



Estimating Suitable Areas for Dry Almond (*Amygdalus communis* L.) Cultivation Development in Fars Province using Geographic Information System (GIS)

Ayatollah Karami^{1*}, Alireza Salehi² and Vida Aliyari³

1 and 3- Professor and Ph.D. Student, Department of Rural Development Management, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, respectively.

2-Assistant Professor, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, Iran.

(*- Corresponding author's Email: ayatkarami@yu.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 28-02-2024

Revised: 29-05-2024

Accepted: 11-06-2024

Available Online: 22-01-2025

Karami, A., Salehi, A., & Aliyari, V. (2025). Estimating suitable areas for dry almond (*Amygdalus communis* L.) cultivation development in Fars province using Geographic Information System (GIS). *Journal of Agroecology*, 16(4), 683-711. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.87067.1193>

Introduction

Drought stress is one of the major environmental stresses affecting more than 60% of Iran's area. The use of drought-resistant plants, especially Almonds (*Amygdalus communis* L.) that grow in hilly areas with calcareous and stony soils is of great importance. Iran is recognized as the fifth largest almond producer in the world. Almond cultivation not only has high nutritional value but can also contribute to ecosystem improvement, increase farmers' income, and create job opportunities. Fars province is one of the suitable regions for almond cultivation, ranking first in terms of the cultivation of dry almonds and sixth in terms of under cultivation of irrigated almonds. However, almond performance in this province is unsatisfactory and is positioned lower. It appears that the province has not fully utilized its potential, and almond cultivation in many suitable lands has been neglected. Therefore, this study focuses on analyzing land suitability for almond cultivation in Fars province by integrating the Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy algorithm with the Geographic Information System (GIS).

Materials and Methods

In order to estimate the extent of suitable areas for dry almond cultivation in Fars province, four criteria (including climatic, topographic, environmental adaptation, and socio-economic) and 14 sub-criteria were used. These sub-criteria include elevation, land slope, slope aspects, land use, soil texture, seedling growth temperature, the minimum temperature during the flowering stage, relative humidity flowering stage, growth cycle temperature, fruit formation and ripening stage temperature, mean annual precipitation, distance from the road, distance from water levels and distance from population centers. The weights of criteria and sub-criteria in the study were calculated using the Analytic Hierarchy Process (AHP) process and Expert Choice software. After fuzzy mapping



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.87067.1193>

and combining fuzzy scores with the weights obtained from the AHP analysis, the Fuzzy overlay algorithm was used to overlay different thematic layers (climatic, topographic, socio-economic, and environmental adaptation). Finally, the map estimating the extent of suitable areas for almond cultivation was classified into five classes.

Results and Discussion

In this research, suitable areas for almond cultivation have been identified using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS. These areas were selected based on 14 different sub-criteria. The findings identified mean annual precipitation as the most critical sub-criterion for almond tree cultivation, followed by elevation, mean seedling growth temperature, and relative humidity during the flowering stage. After fuzzifying the maps and combining the fuzzy scores with the assigned weights, thematic maps were generated for each criterion. Analysis of these maps revealed that the most limiting factors for almond cultivation in Fars Province are climatic conditions (including precipitation, mean minimum temperature during the flowering stage and temperatures during the fruit formation and ripening stages) and topography (slope percentage and elevation). Despite these limitations, the study found that Fars Province has significant potential for dry almond cultivation. Specifically, the study determined that highly suitable, suitable, and moderately suitable lands for almond cultivation account for 9.02%, 16.46%, and 21.63% of the province's area, respectively. The highly suitable zones, covering approximately 9.02% of the province, are particularly favourable for almond cultivation. Additionally, suitable and moderately suitable zones make up 16.46% and 21.63% of the region's area, respectively, further supporting the potential for almond farming in the province. However, the suitability of about 17.09% of the region for almond cultivation is low, and 5.01% of the province area is unsuitable for almond cultivation. Additionally, around 30.79% of the total province area is not recommended for almond cultivation due to land use types. In general, the northwestern, western, and southwestern areas of Fars province have suitable capability, and the southeastern region of Fars province has unsuitable capability for dry almond tree cultivation. Based on the analysis and results obtained, the importance of proper planning for agricultural crop cultivation and appropriate land suitability analysis for optimal land resource utilization for sustainable agricultural development is evident.

Conclusion

Based on the findings, Fars province holds significant potential for dry almond cultivation development, yet it has not fully utilized all of its capabilities to date. Consequently, it is recommended that the expansion of almond tree cultivation in this province be prioritized. Proper planning and optimal utilization of suitable areas in Fars province, considering environmental conditions and defined criteria, will enhance the performance of almond cultivation and facilitate sustainable agricultural development in this region. The results of this study can be valuable to all individuals and organizations active in the field of agricultural development and land resource management (including farmers and horticulturists in Fars province, officials and policymakers related to agriculture and rural development, researchers, and academics in geology, agriculture, and sustainable natural resource development in Fars province) and assist them in decision making regarding almond cultivation development.

Acknowledgements

The authors of the present study would like to express their gratitude to the collaboration of the National Meteorological Organization for providing the necessary data for this research.

Keywords: Feasibility assessment, Location analysis, Rural economy, Zoning

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص ۶۸۳-۷۱۱

برآورد سطح پهنه‌های مناسب توسعه کاشت بادام (*Amygdalus communis* L.) دیم در استان فارس با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

آیت‌اله کریمی^{۱*}، علیرضا صالحی^۲ و ویدا علی‌یاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲

چکیده

تجزیه و تحلیل تناسب زمین به پیش‌نیازی برای استفاده بهینه از منابع موجود زمین برای استفاده پایدار از اراضی با توجه به توانمندی آن‌ها تبدیل شده است. هدف از این مطالعه، برآورد سطح پهنه‌های مناسب توسعه کاشت بادام (*Amygdalus communis* L.) دیم در استان فارس با ادغام الگوریتم تحلیل سلسله مراتبی (AHP) - فازی با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. با استفاده از AHP، وزن چهار معیار (شامل اقلیمی، توپوگرافی، سازگاری محیطی و اجتماعی - اقتصادی) و ۱۴ زیرمعیار مؤثر بر کاشت بادام دیم تعیین شد. براساس یافته‌ها، میانگین بارش سالیانه به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیار برای کاشت درخت بادام دیم تعیین شد و پس از آن، به‌ترتیب زیرمعیارهای ارتفاع، میانگین دمای رشد جوانه، رطوبت نسبی مرحله گل‌دهی از اهمیت بیشتری برخوردار بودند. پس از فازی‌سازی نقشه‌ها و ترکیب امتیازهای فازی و وزن‌های به‌دست آمده، نقشه‌های موضوعی برای هر یک از معیارها ارائه شد. بررسی نقشه‌ها نشان داد که مهم‌ترین معیارهای محدودکننده برای کاشت بادام دیم در استان فارس شامل شرایط اقلیمی (بارش، میانگین حداقل دمای مرحله گل‌دهی، میانگین دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن) و توپوگرافی (درصد شیب و ارتفاع) است. براساس یافته‌ها، استان فارس از پتانسیل مطلوبی برای کاشت بادام دیم برخوردار می‌باشد، به‌گونه‌ای که اراضی بسیار مناسب، مناسب و نسبتاً مناسب برای کاشت بادام به‌ترتیب ۹/۰۲، ۱۶/۴۶ و ۲۱/۶۳ درصد از مساحت استان را شامل می‌شود. تناسب ۱۷/۰۹ درصد از استان فارس اندک بوده و ۵/۰۱ درصد برای کاشت بادام نامناسب می‌باشد. همچنین ۳۰/۷۹ درصد از کل سطح استان فارس به‌دلیل نوع کاربری اراضی برای کاشت بادام پیشنهاد نمی‌شود. به‌طور کلی، تحلیل نقشه تناسب نهایی نشان داد که نواحی شمال غربی، غرب و جنوب غربی استان فارس از توانمندی مناسب و نواحی جنوب شرقی استان فارس از توانمندی نامناسبی برای کاشت درخت بادام دیم برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: اقتصاد روستایی، امکان‌سنجی، پهنه‌بندی، مکان‌یابی

مقدمه

اثرات منفی آن بر بهره‌وری کشاورزی و ایمنی مواد غذایی، به مشکل فزاینده حال حاضر و آینده بدل شده است (Sadiq et al., 2023). گسترش جمعیت و به‌دنبال آن، افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی و تأثیر تغییر اقلیم بر کاهش منابع آب، مدیران و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی را با چالشی بزرگ مواجه نموده است (Nungula et al., 2024; Mitra et al., 2023). بنابراین، جوامع علمی در سراسر جهان به‌دنبال راهکارهایی جهت پاسخ و سازگاری با تغییرات اقلیم در زمینه‌ی کشاورزی هستند (De Wit & Haines, 2023).

امروزه تهدیدات محدودکننده‌ای برای حفظ و پایداری منابع طبیعی وجود دارد. در بسیاری از مناطق جهان، تغییر اقلیم به‌دلیل

۱ و ۳- به‌ترتیب استاد و دانشجوی دکتری، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

۲- استادیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

(Email: ayatkarami@yu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

بسیاری از خانوارهای روستایی ایران است، خشکسالی و حداقل بارش منجر به کاهش درآمد می‌شود (Khalili et al., 2020); (al., 2021b). استان فارس یکی از بزرگ‌ترین (۱۲۱۰۰۰ کیلومترمربع، حدود ۷/۵ درصد از مساحت ایران) و پرجمعیت‌ترین استان‌های (بیش از چهار میلیون) ایران است و علاوه‌براین، یکی از مناطق پیشرو در تولید محصولات کشاورزی و برخی محصولات باغی است (Khalili et al., 2020; Bijani et al., 2022); (al., 2021a). استان فارس دارای آب‌وهوای بسیار متنوعی از گرم و خشک در نواحی جنوبی و سرد در نواحی شرقی و مرطوب در نواحی شمالی است. دمای این استان، از ۱۰ درجه در زمستان تا ۴۵ درجه در تابستان متغیر است. میزان بارندگی سالانه در مناطق مختلف فارس ۲۹۴/۷ میلی‌متر است (۱۹۷۱-۲۰۱۴ میلادی) است (Karimi et al., 2021); (Maleksaeidi & Keshavarz, 2019). این استان در دهه‌های اخیر، چندین دوره خشکسالی شدید را تجربه کرده که بیش از نیمی از منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. در سال ۲۰۱۴، خشکسالی شدید به تولید محصولات زراعی آسیب رساند و ۶۹۰ میلیون دلار خسارت وارد کرد (Khalili et al., 2021a). از آنجایی‌که اقتصاد مناطق روستایی به شدت به تولید محصولات سالانه و دائمی متکی است (Karimi et al., 2021) و بخش کشاورزی منبع اصلی درآمد جوامع روستایی فارس است (Maleksaeidi & Keshavarz, 2019)، مخاطره خشکسالی شدید کنونی به‌طور قابل توجهی معیشت و اقتصاد خانوارهای روستایی را تحت تأثیر قرار داده است. قابل ذکر است که علی‌رغم وابستگی قابل توجه ساکنان این نواحی به کشاورزی، تنها ۱۱/۴۲ درصد از اراضی استان فارس برای کشاورزی مناسب است. علاوه‌براین، بحران آب (یعنی کاهش قابل توجه منابع آب سطحی و زیرزمینی) محدودیتی بزرگ برای خانوارهای کشاورز است که آن‌ها را در برابر تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی آسیب‌پذیرتر می‌کند (Karimi et al., 2021). از سویی، توپوگرافی و شرایط اقلیمی خاص در کنار سایر شرایط خاص محیطی مانند قرار گرفتن در دامنه‌های رشته‌کوه زاگرس، تنوع زیادی در بوم‌سازگان و زیستگاه‌های این استان ایجاد کرده است. با این حال، توسعه برنامه‌ریزی نشده، رشد جمعیت و تشدید فعالیت‌های کشاورزی در طول چند دهه گذشته، بوم‌سازگان شکننده و تنوع زیستی غنی منطقه را به مخاطره انداخته است. لذا، این استان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد (Maleksaeidi &

