن این تغییرات به اندازه‌ای نبوده که منجر به تغییر در کلاس تناسب اقلیم گردد.

اگرچه پیامدهای معنادار تغییر اقلیم بر تناسب اراضی برای محصولات مختلف در تحقیقات متعددی همچون مطالعات (Saeidabadi et al. (2016 و Sharifi et al. (2018 بیان شده اما علت عدم تغییر شدید درجه اقلیم برای تیپ‌های بهره‌وری هدف در محدوده مورد مطالعه به‌طوری‌که منجر به تغییر کلاس تناسب گردد را می‌توان در دو نکته دید. نخست آنکه سرعت تغییر اقلیم برخلاف شرایط فعلی در دهه‌های گذشته بسیار آرام و تدریجی بوده است به‌طوری‌که طبق گزارش Babaeian (2019) نرخ افزایش دمای ایران در ۳۰ سال اخیر دو و کاهش بارش چهار برابر سریع‌تر از کل دوره ۶۰ ساله ۱۳۳۷ تا ۱۳۹۶ است. علت دوم را می‌توان در پیچیدگی پدیده تغییر اقلیم به‌واسطه دخالت عوامل اقلیمی مختلف دانست، حال آنکه در پژوهش حاضر به‌دلیل بررسی شرایط کشت آبی، از مجموعه پارامترهای اقلیمی تنها فاکتور دما در بررسی تناسب دخالت داده شده است. در این راستا پژوهش تکمیل شده توسط Pournaji Iran et al. (2023) که بررسی تناسب اقلیم محصولات هدف خود را بر پایه هر دو کشت آبی و دیم بنا نهاده بودند مبین این نکته است که فاکتور بارش که در کشت دیم نیز دخالت داده می‌شود نقش بسیار مهمی در تناسب اراضی دارد که تحت شرایط تغییر اقلیم منجر به افت کلاس تناسب شده است. این موضوع زمانی اهمیت بیشتر پیدا می‌کند که طبق یافته‌های Baniaghil et al. (2015) نقش بارش و نیاز آبی گیاهان در تولید دانه‌های روغنی بیش از پارامترهای مرتبط با دما معرفی می‌شود و از سویی مطابق با گزارش پیش‌تر اشاره شده تغییر میزان بارش در بازه زمانی مورد بررسی پژوهش حاضر برای منطقه بیشتر از تغییر دما بوده است (Babaeian, 2019).

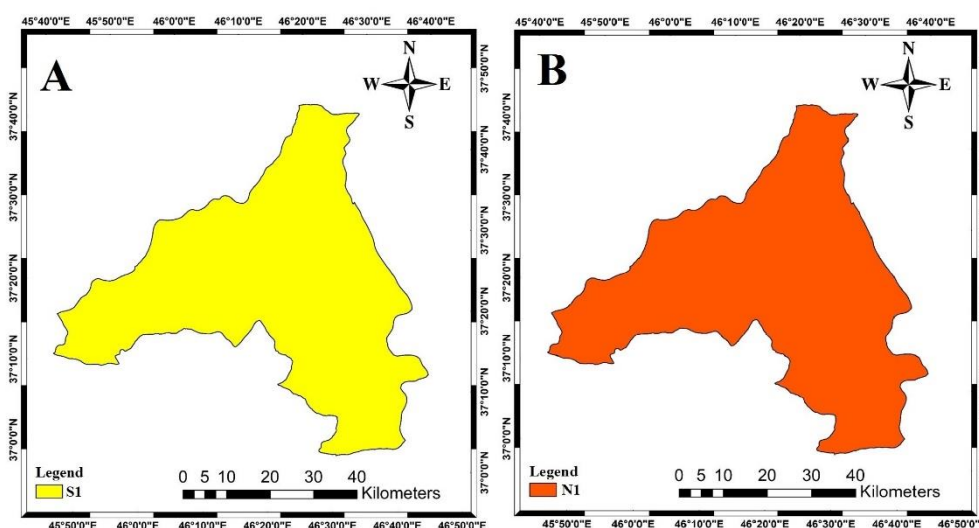
پهنه‌بندی تناسب اقلیم تیپ‌های بهره‌وری مورد بحث در دهه‌های مختلف مستخرج از نتایج شکل ۵، در شکل ۶ نشان داده شده است. براساس نقشه‌های خروجی مشاهده می‌شود که برای تمامی تیپ‌های بهره‌وری کل محدوده مورد مطالعه از نظر اقلیم در دهه‌های مختلف شرایط تناسب یکسانی دارد. هم‌گونی نقشه‌های خروجی برای انواع تیپ‌های بهره‌وری در واحدهای مختلف اراضی مورد مطالعه را می‌توان به طیف یکسان محصولات با نیازهای فیزیولوژیک تقریباً مشابه و نیز کوچک بودن مقیاس محدوده مورد مطالعه نسبت داد. بر این اساس بی‌شک در بررسی محصولات با نیازهای اقلیمی مختلف و مقیاس‌های مطالعاتی وسیع، تنوع تأثیر تغییر اقلیم بر تناسب اقلیم

اراضی برای تیپ‌های بهره‌وری بیشتر نمایان می‌شود و این موضوع می‌تواند یک راهکار اساسی در کمک به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی باشد.



شکل ۵- درجه تناسب اقلیم تیپ‌های بهره‌وری مورد مطالعه در دهه‌های مختلف برای واحدهای اراضی (A) ۱، (B) ۲، (C) ۳ و (D) ۴.

Figure 5- Climate suitability rating of studied utilization types in different decades for land units: A)1, B)2, C)3 and D)4.

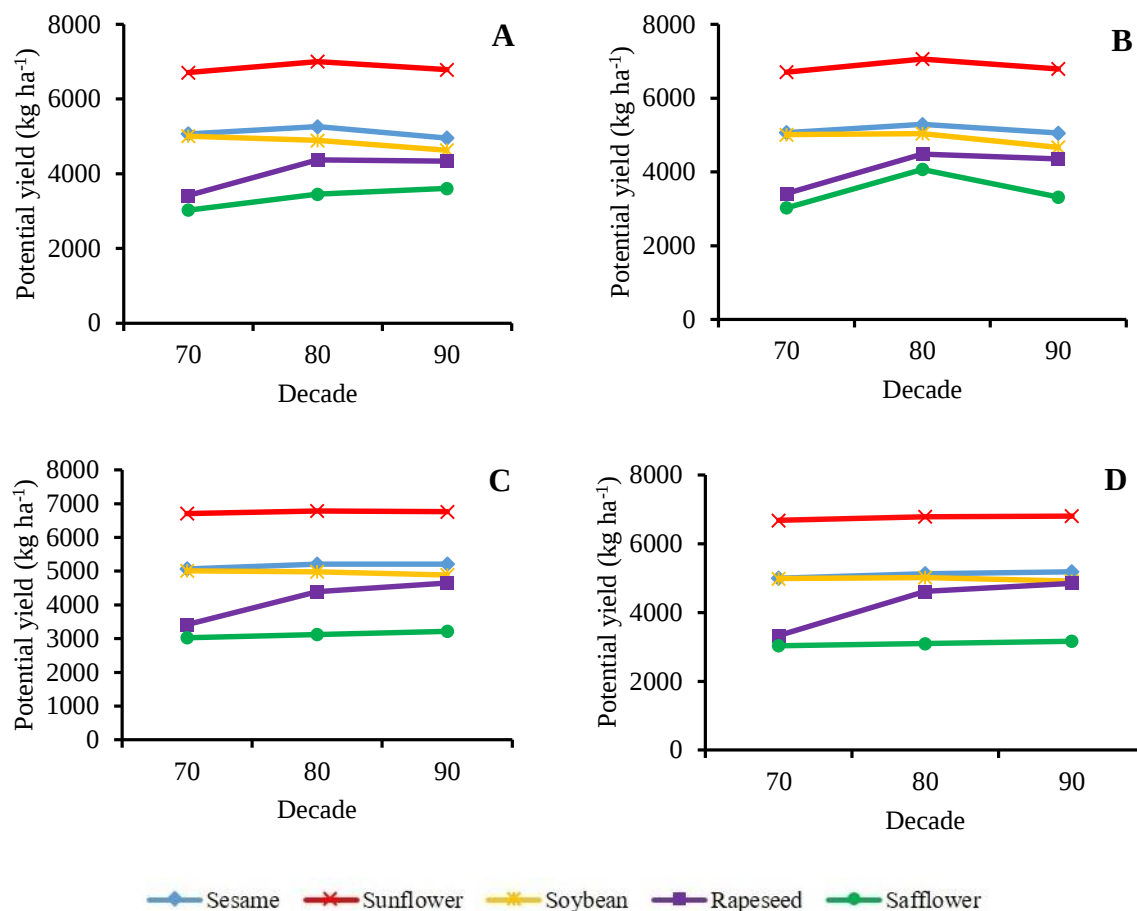


شکل ۶- پهنه‌بندی تناسب اقلیم محدوده مورد مطالعه برای (A) آفتابگردان، سویا، کنجد، گلرنگ (B) کلزا در دهه‌های ۷۰، ۸۰ و ۹۰ شمسی.

Figure 6- Climate suitability zoning of the study area for (A) sunflower, soybean, sesame, safflower, and (B) rapeseed in decades of the 79s, 80s, and 90s Solar Hijri.

ارزیابی کمی تناسب اقلیم

نتایج تأثیر تغییر اقلیم بر تناسب تیپ‌های بهره‌وری به‌روش ارزیابی کمی که در قالب مقادیر تولید پتانسیل برآورد شده در شکل ۷ نشان داده شده و جمع‌بندی بررسی‌های آماری تولید پتانسیل انواع تیپ‌های بهره‌وری برای کل محدوده مطالعاتی که در جدول ۱ ارائه شده حکایت از تأثیر معنادار تغییر اقلیم بر تناسب اقلیم اراضی برای تمامی تیپ‌های بهره‌وری به‌جز گلرنگ با گذر زمان دارد. براساس مقادیر تولید پتانسیل مشاهده می‌شود که به‌جز کلزا و سویا، دهه ۸۰ بهترین دوره زمانی از نظر تناسب اقلیم برای سایر تیپ‌های بهره‌وری مورد مطالعه