2022). ارزیابی تناسب زمین، یک رویکرد مهم در این زمینه است که به تدوین استراتژی‌هایی برای برنامه‌ریزی منطقی استفاده از زمین، استفاده پایدار و مناسب از منابع طبیعی و افزایش بهره‌وری کشاورزی کمک می‌کند (Mushtaq et al., 2023; Hudait & Patel, 2022); چرا که هر یک از محصولات کشاورزی، شرایط اقلیمی خاصی برای کشت نیاز داشته و برنامه‌ریزی فضایی مناسب و متوازن با قابلیت اراضی برای تولید محصولات کشاورزی جهت تأمین نیازهای غذایی جمعیت در حال رشد جهان در شرایط تغییر اقلیم بسیار حائز اهمیت است (Mitra et al., 2023). در این بین، استفاده از مدیریت پایدار زمین با استفاده از فناوری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌عنوان ابزار ضروری ارزیابی تناسب زمین، راهگشای استفاده از زمین در آینده است. GIS می‌تواند با استفاده از داده‌های مکانی مختلف، ضمن شناسایی محدودیت‌های زمین، به افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی و تضمین کشاورزی پایدار در منطقه کمک کند (Nungula et al., 2024). محدودیت زمین و فشار بر منابع آبی و خاکی در کشورهای در حال توسعه، سلامت و بهره‌وری بخش کشاورزی را بیش از سایر نقاط جهان تحت تأثیر قرار داده است (Mitra et al., 2023). با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور ایران (Khazaei et al., 2021) و قرارگیری بیش از ۶۰ درصد مساحت کشور در چنین مناطقی (Rahimi et al., 2021)، خشکی و محدودیت منابع آبی، عملکرد و تولید محصولات کشاورزی را بیش از هر تنش دیگری تحت تأثیر قرار داده و خسارت‌های فراوانی را به بار می‌آورد (Mohammadi, 2022; Moradi et al., 2019; Sharifzadeh et al., 2023). این در حالی است که بخش کشاورزی در کشور ایران یکی از سه بخش اصلی اقتصاد است که نقش مهمی در تأمین مواد غذایی، رفاه اجتماعی و تولید ناخالص داخلی (GDP) دارد. بخش کشاورزی با توجه به ارتباطات گسترده‌ای که با سایر بخش‌های اقتصادی دارد، زمینه را برای تولید ثروت، ایجاد بازار و تولید ارز فراهم می‌کند (Zamaniae et al., 2023). میانگین بارندگی سالانه در ایران ۲۵۰ میلی‌متر است که حدود یک‌سوم میانگین بارندگی سالانه جهان است (Kheyruri et al., 2023). تقریباً ۲۵ درصد از جمعیت ایران در مناطق روستایی زندگی می‌کنند و بیشتر آن‌ها به فعالیت‌های کشاورزی اشتغال دارند. از آنجایی‌که کشاورزی منبع اصلی درآمد

سطح زیرکشت بادام آبی به خود اختصاص داده است (جدول ۱). این استان از نظر میزان تولید بادام دیم در رتبه اول کشور و از نظر میزان تولید بادام آبی، در رتبه ششم کشور قرار گرفته است، در حالی که استان فارس از نظر سطح زیرکشت و میزان تولید بادام رتبه اول کشور را داراست، اما از نظر عملکرد بادام دیم و آبی، وضعیت مناسبی ندارد و به ترتیب در رده‌های ۱۶ و ۱۰ کشور قرار دارد (Ministry of Agricultural Jihad, 2022b). این ممکن است به عوامل زیادی نسبت داده شود، یکی از دلایل آن ممکن است کشت بادام در مناطق نامناسب باشد. اگرچه عوامل دیگری مانند آفات و بیماری‌ها، حاصلخیزی خاک و شیوه‌های بد زراعی ممکن است باعث تولید کم بادام شوند، زمین‌های نامناسب همچنان مانع از حداکثر بازده بالقوه بادام می‌شوند و بر تولید بادام تأثیر منفی می‌گذارند. به نظر می‌رسد که این استان از تمامی توان و توانمندی خود استفاده ننموده و کاشت درخت بادام در بسیاری از زمین‌های مستعد کشت، مغفول مانده است. تحلیل تناسب زمین شامل ارزیابی‌های کیفی توپوگرافی، پوشش گیاهی، آب‌وهوا و ویژگی‌های خاک است که به‌طور معمول برای هر نوع محصول به‌طور جداگانه انجام می‌شود. ارزیابی تناسب زمین برای محصولات درختی برای تولید کشاورزی در مناطق آسیب‌پذیر بوم-شناسی مناطق نیمه‌خشک بسیار قابل توجه است (Alhajj Ali et al., 2023). هدف اصلی فرآیند مکان‌یابی، جلوگیری از هدررفتن هزینه‌ها و تضمین کارآیی بیشینه می‌باشد و مانند هر فرآیند دیگری برای اجرای مکان‌یابی، وجود داده‌های خام ورودی ضروری است. ورودی‌های مورد نیاز شامل لایه‌های اطلاعاتی مختلف است که از منطقه مورد بررسی تهیه می‌شود که باید پیش از ورود به مدل‌های مکان‌یابی آماده‌سازی شوند. خروجی مدل‌های مکان‌یابی، مکان‌های مناسب برای ایجاد فعالیتی خاص می‌باشد که نتیجه ارزیابی و تلفیق داده‌های ورودی است. مطالعه تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر، تحقیقات متعددی در رابطه با تعیین مناطق مستعد کاشت درختان با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تهیه نقشه‌های مرتبط در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در داخل و خارج کشور صورت پذیرفته است که در ادامه، به چند مورد از این مطالعات اشاره شده است.

(Keshavarz, 2019). رخداد خشکسالی‌های مداوم اخیر همراه با افزایش برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و کاهش سطح این منابع در استان فارس (Solimani et al., 2021)، لزوم استفاده از گیاهان مقاوم به چنین آب‌وهوایی را آشکار می‌سازد (Rahimi et al., 2021). بادام (*Amygdalus communis* L.) یکی از درختان میوه مقاوم به کم‌آبی است (Borji et al., 2015) و به-عنوان گونه‌ای سازگار با خاک‌های سنگلاخی، آهکی و خشک برای احداث باغ در زمین‌های شیب‌دار کشور مورد توجه فراوان است (Moradi et al., 2019)، به‌گونه‌ای که ایران در بین کشورهای تولیدکننده بادام پس از آمریکا، اسپانیا، سوریه و ایتالیا در رتبه پنجم قرار دارد (Tavakoli et al., 2021).

محصول بادام علاوه بر دارا بودن ارزش غذایی بالا، موجب بهبود کیفیت بوم‌سازگان، افزایش درآمد مزرعه و ایجاد فرصت‌های شغلی اساسی می‌شود (Alhajj Ali et al., 2023). لذا، به‌عنوان محصولی مهم و اقتصادی کشت شده (Abouei et al., 2021) و یکی از نمونه‌های مهم صادراتی کشور محسوب می‌گردد (Ministry of Agricultural Jihad, 2022b). صادرات هر کیلوگرم بادام حدود ۱۵ دلار ارزیابی دارد که بیانگر اهمیت اقتصادی، ضرورت سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی برای توسعه سطح زیرکشت و افزایش تولید این محصول است (Ahmadzadeh Chaleshtori et al., 2020). با توجه به اینکه عملکرد زراعت دیم نسبت به زراعت آبی از سالی به سال دیگر، و از یک مکان به مکانی دیگر به‌شدت متغیر است، این موضوع نشان می‌دهد که آب‌وهوا عامل اصلی در تغییرات عملکرد است. به همین علت، از عوامل موفقیت تولید محصول در نظام کشت دیم، شناخت شرایط مکانی، محیطی و اقلیمی است. با شناسایی نیازهای بوم‌شناختی و همچنین محدودیت‌ها و توانمندی‌های محیطی، می‌توان به عملکرد بیشتر و پایدار در واحد سطح همراه با حفظ منابع دست یافت (JafarNodeh et al., 2023). کشت دیم در کشور با توجه به رشد جمعیت و کافی نبودن اراضی تحت کشت آبی برای تولید محصولات راهبردی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در ایران سال‌ها است که در بیشتر مناطق نیمه‌کوهستانی، درختان بادام به‌صورت دیم کاشته شده‌اند (Khalili Torghabe et al., 2022).