بوده که در توجیه آن می‌توان بیان نمود که در دوره زمانی دهه ۷۰ و ۸۰، روند افزایشی دما تا حدی به نفع گیاه بوده است. علت ادامه روند متفاوت تولید پتانسیل کلزا در دهه ۹۰ نسبت به سایر تیپ‌های بهره‌وری مربوط به کشت پاییزه آن است که طولانی‌تر شدن دوره رشد به‌واسطه افزایش دما در فصل سرد سال توانسته با ایفای نقش مثبت منجر به روند افزایشی تولید پتانسیل گردد. افزایش طول دوره رشد در اثر تغییر اقلیم پدیده‌ای بوده که در تحقیقات Qian *et al.* (2013) نیز گزارش شده است. همچنین روند منفی یک جهت تغییر تولید پتانسیل سویا در بازه زمانی مدنظر را همچون گزارش‌های ارائه شده Hosseini *et al.* (2015) و Baniaghil *et al.* (2015) می‌توان به حساسیت بیشتر سویا نسبت به افزایش دما ربط داد. فارغ از توجه به روند تأثیر تغییر اقلیم بر مقدار تولید پتانسیل، توجه به شیب نمودارها در شکل ۷ نیز بیانگر این است که بیشترین تأثیرپذیری از تغییرات اقلیم مربوط به کلزا و کمترین آن متعلق به کنجد می‌باشد.



شکل ۷- تولید پتانسیل تیپ‌های بهره‌وری مورد مطالعه در دهه‌های مختلف برای واحدهای اراضی (A) ۱، (B) ۲، (C) ۳ و (D) ۴.
Figure 7- Potential yield of studied utilization types in different decades for land units: A)1, B)2, C)3 and D)4.

جدول ۱- مقایسه میانگین تولید پتانسیل (kg ha⁻¹) تیپ‌های بهره‌وری مورد مطالعه در دهه‌های مختلف برای کل محدوده مورد بررسی با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد.