استان فارس یکی از مناطق مستعد کشت بادام است که رتبه اول کشور را از نظر سطح زیرکشت بادام دیم و رتبه ششم کشور را از نظر

جدول ۱- سطح، میزان تولید و عملکرد محصول بادام
Table 1- Area, production rate and yield of almond crop

	سطح غیر بارور Non-fertile area (ha)			سطح بارور Fertile area (ha)		
	آبی Irrigated	دیم Dry	جمع Total	آبی Irrigated	دیم Dry	جمع Total
فارس Fars	686	6668	7354	5564	21808	27373
کشور Country	7009	9368	16377	78160	59876	138036
رتبه Rank	2	1	1	6	1	1

	میزان تولید Production rate (t)			عملکرد Yield (kg.ha ⁻¹)		
	آبی Irrigated	دیم Dry	پراکنده Scattered	جمع Total	آبی Irrigated	دیم Dry
فارس Fars	7005	14705	10	21719	1259	674
کشور Country	86558	31278	1385	119221	1107	522
رتبه Rank	6	1		1	16	10

منبع: (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۱ الف)

Source: (Ministry of Agricultural Jihad, 2022b)

قسمت مرکزی شهرستان به دلیل هوای سردتر، مراحل فنولوژی دیرتر آغاز می‌گردد و مناطق محدودی از شمال، شمال غرب و شمال شرق با یخبندان دیررس بهاره مواجه است. نتایج نشان داد که شمال غرب این شهرستان در معرض یخبندان‌های کشنده قرار دارد. یزدان‌پناه و همکاران (Yazdanpanah et al., 2006) در تحقیقی به مکان‌گزینی اراضی مستعد کشت بادام در استان آذربایجان شرقی پرداختند. پس از اعمال ضرایب وزنی و هم‌پوشانی پنج نقشه، ارتفاع، تناسب بارش، احتمال وقوع سرمای بهاره، واحدهای حرارتی، رطوبت نقشه نهایی هم‌اقلیمی کشاورزی مناطق مستعد کشت بادام دیم در استان آذربایجان شرقی تهیه شد. نقشه به چهار پهنه مناطق بسیار مطلوب، نسبتاً مطلوب، مناطق ضعیف و نامناسب تقسیم شدند.

برجی و همکاران (Borji et al., 2015) در مطالعه‌ای به مکان-گزینی اراضی مستعد کشت بادام دیم در حوضه آبخیز فاروب رومان در شهرستان نیشابور با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. یافته‌ها بیانگر قابلیت بالای اراضی منطقه برای کشت بادام دیم و همچنین انعطاف‌پذیری بیشتر و عملکرد بهتر روش فازی نسبت به روش بولین برای مکان‌یابی مناطق مستعد کشت بادام بود. در تحقیقی با استفاده از سامانه تصمیم‌گیری چند معیاره فضایی به

در مطالعه‌ای، باقری بدآبادی و همکاران (Bagheri Bodaghabadi et al., 2020) به ارزیابی تناسب شهرستان سامان استان چهارمحال و بختیاری برای کاربری باغ پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که براساس ویژگی‌های اقلیمی و خاکی، مناطق مختلف درجه تناسب یا توان بوم‌شناسی متفاوتی دارند. مهم‌ترین محدودیت‌های موجود، محدودیت‌های عمق خاک، سنگریزه، شیب و اقلیمی تشخیص داده شد. جوزی و مرادی مجد (Jozi & Moradi Majd, 2020) در تحقیقی با روش تصمیم‌گیری چند معیاره به ارزیابی توان بوم‌شناسی رویشگاه بادام کوهی در منطقه زاگرس جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد که در حدود ۵۹۹ هکتار معادل ۳۵/۵۹ درصد از منطقه در وضعیت عالی، ۴۷۱ هکتار معادل ۲۷/۹۷ درصد در وضعیت خوب و ۶۱۴ هکتار معادل ۳۶/۴۴ درصد در وضعیت ضعیف می‌باشد. میرعباسی نجف‌آبادی و همکاران (Mirabbasi Najafabadi et al., 2015) با بررسی تأثیر اقلیم بر فنولوژی بادام در شهرستان نجف‌آباد در دمای فعال بیان نمودند، در قسمت جنوب و جنوب شرقی و نواحی محدودی از شرق شهرستان به دلیل زمستان-های گرم‌تر و میانگین دمای روزانه بالاتر، مراحل فنولوژی بادام سریع‌تر آغاز شده و امکان یخبندان دیررس بهاره وجود دارد. در

نمود. علی‌رغم اینکه مطالعات مختلفی به ارزیابی تناسب زمین برای محصولات کشاورزی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و ملی مختلف با استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ MCDM و GIS پرداخته‌اند، پژوهش‌های محدودی در مورد انتخاب مکان مناسب کاشت بادام دیم با استفاده از ادغام GIS-MCDM وجود دارد. لذا، مطالعه حاضر برای کمک به پر کردن این شکاف دانش طراحی شده است. هدف از این مطالعه، تحلیل تناسب زمین برای کاشت بادام دیم در استان فارس و تهیه نقشه تناسب اراضی برای کاشت بادام دیم با ادغام الگوریتم تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۲ - فازی با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور بهبود کمی و کیفی تولید بادام دیم در استان فارس است. نتایج ارزیابی تناسب زمین می‌تواند به ایجاد مقررات کاربری کارآمد زمین برای مدیریت بلندمدت مناطق کاشت بادام دیم کمک کند و در نتیجه، باعث افزایش تولید بادام دیم در استان فارس شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲ شمسی، با هدف تعیین مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم در استان فارس با بهره‌گیری از تکنیک‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شد. بدین منظور، ابتدا، ساختار سلسله مراتبی برای اولویت‌بندی معیارها و زیرمعیارها مشخص شد. معیارهای برآورد سطح مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم شامل چهار معیار (اقلیمی، توپوگرافی، سازگاری محیطی و اقتصادی-اجتماعی) و ۱۴ زیرمعیار ارتفاع از سطح دریا، شیب اراضی، جهت شیب، کاربری اراضی، بافت خاک، دمای رشد جوانه، حداقل دمای مرحله گل‌دهی، رطوبت نسبی مرحله گل‌دهی، دمای دوره رشد، دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن، میانگین بارش سالیانه، دسترسی به جاده، دسترسی به منابع آبی و دسترسی به مراکز جمعیتی بود که با توجه به شرایط بوم‌شناسی منطقه و با بهره‌گیری از منابع معتبر و نظرات خبرگان و متخصصان مرتبط با موضوع تحقیق انتخاب شدند. برای به‌دست آوردن اطلاعات و آمار اقلیمی از آمار ۱۴ ساله (۲۰۲۲-۲۰۰۹)، ۲۰ ایستگاه سینوپتیک استان فارس و همچنین، هشت ایستگاه سینوپتیک (هم‌دید) هم جوار به‌عنوان ایستگاه‌های کمکی استفاده شد. مبنای انتخاب

تحلیل تناسب زمین حال و آینده برای محصولات بادام و پسته در منطقه Beira Baixa پرداخته شد. براساس یافته‌ها، در شرایط کنونی حدود ۱۶/۴ درصد از مساحت منطقه برای درخت بادام بسیار مناسب و ۱۵/۹ درصد مناسب درخت پسته هستند. برای سناریوهای آینده، مساحت با تناسب بالا هم برای درخت بادام و هم برای درخت پسته افزایش خواهد یافت (Quinta-Nova & Ferreira, 2022). در پژوهشی، اوتینو و همکاران (Otieno et al., 2023) با استفاده از تکنیک GIS-AHP به ارزیابی تناسب زمین برای تولید فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) در شهرستان نایروبی کنیا پرداختند. نتایج نشان داد که حدود ۵۰ درصد از اراضی شهرستان کیامبو، هشت درصد در شهرستان کاجیادو و ۱۲ درصد در شهرستان ماچاکوس برای تولید فلفل دلمه‌ای مناسب است. مناطق باقی‌مانده به دلیل وجود برخی محدودیت‌ها از جمله بافت، pH خاک، زهکشی و آب‌وهوای نامساعد برای تولید این محصول مناسب نمی‌باشند. در تحقیقی، آلمایهو (Alemayehu, 2023) به ارزیابی تناسب زمین سایت تحقیقاتی سینانا در جنوب شرقی اتیوپی برای کاشت گندم و جو پرداختند. مطابق با نتایج، بیش از دوسوم سایت تحقیقاتی برای پرورش جو در حد اندکی مناسب بود، اما ۲۹/۸ درصد از منطقه برای کشت این محصول "نامناسب" بود. همچنین ۵۷/۶ درصد از سطح منطقه برای تولید گندم در حد اندکی مناسب بود و ۴۲/۴ درصد باقی‌مانده آن نامناسب بود. کمبود نیتروژن، فسفر و قلیائیت خاک از محدودیت‌های اصلی تناسب زمین برای هر دو محصول بودند. بنابراین، استفاده تلفیقی از کودهای معدنی و آلی و کشت تناوب حبوبات با گندم و جو برای کاهش کمبود نیتروژن و فسفر در خاک توصیه شد. در تحقیقی (Everest, 2021)، به تعیین مکان‌های مناسب برای کشت پسته (*Pistacia vera*) با استفاده از خصوصیات پایه خاک، داده‌های اقلیمی، شرایط ارتفاعی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تجزیه و تحلیل تصمیم چند معیاره (MCDA) در منطقه خلیج ادرمیت، شمال غربی ترکیه پرداختند. نتایج نشان داد که در منطقه خلیج ادرمیت، ۲۷۸۹۸ هکتار مساحت بسیار مناسب، ۸۴۰۹ هکتار نسبتاً مناسب، ۱۲۱۷۲ هکتار در حد کمی مناسب و ۲۴۷۶۳۳ هکتار برای کشت پسته نامناسب است.

همان‌طور که مرور مطالعات گذشته نشان داد، با بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تهیه نقشه‌های مرتبط در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توان مناطق مستعد کاشت را شناسایی

1- Multi-Criteria Decision Making

2- Analytical Hierarchy process

سطح مناطق مستعد کاشت درخت بادام در پنج طبقه بسیار مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، تناسب کم و نامناسب طبقه‌بندی شد.

نتایج و بحث

وزن دهی به معیارها و زیرمعیارها به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که اولین بار توسط توماس ال-ساعتی (۱۹۸۷) (Del Mar Esponda-Bernal et al., 2024) مطرح شد. این مدل براساس مقایسه زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران و برنامه‌ریزان می‌دهد. بدین منظور، ابتدا ساختار سلسله مراتبی مسئله طراحی می‌شود که در آن هدف، معیارهای برآورد سطح کاشت درخت بادام مشخص می‌گردد. برای تعیین معیارها، با توجه به اینکه معیارهای متعددی در برآورد سطح کاشت درخت بادام نقش دارند، با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان و متخصصان این حیطه، در نهایت، چهار معیار و ۱۴ زیرمعیار انتخاب شدند. جهت وزن‌دهی معیارهای برآورد سطح کاشت درخت بادام در استان فارس، پس از توزیع و تکمیل پرسش‌نامه از کارشناسان مرتبط با موضوع تحقیق (شامل تعداد ۲۵ نفر از پژوهشگران مراکز تحقیقاتی، کارشناسان جهاد کشاورزی و کشاورزان پیشرو کاشت درخت بادام دیم) با مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارهای تحقیق، اطلاعات آن وارد نرم‌افزار Expert Choice شد. میزان شاخص ناسازگاری برای مقایسه معیارها و زیرمعیارها باید کمتر از ۰/۱ باشد. برای بررسی وضعیت پهنه‌ها به تفکیک زیرمعیارهای مورد بررسی، نیازهای مراحل مختلف روشی بادام با استفاده از منابع معتبر و مشاوره با کارشناسان جهاد کشاورزی تعیین شد. تقسیم‌بندی هر زیرمعیار به زیر گروه‌های مناسب، نسبتاً مناسب، تناسب کم و نامناسب براساس کتب و مقالات علمی و نظر متخصصان و کارشناسان محترم جهاد کشاورزی استان فارس انجام شد. سپس، براساس نیاز روشی بادام دیم، ارزش‌گذاری و طبقه‌بندی شد. تعداد طبقات و درصد مساحت هر طبقه در هر لایه برای کاشت درخت بادام در استان فارس محاسبه شد.

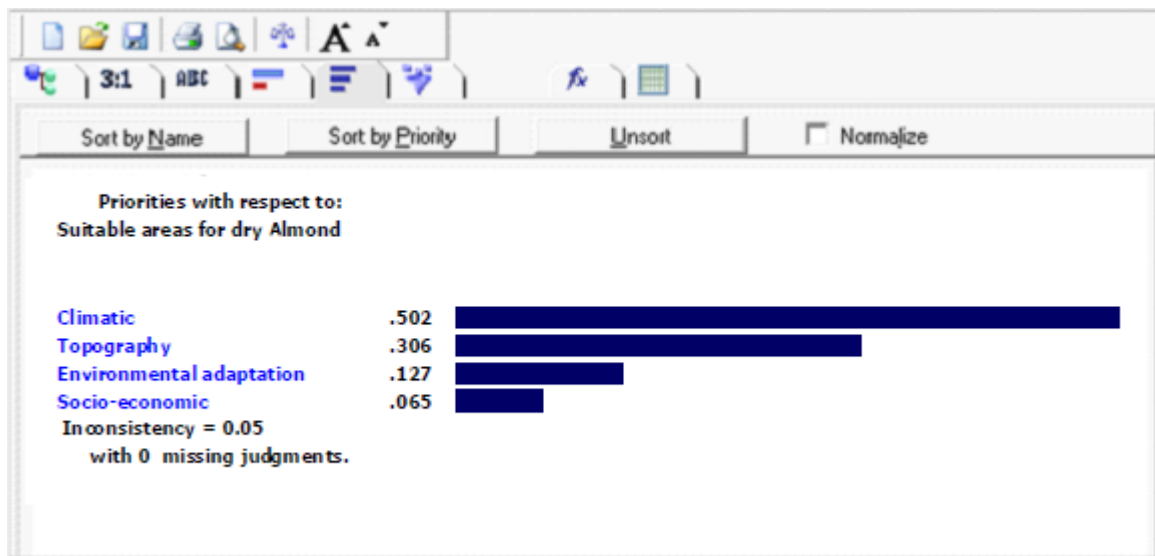
در این تحقیق، میزان شاخص ناسازگاری برای مقایسه معیارها، ۰/۰۵ برآورد شد. در نتیجه، این مقایسه معتبر است. نتایج مقایسه زوجی نشان داد که بیشترین وزن نهایی مربوط به معیار اقلیم با وزن

ایستگاه‌های هواشناسی، طول دوره آماری و پیوسته بودن (نبود خلاً آماری) بود. اطلاعات مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور (Iran Meteorological Organization (<http://www.irimo.ir>) اخذ و بررسی شد. برای میانگین‌گیری از آمار روزانه دوره‌های فنولوژی بادام در محیط Excel، مقادیر محاسبه شده در محیط GIS به روش IDW (تابع معکوس فاصله) مکان‌یابی و به پهنه‌های مختلف تبدیل شد. در روش IDW مقدار مجهول یک کمیت در هر نقطه براساس مقدار آن در نقاط معلوم و وزن فاصله به دست می‌آید، به گونه‌ای که با کم‌تر شدن فاصله نقطه مجهول از معلوم، وزن فاصله آن بیشتر می‌شود و برعکس. این روش توسط پژوهشگران فراوانی جهت درون‌یابی و پهنه‌بندی متغیرهای محیطی - اقلیمی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Osei-; Mushtaq et al., 2023; Kaboosi, 2020; Gyabaah et al., 2023). مقیاس عمومی همه لایه‌ها ۱:۳۰۰۰۰۰۰ و سامانه تصویر همه آن‌ها UTM بود. همچنین، با استفاده از DEM ۳۰ متری استان طبقات ارتفاعی، درصد شیب و جهت شیب برای کل استان در محیط GIS تهیه شد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، از نقشه پوشش - کاربری اراضی سال ۱۳۸۸ سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (تهیه شده برای کل کشور به تفکیک استان‌ها) استفاده شد. سپس، منطقه مورد مطالعه از نقشه جدا شد (Karami & Fegghi, 2012) و با کمک این نقشه، نواحی مساعد کاشت بادام در استان استخراج و طبقه‌بندی شد. تقسیم‌بندی هر معیار به زیرگروه‌های مناسب، نسبتاً مناسب، تناسب کم و نامناسب براساس کتب و مقالات علمی و نظر متخصصان و کارشناسان محترم جهاد کشاورزی استان فارس انجام شد. داده‌های بافت خاک براساس نقشه جهانی خاک و با استفاده از پایگاه داده‌ای و نرم‌افزار SWAT (SWAT2012.mlb) با عنوان usersoil با متصل نمودن پیکسل‌های منطبق بر نقشه‌های جهانی و پایگاه داده‌ای مدل SWAT با محدوده استان فارس، تطبیق و تهیه شد. وزن معیارها و زیرمعیارهای تحقیق با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و نرم‌افزار Expert Choice نسخه ۱۱ محاسبه شد. لایه‌ها در محیط GIS براساس روش فازی خطی استانداردسازی شدند و در فاصله‌ای بین صفر تا یک به صورت لایه‌های رستری فازی ارزش‌گذاری شد. سپس امتیازهای فازی و وزن‌های به دست آمده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ترکیب شد و در نهایت، از الگوریتم Fuzzy overlay برای هم‌پوشانی لایه‌های موضوعی مختلف استفاده و نقشه برآورد

توپوگرافی، زیرمعیار ارتفاع با وزن ۰/۵۵، در معیار سازگاری محیطی، زیرمعیار کاربری اراضی با وزن ۰/۴۴ و در معیار اقتصادی-اجتماعی، زیرمعیار فاصله تا جاده با وزن ۰/۶۷ دارای بیشترین میزان اهمیت است. نرخ ناسازگاری معیار اقلیمی، ۰/۰۴، معیار توپوگرافی ۰/۰۲، معیار سازگاری محیطی ۰/۰۲، معیار اجتماعی-اقتصادی ۰/۰ محاسبه شد که حاکی از قابل اعتماد بودن ارزیابی‌ها می‌باشد.

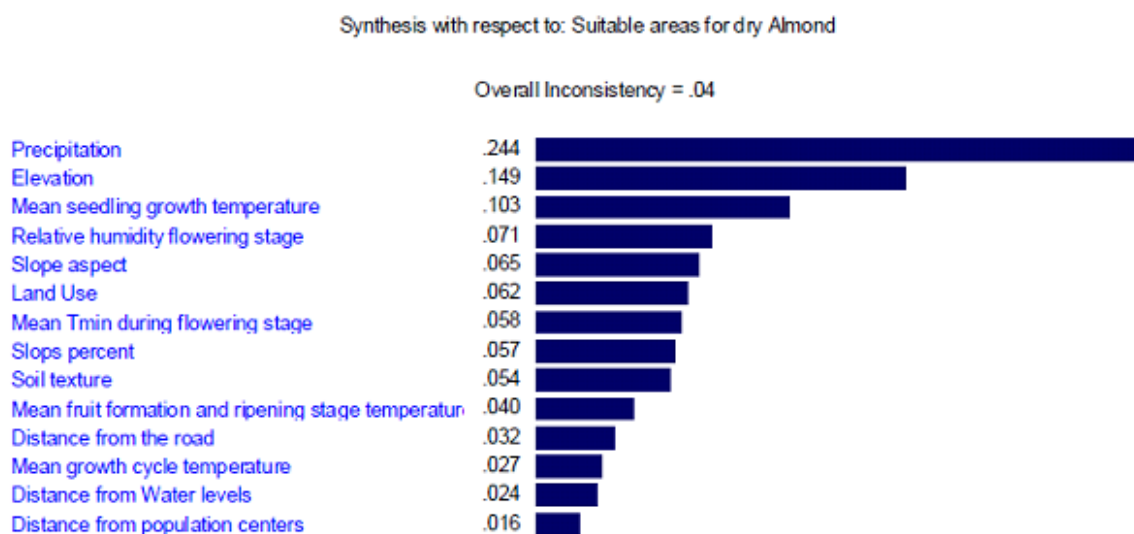
۰/۵۰ است، لذا اقلیم به‌عنوان مهم‌ترین معیار معرفی شد. معیار توپوگرافی با ارزش وزنی ۰/۳۱، سازگاری محیطی با وزن ۰/۱۳، معیار اقتصادی-اجتماعی با وزن ۰/۰۶ به‌ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند (شکل ۱).

جدول ۲، وزن زیرمعیارهای مورد مطالعه را در هر معیار نشان می‌دهد. نتایج مقایسه‌های زوجی نشان داد که در معیار اقلیمی، بیشترین وزن مربوط به زیرمعیار متوسط بارش سالیانه است. در معیار



شکل ۱- درجه اهمیت معیارهای مؤثر بر بادام دیم با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice و روش تحلیل سلسله مراتبی

Fig. 1- The importance of criteria affecting rainfed almond using Expert Choice software and Analytic Hierarchy Process method



شکل ۲- وزن نهایی زیرمعیارهای مؤثر بر کاشت بادام دیم مستخرج از نرم‌افزار Expert Choice

Fig. 2- Final weight of sub-criteria affecting the dry almond cultivation extracted from Expert Choice software

نرخ ناسازگاری محاسبه شده، درستی نتایج را تأیید نمود.

شکل ۲، درجه اهمیت زیرمعیارهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم
(الف) پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم
براساس داده‌های اقلیمی

شاخص‌های آب‌وهوایی مرتبط با رشد بادام براساس مراحل مختلف رویشی و استفاده از منابع معتبر و مشاوره با کارشناسان جهاد کشاورزی تعیین شد. سپس برای هر ایستگاه، از آمار روزانه دوره‌های فنولوژی بادام (ارائه شده در جدول ۳) در محیط Excel میانگین‌گیری شد.