Table 1- Means comparison of potential yield (kg ha⁻¹) of studied utilization types during different decades in study area, using Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

دهه	گلرنگ	کنجد	کلزا	سویا	آفتابگردان
Decade	Safflower	Sesame	Rapeseed	Soybean	Sunflower
70	3433.7 ^a	5222.1 ^a	3393.9 ^b	5002.4 ^a	6699 ^b
80	3327.2 ^a	5100.3 ^{ab}	4465.1 ^a	4983 ^{ab}	6909.2 ^a
90	3029.3 ^a	5050.2 ^b	4546.8 ^a	4776.3 ^b	6786.9 ^{ab}

نتیجه‌گیری کلی

مشاهده درجات اقلیم مختلف اما نه‌چندان متفاوت براساس روش ارزیابی کیفی تناسب اقلیم و نیز مقادیر تولید پتانسیل مختلف حاصله برای انواع تیپ‌های بهره‌وری بیانگر نیازهای اقلیمی متفاوت آن‌ها می‌باشد که این نکته

می‌تواند یکی از پایه‌های ترسیم الگوی کشت بهینه محدود به مطالعه قرار گیرد. همچنین شیب تغییرات درجات اقلیم و تولید پتانسیل در بستر زمان با اشاره به شدت تأثیرپذیری انواع تیپ بهره‌وری از تغییر اقلیم می‌تواند راهکار دیگری برای کمک به طراحی الگوی کشت برای همراهی با تغییر اقلیم با کمترین خسارت باشد. با توجه به دو راهکار کمکی ارائه شده برای طراحی الگوی کشت و نیز طبق نتایج روش‌های ارزیابی تناسب اقلیم که نشان داد کلزا از نظر اقلیمی در کلاس نامتناسب جای گرفته و بیشترین شیب را در تغییرات تولید پتانسیل به خود اختصاص داده، می‌توان توصیه نمود که این محصول در سبد تیپ‌های بهره‌وری مورد کشت منطقه جای نگیرد، حال آنکه شرایط برای سایر تیپ‌های بهره‌وری چه به لحاظ تناسب و چه از نظر تأثیرپذیری از تغییرات اقلیم کاملاً متفاوت می‌باشد.

هرچند با پیش فرض‌های تعریف شده تغییر اقلیم مبنی بر تبعات منفی آن بر کشاورزی انتظار بر افت تناسب اقلیم اراضی برای تمامی محصولات در بستر زمان بود، لیکن در مواردی مشاهده بهبود درجه تناسب اقلیم دلیل بر این است که در جمع‌بندی تأثیر تغییر اقلیم بر تناسب محصولات همواره بایستی تمامی فاکتورهای اقلیمی دخیل در رشد گیاه مربوطه مدنظر قرار گیرد و چنانچه یکی از این فاکتورها مشمول حمایت مدیریت خاص زراعی همچون تأمین رطوبت از طریق کشت آبی قرار گیرد تبعات تغییر اقلیم امکان دارد با فرضیه روند منفی آن همخوانی نداشته باشد. همچنین عامل دیگری که ممکن است فرضیه نقش منفی تغییر اقلیم بر تناسب محصولات کشاورزی را نقض نماید توجه به این نکته است که گاهی روند منفی تغییر یک عامل اقلیمی از مجموعه نیازهای اقلیمی گیاه منجر به بهبود شرایط از نظر دیگر پارامترها گردد. از این رو در چنین مطالعاتی بایستی ترکیب تأثیر عوامل اقلیمی و اثرات متقابل آن‌ها اثر خالص تغییر اقلیم بر تناسب اقلیم برای محصولات کشاورزی را نشان دهد.

اگرچه ارزیابی تناسب کیفی اقلیم نتوانست نقش تغییر اقلیم را به دلیل عدم تغییر کلاس تناسب با تغییر شرایط اقلیم در بستر زمان در این مطالعه به‌طور واضح نشان دهد، اما ارزیابی کمی تناسب اقلیم توانست نگاه دقیق‌تری به واسطه بهره‌گیری از امکان مقایسه آماری مقادیر تولید پتانسیل متأثر از اقلیم با گذر زمان ارائه نماید. بنابراین توصیه می‌شود ارزیابی‌های کیفی و کمی تناسب اراضی همواره در کنار یکدیگر انجام شوند تا هر روش با توجه به قابلیت خود کاستی‌های روش دیگر را در نتیجه‌گیری نهایی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی کم هزینه و کم ریسک، برطرف نماید.