براساس یافته‌های قابل رؤیت در این شکل، بیشترین وزن نهایی مربوط به معیار متوسط بارش سالیانه (یا وزن ۰/۲۴) است. در واقع، زیرمعیار متوسط بارش سالیانه به‌دلیل میزان اهمیت آن در کاشت بادام دیم به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیار شناخته شد. سپس، زیرمعیار ارتفاع از سطح دریا (با وزن ۰/۱۵) در رتبه دوم و زیرمعیار میانگین دمای رشد جوانه با وزن ۰/۱۰ در رتبه سوم اهمیت قرار گرفت. کم-اهمیت‌ترین زیرمعیار نیز فاصله از مراکز جمعیتی با وزن ۰/۰۲ معرفی شد. نرخ کلی ناسازگاری شاخص‌های مورد مطالعه ۰/۰۴ می‌باشد، بنابراین این میزان به‌دست آمده نشان می‌دهد که ارزش‌دهی زیرمعیارهای تحقیق تأیید شده و پذیرفته شده است؛ به عبارت دیگر،

جدول ۲- وزن زیرمعیارهای مورد مطالعه در هر معیار با استفاده از روش تحلیل سلسه مراتبی

Table 2- Sub-criteria weights of the study area in each criterion using the Analytic Hierarchy Process method

معیارها Criteria	وزن معیارها Criteria weights	زیرمعیارها Sub-criteria	وزن زیرمعیار در دسته Sub-criteria weights	نرخ ناسازگاری Inconsistency rate
اقلیمی Climatic	0.50	بارش Precipitation (mm)	0.45	0.04
		میانگین دمای رشد جوانه Mean seedling growth temperature (°C)	0.19	
		رطوبت نسبی مرحله گل‌دهی Relative humidity flowering stage (%)	0.13	
		میانگین حداقل دما مرحله گل‌دهی Mean T _{min} during flowering stage (°C)	0.11	
		میانگین دمای چرخه رشد Mean growth cycle temperature (°C)	0.05	
		میانگین دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن Mean fruit formation and ripening stage temperature (°C)	0.07	
		ارتفاع Elevation (m)	0.55	
توپوگرافی Topography	0.31	جهت شیب Slope aspect	0.24	0.02
		درصد شیب Slopes percent	0.21	
		بافت خاک Soil texture	0.39	
سازگاری محیطی Environmental adaptation	0.13	فاصله تا منابع آبی Distance from water levels	0.17	0.02
		کاربری اراضی Land use	0.44	
		فاصله تا مراکز جمعیتی Distance from population centers	0.33	
اجتماعی - اقتصادی Socio-economic	0.06	فاصله تا جاده (متر) Distance from the road (meters)	0.67	0.0

جدول ۳- دوره‌های فنولوژی بادام در ایستگاه‌های مورد بررسی
Table 3- Phenological stages of almonds at the studied stations

مرحله Stage	رشد جوانه Seedling growth	مرحله گل‌دهی Flowering stage	چرخه رشد Growth cycle	تشکیل میوه و مرحله رسیدن Fruit formation and ripening stage
آباده؛ ارسنجان؛ استهبان؛ فسا؛ نیریز؛ درودزن؛ صفاشهر؛ شیراز؛ تخت جمشید؛ یاسوج؛ زرگان Abadeh; Arsanjan; Estahban; Fasa; Neyriz; Dorudzan; Safashahr; Shiraz; Persepolis; Yasouj; Zarqan	۱۵-۲۵ اسفند 6-16 March(3)	۲۵ اسفند- ۱۰ فروردین 16-30 March(3)	۱۵ اسفند-۳۰ مهر 6 March(3)-22 October(10)	۱۰ فروردین- ۳۰ مهر 30 March(3)- 22 October(10)
چهرم؛ کازرون؛ لامرد؛ نورآباد ممسنی؛ زرین‌دشت؛ دیلم؛ بستک؛ جم؛ بوشهر Jahrom; Kazerun; Lamerd; Nurabad Mamasani; Zarin Dasht; Bandar Deylam; Bastak; Jam; Bushehr	۲۵-۱۰ بهمن 30 January(1)-14 February(2)	۲۵ بهمن- ۱۰ اسفند 14 February(2)-1 March(3)	۱۰ بهمن- ۱۵ آبان 30 January(1)- 6 November(11)	۱۰ اسفند-۱۵ آبان 1 March(3)- 6 November(11)
بوانات؛ اقلید؛ ایزدخواست؛ سپیدان Bavanat; Izadkhasht; Sepidan	۲۵-۱۵ فروردین 4 April(4)-14 April(4)	۳۱-۲۲ فروردین 11 April(4)-20 April(4)	۱۵ فروردین- ۳۱ شهریور 4 April(4)-22 September(9)	۳۱ فروردین- ۳۱ شهریور 20 April(4)-22 September(9)
سمیرم Semirom	۱۵-۱ فروردین 21 March(3)- 4 April(4)	۲۵-۱۵ فروردین 4 April(4)- 14 April(4)	۱ فروردین- ۲۵ مهر 21 March(3)- 17 October(10)	۲۵ فروردین- ۲۵ مهر 14 April(4)- 17 October(10)
سیرجان Sirjan	۲۰-۵ اسفند 24 February(2)-11 March(3)	۲۵ اسفند - ۱۵ فروردین 16 March(3)-4 April(4)	۵ اسفند- ۳۰ آبان 24 February(2)-21 November(11)	۱۵ فروردین-۳۰ آبان 4 April(4)-21 November(11)
اصفهان Isfahan	۲۹-۱۵ اسفند 6 March(3)-20 March(3)	۲۰-۵ فروردین 25 March(3)-9 April(4)	۱۵ اسفند- ۱ آبان 6 March(3)-23 October(10)	۲۰ فروردین-۱ آبان 9 April(4)- 23 October(10)

منبع: سالنامه آماری استان فارس - ۱۴۰۰؛ زین‌الدینی میمند و همکاران (۱۳۹۸ الف)

Source: (Doke et al., 2021; Zainaldeen Meymand et al., 2019a)

فارس درج گردیده است.

لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی همسان‌سازی شد. وزن زیرمعیارهای اقلیمی (لایه‌های میانگین دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن، میانگین دمای چرخه رشد، درصد رطوبت نسبی مرحله گل‌دهی، میانگین دمای رشد جوانه و بارش سالیانه) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP محاسبه و در محیط GIS براساس منطق فازی در فاصله‌ای بین صفر تا یک به صورت لایه‌های رستری فازی ارزش‌گذاری شد. به منظور پهنه‌بندی استان فارس براساس معیارهای اقلیمی از نظر قابلیت کشت بادام پس از فازی‌سازی لایه‌های زیرمعیارهای اقلیمی در نرم‌افزار ArcGIS از الگوریتم Fuzzy overlay برای هم‌پوشانی کردن لایه‌ها استفاده شده و نقشه برآورد سطح مناطق مستعد کاشت درخت بادام براساس داده‌های اقلیمی تهیه شد (شکل ۴ الف).

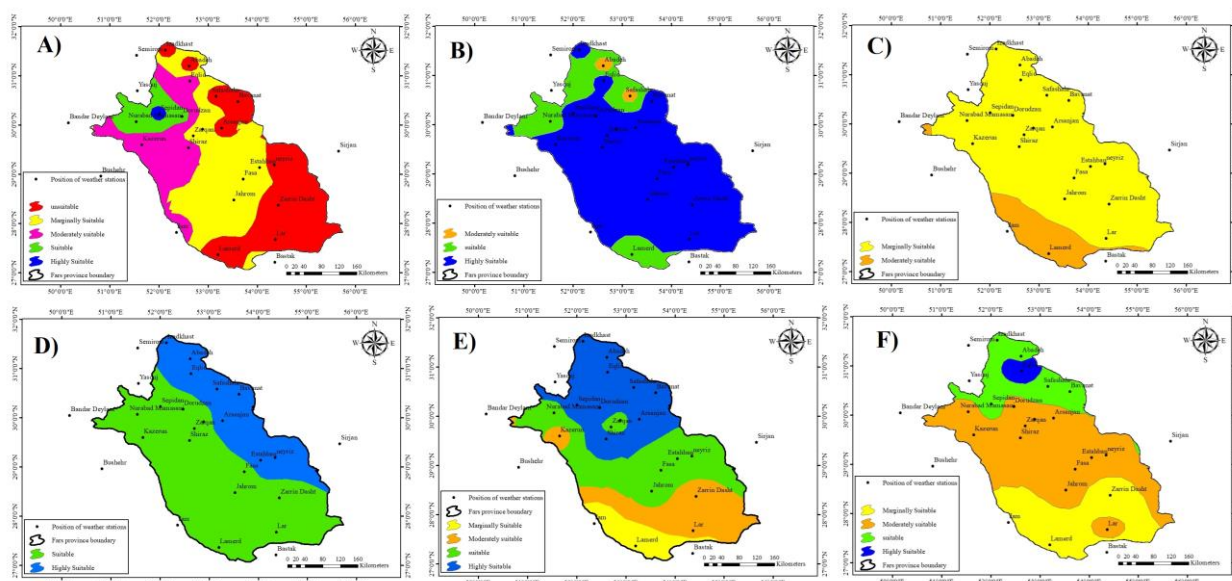
برای ارزیابی هر زیرمعیار اقلیمی، مقدار آن در دوره مربوطه، با استفاده از آمار هواشناسی محاسبه شد (جدول ۴). این زیرمعیارها شامل میانگین دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن، میانگین دمای چرخه رشد، رطوبت نسبی مرحله گل‌دهی، میانگین حداقل دمای مرحله گل‌دهی و میانگین دمای رشد جوانه در یک دوره ۱۴ ساله (۲۰۲۲-۲۰۰۹) بود.

میانگین دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن، میانگین دمای چرخه رشد، درصد رطوبت نسبی مرحله گل‌دهی، میانگین دمای رشد جوانه و بارش سالیانه در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در محیط GIS تحلیل شد و سپس براساس نیاز رویشی بادام دیم ارزش-گذاری و طبقه‌بندی شد. تعداد طبقات و درصد مساحت هر طبقه در هر لایه برای کاشت درخت بادام در استان فارس محاسبه شد. در جدول ۵، مساحت به کیلومتر مربع و درصد پوشش سطح استان، در طبقه با قابلیت بسیار مناسب تا نامناسب برای کاشت بادام در استان

جدول ۴- اطلاعات مختصات دار جهت ورود به GIS
Table 4- Coordinate information for entry into GIS

شهرستان County	X	Y	میانگین دمای رشد جوانه Mean seedling growth temperature	میانگین حداقل دما مرحله گل‌دهی Mean T _{min} during flowering stage	رطوبت نسبی مرحله گل‌دهی Mean RH. flowering stage	میانگین دما چرخه رشد Mean growth cycle temperature	میانگین دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن Mean fruit formation and ripening stage temperature	بارش Precipitation (mm)
آباده Abadeh	52.62	31.20	9.89	4.05	34.63	20.45	21.62	139.7
ارسنجان Arsanjan	53.28	29.94	13.24	7.96	39.08	24.93	26.25	230.5
استهبان Estahban	54.05	29.14	15.38	7.09	39.72	25.08	26.27	260.5
فسا Fasa	53.72	28.90	14.34	7.17	48.68	25.62	26.89	287.2
تخت جمشید Persepolis	52.89	29.92	13.94	5.55	47.18	25.50	26.81	282.9
درودزن Dorudzan	52.47	30.18	13.27	5.96	45.64	24.66	25.95	445.9
زرقان Zarqan	52.70	29.78	13.89	4.84	48.50	25.34	26.63	298.6
شیراز Shiraz	52.60	29.54	13.86	6.54	40.57	23.78	25.81	315.6
صفاشهر Safashahr	53.16	30.59	9.26	0.26	39.87	20.39	21.63	206.2
نی ریز Neyriz	54.35	29.19	15.60	9.47	35.81	26.65	27.89	195.6
ياسوج Yasuj	51.56	30.70	9.55	3.96	48.99	20.13	21.31	790.1
بوانات Bavanat	53.61	30.48	14.47	7.36	32.18	23.34	24.24	212.1
اقلید Eqlid	52.63	30.90	12.56	6.77	36.86	21.22	22.10	311.1
ایزدخواست Izadkhast	52.13	31.53	13.76	6.60	34.99	23.19	24.15	151.7
سپیدان Sepidan	52.01	30.23	13.23	8.23	44.79	23.58	24.63	631.8
سمیرم Semirom	51.55	31.42	8.71	5.50	41.39	20.22	21.57	502.0
سیرجان Sirjan	55.66	29.47	11.46	7.54	39.08	22.04	23.50	135.5
جهرم Jahrom	53.53	28.48	12.12	5.96	51.55	26.72	28.32	264.2
کازرون Kazerun	51.65	29.60	13.05	8.44	55.53	28.06	29.74	360.1
لامرد Lamerd	53.20	27.36	16.68	10.29	51.52	31.29	32.90	217.3

نورآباد ممسنی								
Nurabad Mamasani	51.54	30.07	11.41	5.88	57.45	26.23	27.90	462.3
زرین دشت								
Zarrin Dasht	54.43	28.37	13.76	7.77	43.83	28.79	30.46	224.9
لار								
Lar	54.37	27.67	13.24	8.62	51.49	27.63	29.22	213.0
اصفهان								
Isfahan	51.71	32.52	12.49	8.31	35.36	23.73	25.46	123.8
بندر دیلم								
Bandar Deylam	50.16	30.05	15.95	11.88	58.47	29.76	31.27	239
بوشهر								
Bushehr	50.82	28.96	16.81	13.65	63.72	26.14	29.23	248
بستک								
Bastak	54.36	27.21	18.29	11.50	53.78	29.82	32.68	262.8
چم								
Jam	52.36	27.82	15.20	10.04	51.29	29.32	30.88	344



شکل ۳- از چپ به راست: الف) نقشه توزیع جغرافیایی بارش سالیانه (میلی‌متر) در استان فارس، ب) نقشه توزیع جغرافیایی میانگین دمای رشد جوانه در استان فارس، ج) نقشه توزیع جغرافیایی میانگین حداقل دمای مرحله گل‌دهی در استان فارس، د) نقشه توزیع جغرافیایی درصد رطوبت نسبی مرحله گل‌دهی در استان فارس، ه) نقشه توزیع جغرافیایی میانگین دمای چرخه رشد (درجه سانتی‌گراد) در استان فارس، ی) نقشه توزیع جغرافیایی میانگین دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن در استان فارس

Fig. 3- From left to right: A) map of annual precipitation distribution (mm) in Fars province, B) map of distribution of mean seedling growth temperature in Fars province, C) map of distribution of mean temperature during flowering stage in Fars province; D) map of distribution of mean RH. flowering stage in Fars province, E) map of distribution of mean growth cycle temperature (in degrees celsius) in Fars province and F) map of distribution of mean fruit formation and ripening stage temperature in Fars province

جدول ۵- وضعیت پهنه‌ها به تفکیک زیرمعیارهای اقلیمی برای کاشت بادام در استان فارس
 Table 5- Status of zoning by climate sub-criteria for almond cultivation in Fars province

گزینه	توصیف قابلیت	مساحت	درصد مساحت
Alternative	Capability description	Area (km ²)	Percentage of area
بارش سالانه Annual precipitation (mm)	>500	719.54	0.59
	400-500	9190.99	7.52
	300-400	23554.78	19.26
	250-300	46277.05	37.85
	<250	42529.63	34.78
میانگین دمای رشد جوانه Mean seedling growth temperature	12-16	98732.11	80.75
	16-19 and 10-12	22068.78	18.05
	7-10 and 19-22	1471.11	1.20
میانگین حداقل دمای مرحله گل‌دهی Mean T _{min} during flowering stage	30-40	16200.91	13.25
	40-60	106071.09	86.75
رطوبت نسبی مرحله گل‌دهی Mean RH. flowering stage	10-15 and 27-29	36559.08	29.90
	0-10 and 29-32	85712.92	70.10
میانگین دمای چرخه رشد Mean growth cycle temperature	17-25	39694.86	32.46
	25-27 and 14-17	42653.61	34.88
	27-29 and 12-14	28794.44	23.55
	10-12 and 29-35	11129.09	9.10
میانگین دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن Mean fruit formation and ripening stage temperature	22-24	3428.48	2.80
	20-22 and 24-25	20023.55	16.38
	17-20 and 25-30	66134.94	54.09
	15-17 and 30-35	32685.04	26.73

داده‌ها، مرز بین طبقات را مشخص می‌نماید. تعداد طبقات و مساحت برحسب کیلومتر مربع و درصد مساحت هر یک در جدول ۶ آورده شده است. محدوده بسیار مناسب برای کشت بادام با مساحت ۶۱۵۰/۲۸ کیلومتر مربع، محدوده مناسب با مساحت ۳۳۳۳۱/۳۵ کیلومتر مربع و محدوده نسبتاً مناسب با مساحت ۲۰۷۷۴/۰۱

با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، زیرمعیارهای اقلیمی مؤثر در پهنه‌بندی اقلیمی مناطق مساعد کاشت بادام در استان فارس، نقشه پهنه‌بندی براساس روش شکست تهیه و در پنج طبقه (بسیار مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، تناسب کم و نامناسب) طبقه‌بندی شد (شکل ۴ ب). روش شکست براساس توزیع نرمال داده‌ها است و نقاط عطف

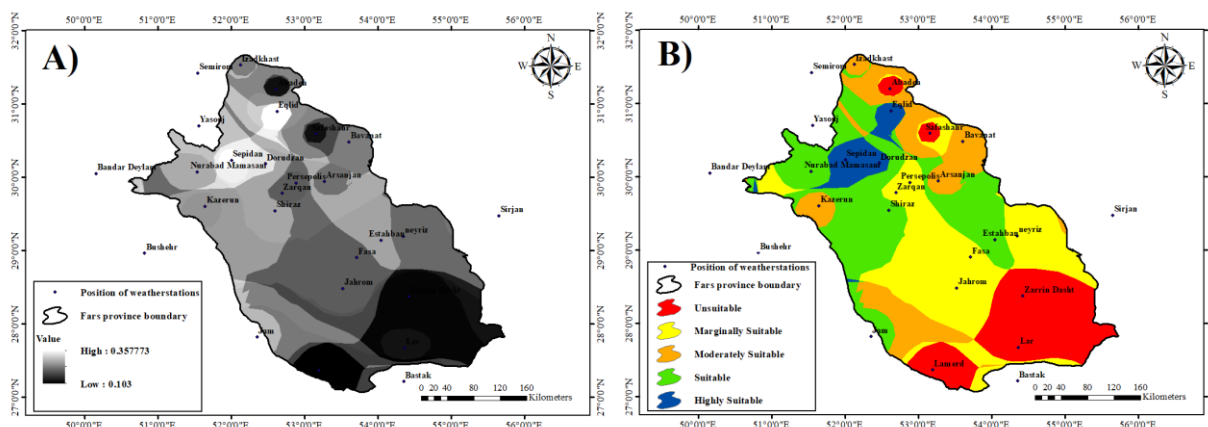
در (شکل ۴ ب) محدوده‌های با آبی رنگ و سبز رنگ، وضعیت اقلیمی بسیار مناسب و مناسب را شامل می‌شوند که نیمی از سطح استان فارس در این محدوده‌ها قرار دارند، بنابراین توزیع فضایی اقلیمی متناسب با کاشت بادام مطلوب بوده است.

کیلومترمربع مجموعاً حدود نیمی از مساحت استان را دربرگرفته است. تناسب اقلیمی کاشت بادام برای ۳۷۲۰۷/۳۷ کیلومترمربع از استان فارس اندک و برای ۲۴۸۰۸/۹۹ کیلومترمربع نامناسب می‌باشد.