در نهایت با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود برای درک دقیق تأثیر اقلیم بر وضعیت کشاورزی یک منطقه مطالعات در نواحی با وسعت بالا و با در نظرگیری تنوع بالا از سبد تیپ‌های بهره‌وری صورت گیرد تا نتایج آن‌ها ضمن افزایش ضریب کاربردی شدن در عرصه اجرا، کارایی بالایی روش ارزیابی تناسب اقلیم در مدیریت تغییرات اقلیم در عرصه کشاورزی را نشان دهند. همچنین ارزیابی تناسب اقلیم برای کشت دیم محصولات هدف این پژوهش نیز می‌تواند برای تکمیل اطلاعات در راستای مدیریت بهینه اراضی منطقه مطالعاتی مورد توجه پژوهشگران واقع شود.

شفاف‌سازی استفاده از هوش مصنوعی

در مراحل مختلف این پژوهش اعم از ایده‌پردازی، طراحی، جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، نگارش متن و ویرایش یا ترجمه از ابزارهای هوش مصنوعی استفاده نشده است.

References

- Ahadzadeh, E., Rezaee, A., Shirani Bidabadi, F., & Keramatzadeh, A. (2024). Evaluating the Effects of Climate Change on the Food Security of Selected Member Countries within the Organization of Islamic Cooperation. *Journal of the Climate Change Research*, 5(20), 79-94. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.30488/ccr.2024.474278.1241>
- Babaeian, I. (2019). Climate change in Iran: From impacts and threats to opportunities. Pp. 1-8. In: *6th Regional Conference of Climate change*, 18-19 November, 2019, Tehran, Iran.
- Baniaghil, A.S., Rahemi, A., Biabani, A., & Faramarzi, H. (2015). Evaluation of suitable areas for soybean cultivation based on climatic indices in Golestan province. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 3(6), 19-32. (in Persian with English abstract).
- Eekhout, J.P.C., & de Vente, J., (2022). Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation through soil conservation. *Earth-Science Reviews*, 226, 103921. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103921>
- Eyni-Nargeseh, H., Deyhimfard, R., Soufizadeh, S., Haghighat, M., & Nouri, O. (2015). Predicting the effects of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. *Journal of Crop Production*, 8(4), 203-224. (in Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1394.8.4.11.7>
- FAO. (1976). *A framework for land evaluation*. FAO Soils Bulletin Series No, 32, Rome.
- Haji Rahimi, M., Sharifii, F., Asaadi, M.A. (2024). The impact of climate change on cereal production and food security in Iran. *Journal of the Climate Change Research*, 5 (20), 65-78. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.30488/ccr.2024.472319.1238>
- Halabian, A.H., & Esmaeli, N. (2018). Land suitability evaluation based on the climatic elements for Canola cultivation using Fuzzy and AHP model in Kordestan. *Journal of Environmental Science and Technology*, 19(4), 133-150. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/jest.2017.11629>
- Hosseini, S.T., Khoshravesht, M., & Ziatabar-Ahmadi, M.K. (2015). Effect of climate change and evaluation of planting date on Soybean yield. *Journal of Water Research in Agriculture*, 29(4), 559-575. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/jwra.2016.105829>
- IRIMO. (2021). *Country climate analysis*. In: Islamic Republic of Iran Meteorological Organization, East Azerbaijan province center. Data sheet.
- Liu, Y., & Dai, L. (2020). Modelling the impacts of climate change and crop management measures on soybean phenology in China. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121271>
- Lobell, D.B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-20. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
- Maroofi, A., Azizpour, F., Omidi Shahabadi, O., Hasanpour, S., Enayati, M., & Najafizadeh, Z. (2024). Ecological zoning and determination of cropping and orchard spatial pattern in the region 3 of Iran. *Village and Space Sustainable Development*, 5(1), 1-25. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/vssd.2023.5982.1162>
- Mohammadhosseini-Sagayesh, B., Jafarzadeh, A., Shahbazi, F., Farajnia, A., & Rezaei, H. (2025). Determining soil moisture and temperature regimes in East-Azerbaijan province using Newhall model. *Journal of Agricultural Meteorology*, 12(2), 14-25. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.26471/cjees/2025/020/332>
- Navidi, M.N., & Seyedmohammadi, J. (2024). Land suitability evaluation and assessing limitations for industrial plants cultivation in irrigated plains of Iran. *Journal of Soil Research*, 37(4), 293-310. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/71410.22092/ijsr.2024.362743>
- OECD-FAO. (2020). *Agricultural Outlook 2020–2029*. World oilseed projections.
- Pooralihoseini, S.H., & Massah Bavani, A.R. (2014). Risk analysis and assessment of impacts of climate change on temperature and precipitation of East Azerbaijan in 2013-2022. *Journal of the Earth and Space Physics*, 39(4), 191-208. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35989>