جدول ۶- طبقه‌بندی میانگین معیارهای اقلیمی در استان فارس

Table 6- Classification of average climate criteria in Fars province

ردیف	توصیف قابلیت	مساحت	درصد مساحت
Row	Capability description	Area (km ²)	Percentage of area
1	نامناسب Unsuitable	24808.99	20.29
2	تناسب کم Marginally suitable	37207.37	30.43
3	نسبتاً مناسب Moderately suitable	20774.01	16.99
4	مناسب Suitable	33331.35	27.26
5	بسیار مناسب Highly suitable	6150.28	5.03



شکل ۴ - از چپ به راست: الف) نقشه فازی AHP برآورد سطح مناطق مساعد کاشت بادام در استان فارس براساس معیارهای اقلیمی ب) نقشه برآورد سطح مناطق مساعد کاشت بادام در استان فارس براساس معیارهای اقلیمی

Fig. 4- From left to right: A) AHP fuzzy map estimating suitable almond cultivation areas in Fars province based on the topographic criteria, B) map estimating suitable almond cultivation areas in the study area based on the topographic criteria

فراوانی دارند. براساس یک قاعده کلی، با افزایش ارتفاع، بارندگی نیز افزایش می‌یابد (Eini et al., 2013). مناطق کمتر از ۱۷۰۰ متر ارتفاع به دلیل سازگاری بالا از لحاظ ارتفاعی برای کشت بادام مناسب می‌باشند. از نظر ارتفاع، بخش‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه برای کشت بادام مناسب‌تر از سایر نقاط می‌باشند (Borji et al., 2015). ارتفاع ۱ تا ۶۵۰ متر برای رویش بادام بسیار مناسب، ارتفاع ۶۵۰ تا ۱۰۵۰ متر برای رویش بادام مناسب و ارتفاع ۱۰۵۰ تا ۱۴۵۰ متر

پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم براساس داده‌های توپوگرافی به‌منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم براساس داده‌های توپوگرافی، زیرلایه‌های ارتفاع، درصد شیب و جهت‌های اصلی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به‌دست آمد و طبقه‌بندی گردید. ارتفاع: شکل زمین و ارتفاع آن بر عملکرد محصول تأثیر

نسبتاً مناسب، ۱۷۰۰-۱۴۵۰ متر تناسب کم و بیشتر از ۱۷۰۰ متر نامناسب است. نقشه طبقات ارتفاع استان فارس با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به‌دست آمد و طبقه‌بندی گردید. در **جدول ۷**، طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه آمده است. با توجه به **جدول** مذکور، بیشترین مساحت با ۴۸۹۰۵/۱۵ کیلومترمربع (معادل ۴۰ درصد) مربوط به طبقه ارتفاعی نامناسب (بیشتر از ۱۷۰۰ متر) و کم‌ترین مساحت با مساحت ۱۲۴۰۵/۵۲ کیلومترمربع (معادل ۱۰/۱۴ درصد) مربوط به طبقه بسیار مناسب است.

جهت شیب: با توجه به اینکه سرمازدگی بهاره یکی از عوامل اصلی خسارت‌زا در منطقه می‌باشد، شیب‌های رو به شمال و شمال غرب و شمال شرق به‌علت دمای پایین‌تر در بهار، گل‌ها دیرتر باز می‌شوند و احتمال سرمازدگی دیر هنگام بهاره کاهش می‌یابد. با توجه به نقشه خروجی این لایه، بخش‌های زیادی از منطقه به‌صورت پراکنده برای احداث باغ مناسب هستند. تأمین نیاز گرمایی برای بیدار شدن جوانه‌ها و گل‌دهی در اوایل فصل رشد الزامی می‌باشد، که در شیب‌های مورد نظر این نیاز گرمایی دیرتر برطرف می‌شود. در نتیجه، گل‌دهی در بهار به تأخیر افتاده و خطر سرمازدگی در این فصل کاهش می‌یابد. همچنین میزان عملکرد در شیب‌های یاد شده از شیب‌های به سمت جنوب بیشتر می‌باشد (Borji et al., 2015). جهت‌های شمالی و شمال غربی برای رویش بادام عالی، جهت‌های شمال شرقی و غربی خوب، جهت‌های شرقی و جنوب غربی متوسط و جهت‌های جنوب شرقی و جنوبی برای رویش بادام ضعیف هستند (Jozi & Moradi Majd, 2020). در شیب‌های رو به شمال به‌دلیل دریافت حرارت تجمعی کمتر، میزان رطوبت نسبی خاک نسبت به سایر شیب‌ها بالاتر است.

نقشه جهت شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به‌دست آمد و طبقه‌بندی گردید و در نهایت، نقشه جهت شیب تهیه و در پنج طبقه بسیار مناسب (۲۲/۱۲ درصد مساحت کل استان)، مناسب (۲۴/۶۱ درصد مساحت کل استان)، نسبتاً مناسب (۲۷/۸۴ درصد مساحت کل استان) و تناسب کم (۲۵/۴۳ درصد مساحت کل استان) طبقه‌بندی شد (**جدول ۷**).

لایه شیب: یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب پهنه‌های مناسب، شیب می‌باشد. درخت بادام در اراضی با شیب پنج درصد به-خوبی رشد می‌کند، اما در شیب‌های بیش از ۱۵ درصد، رشد گیاه محدود می‌شود. شیب ۵-۰ درصد برای رویش بادام بسیار مناسب،

شیب ۱۰-۵ درصد مناسب، شیب ۱۵-۱۰ درصد نسبتاً مناسب، ۲۰-۱۵ درصد تناسب کم و بالای ۲۰ درصد از توان اندکی برخوردار است. طبقه شیب بیشتر از ۲۰ درصد با مساحت ۷۰۹۰۱/۸۷ کیلومترمربع (معادل ۵۷/۹۸ درصد) بیشترین مساحت و طبقه ۵-۰ درصد با مساحت ۴۸۲۶/۵۵ کیلومترمربع (معادل ۳/۹۵ درصد) کمترین مساحت را دارا است. طبقات مختلف شیب منطقه مورد مطالعه در **جدول ۷** آمده است.

نقشه جهت شیب (**شکل الف**)، درصد شیب (**شکل ب**) و ارتفاع (**شکل ج**) در استان فارس در **شکل ۵** آورده شده است.

لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی همسان‌سازی شد. وزن زیرمعیارهای توپوگرافی (زیرلایه‌های ارتفاع، درصد شیب و جهت‌های اصلی) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP محاسبه و در محیط GIS براساس منطق فازی در فاصله‌ای بین صفر تا یک به صورت لایه‌های رستری فازی ارزش‌گذاری شد.

به‌منظور ترکیب زیرمعیارهای توپوگرافی در نرم‌افزار ArcGIS از الگوریتم Fuzzy overlay برای هم‌پوشانی کردن لایه‌ها استفاده شده و نقشه برآورد سطح مناطق مستعد کاشت درخت بادام براساس داده‌های توپوگرافی تهیه شد (**شکل ۶ الف**)؛ با هم‌پوشانی زیرمعیارهای توپوگرافی، نقشه پهنه‌بندی براساس روش شکست تهیه و در پنج طبقه (بسیار مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، تناسب کم و نامناسب) طبقه‌بندی شد (**شکل ۶ ب**). براساس اطلاعات **جدول ۸**، محدوده بسیار مناسب برای کشت بادام ۲۰۰۶۹/۳۲ کیلومترمربع، محدوده مناسب ۲۷۹۶۰/۵۹ کیلومترمربع، محدوده نسبتاً مناسب ۲۵۵۷۰/۷۲ کیلومترمربع از مساحت استان را دربرگرفته است. تناسب اقلیمی ۲۶۸۸۴/۰۵ کیلومترمربع از استان اندک بوده و ۲۱۷۸۷/۳۲ کیلومترمربع برای کاشت بادام نامناسب می‌باشد.

ج) پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم براساس داده‌های سازگاری محیطی (قابلیت اراضی)

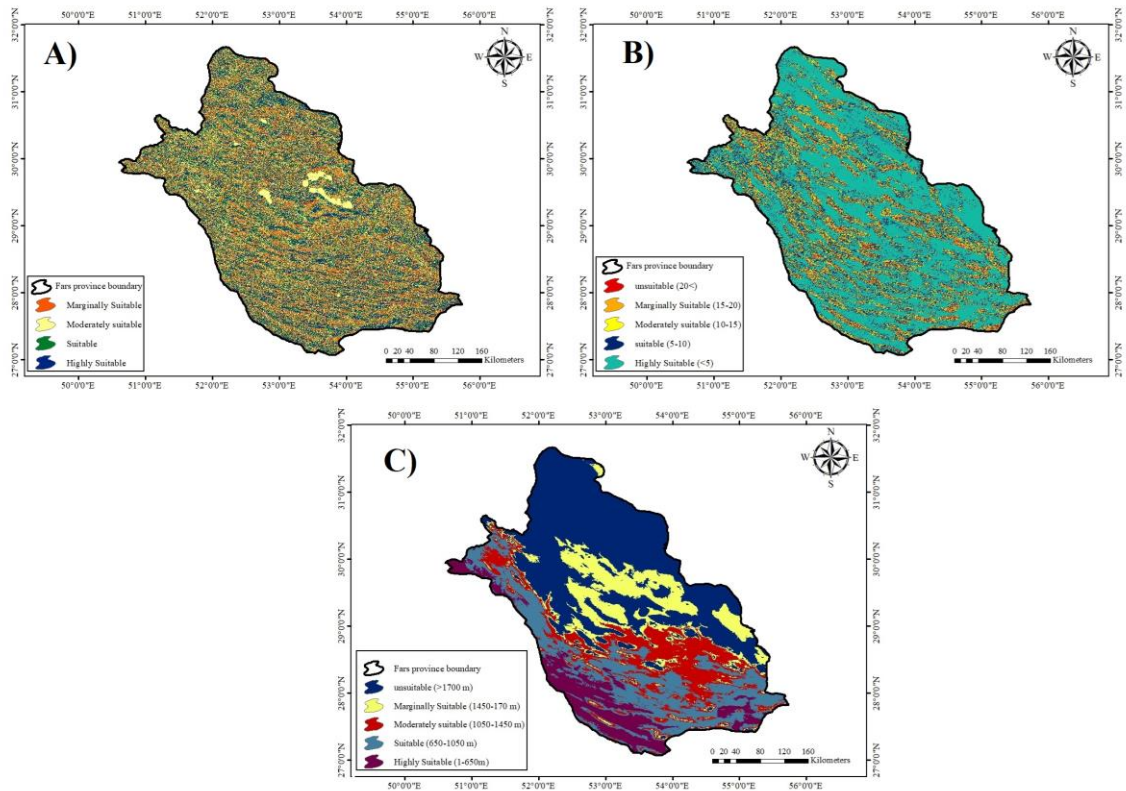
به‌منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم براساس داده‌های سازگاری محیطی، زیرلایه‌های بافت خاک، کاربری اراضی و فاصله از منابع آبی تهیه و سپس براساس نیاز رویشی بادام دیم، ارزش‌گذاری و طبقه‌بندی شد.