- Pozza, L.E., & Field, D.J. (2020). The science of soil security and food security. *Soil Security*, 1:100002. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2020.100002>
- Ponnampalam, E.N., Kerr, M.G., Butler, K.L., Cottrell, J.J., Dunshea, F.R., & Jacobs, J.L. (2019). Filling the out of season gaps for lamb and hogget production: Diet and genetic influence on carcass yield, carcass composition and retail value of meat. *Meat Science*, 148, 156-63. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.08.027>
- Pournaji Iran, S., Rezaei, H., & Jafarzadeh, A. (2023). Climate suitability changes of East Azerbaijan province for strategic crops of wheat and barley cultivation in recent decades. *Journal of Agricultural Meteorology*, 11(2), 4-15. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22125/agmj.2023.381559.1144>
- Qian, B., De Jong, R., Gameda, S., Huffman, T., Neilsen, D., Desjardins, R., Wang, H., & McConkey, B. (2013). Impact of climate change scenarios on Canadian agroclimatic indices. *Canadian Journal of Soil Science*, 93(2), 243-259. <https://doi.org/10.4141/cjss2012-053>
- Roshanali, M., & Zakeri, M. (2012). Land suitability evaluation Mazandaran province model based on elements of the climate for the cultivation of rapeseed TOPSIS. *Urban Ecology Research*, 3(6), 67-80. (in Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25383930.1391.3.6.5.3>
- Saeidabadi, R., Najafi, M.S., & Abkharabat, S. (2016). Land suitability assessment in climate change condition, case study: canola cultivation in West Azerbaijan providence. *Physical Geography Research*, 47(4), 563-582. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.56050>
- Salehi Komroudi, M., & Shakeri Bostanabad, R. (2019). The impact of climate change on agricultural production and food security in East Azarbaijan province. *Journal of Environmental Sciences Studies*, 3(3), 1801-1809. (in Persian with English abstract).
- Sharifi, P., Servati, M., & Mohammadkhani, N. (2018). Climate change impact on land suitability evaluation for some rainfed crops in Miandoab region. *Journal of Soil Research*, 32(2), 243-253. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijsr.2018.117045>
- Soleymani Nejad, S., Dourandish, A., Sabouhi, M., & Banayan Aval, M. (2019). The effects of climate change on cropping pattern (Case study: Mashhad plain). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 50(2), 249-263. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2019.237998.668461>
- Sys, C., Vanranset, E., & Debaveye, J. (1991a). *Land evaluation. Part I, Principle in land evaluation and crop production calculation*. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Ghent, Belgium.
- Sys, C., Vanranset, E., & Debaveye, J. (1991b). *Land evaluation, Part II, Methods in land evaluation*. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Ghent, Belgium.
- Sys, C., Vanranset, E., Debaveye, J., & Beernaert, F. (1993). *Land evaluation, Part III, Crop requirements*. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Ghent, Belgium.
- Thiessen, A.H. (1911). Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review*, 39(7), 1082-1089.
- Wu, Y., Meng, S., Liu, C., Gao, W., & Liang, X.Z. (2023). A bibliometric analysis of research for climate impact on agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7:1191305. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1191305>