جدول ۷- طبقه‌بندی معیارهای توپوگرافی در استان فارس
Table 7- Classification of topographic criteria in Fars province

گزینه	توصیف قابلیت	مساحت	درصد مساحت
Alternative	Capability description	Area (km ²)	Percentage of area
جهت شیب Slope aspects	شمال و شمال غربی North and Western North	بسیار مناسب Highly suitable	27048.57 22.12
	شمال شرقی و غرب North-east and West	مناسب Suitable	30093.99 24.61
	شرق و جنوب غربی East and Southwestern	نسبتاً مناسب Moderately suitable	34036.45 27.84
	جنوب و جنوب شرقی South & Southeast	تناسب کم Marginally suitable	31093.00 25.43
درصد شیب Slops percent	۰-۵ درصد	بسیار مناسب Highly suitable	4826.55 3.95
	۵-۱۰ درصد	مناسب Suitable	6830.75 5.59
	۱۰-۱۵ درصد	نسبتاً مناسب Moderately suitable	14070.89 11.51
	۱۵-۲۰ درصد	تناسب کم Marginally suitable	25641.94 20.97
	بیشتر از ۲۰ درصد	نامناسب Unsuitable	70901.87 57.98
ارتفاع Elevation (m)	1-650	بسیار مناسب Highly suitable	12405.52 10.14
	650-1050	مناسب Suitable	24612.66 20.13
	1050-1450	نسبتاً مناسب Moderately suitable	18254.17 14.93
	1450-1700	تناسب کم Marginally suitable	18094.51 14.80
	>1700	نامناسب Unsuitable	48905.15 40.00

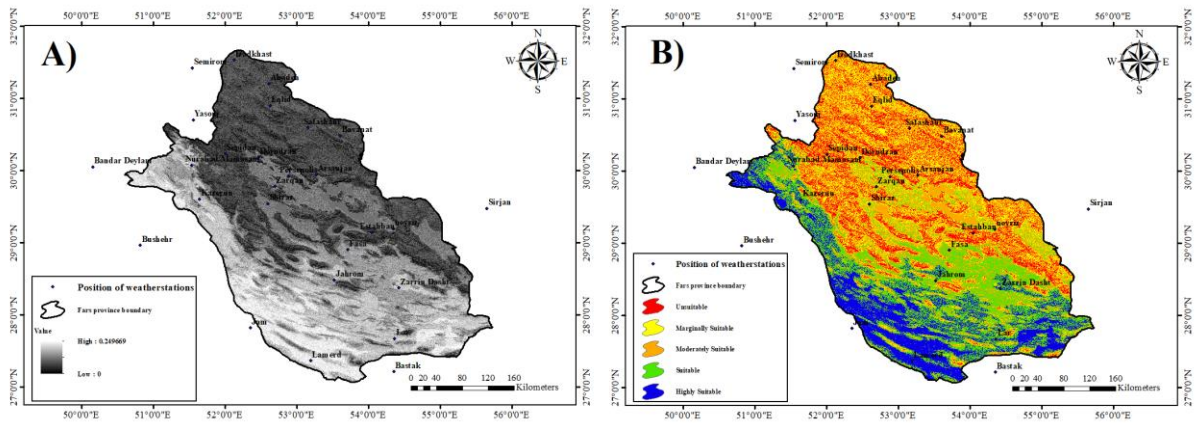
جدول ۸- طبقه‌بندی توپوگرافی در استان فارس
Table 8- Classification of topographic in Fars province

ردیف	توصیف قابلیت	مساحت	درصد مساحت
Row	Capability description	Area (km ²)	Percentage of area
1	بسیار مناسب Highly suitable	20069.32	16.41
2	مناسب Suitable	27960.59	22.87
3	نسبتاً مناسب Moderately suitable	25570.72	20.91
4	تناسب کم Marginally suitable	26884.05	21.99
5	نامناسب Unsuitable	21787.32	17.82



شکل ۵- از چپ به راست: الف) نقشه جهت شیب؛ ب) لایه درصد شیب و ج) لایه ارتفاع در استان فارس

Fig. 5- From left to right: A) slope aspect map; B) slope percentage layer and C) elevation layer in Fars province



شکل ۶- از چپ به راست: الف) نقشه فازی AHP برآورد سطح مناطق مساعد کاشت بادام در استان فارس براساس معیارهای توپوگرافی، ب)

نقشه برآورد سطح مناطق مساعد کاشت بادام در منطقه مورد مطالعه براساس معیار توپوگرافی

Fig.6- From left to right: A) AHP fuzzy map estimating suitable almond cultivation areas in Fars province based on the topographic criteria, B) map estimating suitable almond cultivation areas of the study area based on the topographic criteria

بافت خاک: با توجه به شکنندگی شدید بادام به کمبود اکسیژن و خفگی ریشه، باید از کشت بادام در خاک‌های سنگین و رسی متراکم و یا خاک با زهکشی نامناسب خودداری شود. بادام خاک‌های عمیق با بافت متوسط و سبک را می‌پسندد (Zainaldeenii

در استان فارس، از بین گروه‌های خاک، به ترتیب اولویت خاک‌هایی با بافت لومی، سیلتی-رسی و شنی-رسی، رسی-رسی برای کشت بادام مناسب هستند. یافته‌های جدول ۹، ۶۴/۸۵ درصد از مساحت استان (۷۹۲۹۵/۰۵

(۵۷/۸۷ درصد) مراتع و دیم‌زارها تشکیل می‌دهد که برای کاشت بادام بسیار مناسب می‌باشد. سایر طبقه‌بندی‌ها در **جدول ۹** قابل مشاهده است.

لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی، همسان‌سازی شد. وزن زیرمعیارهای سازگاری محیطی (زیرلایه‌های فاصله از منابع آبی، بافت خاک و کاربری اراضی) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP محاسبه و در محیط GIS براساس منطق فازی در فاصله‌ای بین صفر تا یک به صورت لایه‌های رستری فازی ارزش‌گذاری شد.

به‌منظور ترکیب زیرمعیارهای سازگاری محیطی در نرم‌افزار ArcGIS از الگوریتم Fuzzy overlay برای هم‌پوشانی لایه‌ها استفاده و نقشه برآورد سطح مناطق مستعد کاشت درخت بادام براساس داده‌های سازگاری محیطی تهیه شد (**شکل ۸ الف**). با هم‌پوشانی زیرمعیارهای سازگاری محیطی (فاصله از منابع آبی، بافت خاک و کاربری اراضی) نقشه پهنه‌بندی براساس روش شکست تهیه و در پنج طبقه (بسیار مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، تناسب کم و نامناسب) طبقه‌بندی شد (**شکل ۸ ب**). محدوده بسیار مناسب برای کشت بادام ۵۴۳۹۲/۴۸ کیلومترمربع (۴۴/۴۸ درصد)، محدوده مناسب ۲۷۹۸۳/۱۲ کیلومترمربع (۲۲/۸۹ درصد)، محدوده نسبتاً مناسب ۲۵۰۴۳/۲۱ کیلومترمربع (۲۰/۴۸ درصد) از مساحت استان را دربرگرفته است. تناسب اقلیمی ۶۵۳۱/۷۵ کیلومترمربع (۵/۳۴ درصد) از استان فارس اندک بوده و ۸۳۲۱/۴۴ کیلومترمربع (۶/۸۱ درصد) برای کاشت بادام نامناسب می‌باشد (**جدول ۱۰**).

د) پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم براساس معیار اجتماعی-اقتصادی

به‌منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم براساس معیار اجتماعی-اقتصادی، زیرمعیارهای فاصله از جاده، دسترسی به مراکز جمعیتی تهیه و سپس براساس نیاز رویشی بادام دیم ارزش‌گذاری و طبقه‌بندی شد.

فاصله از جاده: به‌طور کلی، نزدیکی به جاده به‌عنوان یک معیار مهم در مکان‌یابی محصولات کشاورزی همواره مورد توجه است (Jahanshahi Joz & Parvazi, 2022). فاصله کمتر از جاده‌های اصلی و دسترسی راحت‌تر به آن، علاوه‌بر کاهش هزینه و زمان حمل‌ونقل، بهبود قابل توجهی در تأمین خدمات و عرضه محصولات و سودآوری کشاورزان ایجاد می‌کند. بنابراین، در برنامه‌ریزی مکان-یابی محصولات کشاورزی، این عامل باید مد نظر قرار گیرد.

کیلومترمربع) را بافت خاک لوم (بسیار مناسب)، ۲/۱۷ درصد (۲۶۵۲/۴۴ کیلومترمربع) را بافت خاک سیلتی-رسی و شنی-رسی (مناسب) و ۳۱/۴۲ درصد را بافت خاک رسی-لوم (نسبتاً مناسب) تشکیل داده است و تنها ۱/۵۶ درصد از مساحت استان فارس از نظر بافت خاک نامناسب است.

فاصله از منابع آبی: زمین‌های خشک که با تبخیر زیاد و بارش‌های نامنظم مشخص می‌شوند، بیش از ۹۰ درصد از کشور را پوشش می‌دهند (Nouri et al., 2023). با توجه به افزایش بی‌رویه جمعیت و نیاز به تولید غذای بیشتر، افزایش تولید در اراضی دیم ضروری است. البته با توجه به پراکنش نامناسب بارش در سال‌های اخیر، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، مدیریت تأمین آب برای این اراضی در شرایط بحرانی نیز در اولویت‌های تحقیقاتی و پژوهشی قرار گرفته است. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که یک یا دو آبیاری در زمان‌های حساس قادر است که عملکرد و بهره‌وری آب مصرفی اراضی دیم را به‌شدت افزایش دهد. لذا، تأمین آب برای اراضی دیم به‌تازگی مورد توجه قرار گرفته است (Ramezani Etedali et al., 2022). در واقع، تولیدات کشاورزی متکی به آبیاری در اراضی دیم ایران است (Nouri et al., 2023). بادام، برای رشد مناسب به آب کافی نیاز دارد. پهنه‌بندی می‌تواند به شناسایی اراضی با دسترسی به منابع آب کافی (رودخانه، سفره‌های آب زیرزمینی و غیره) کمک نماید. پهنه‌بندی مناسب می‌تواند تضمین کند که مزارع بادام در مناطقی با منبع آب پایدار واقع شده‌اند و خطر کمبود آب و رقابت با سایر صنایع یا جوامع مصرف‌کننده آب را کاهش می‌دهد. براساس یافته‌های مندرج در **جدول ۹**، ۹/۴۷ درصد از مساحت استان از نظر فاصله از منابع آبی بسیار مناسب، ۱۱/۰۶ درصد مناسب و ۴/۹۰ درصد نسبتاً مناسب است. اما ۱۰/۷۱ درصد در وضعیت تناسب کم و ۶۳/۸۶ درصد در وضعیت نامناسب قرار دارد.

کاربری اراضی: اطلاعات مندرج در **جدول ۹**، از نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۳۸۸ سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (مبتنی بر داده‌های تفکیک شده استانی) استخراج شده است. این نقشه براساس اهداف تحقیق دوباره طبقه‌بندی شده و در شش دسته بسیار نامناسب (مناطق مسکونی و نمکزارها و غیره)، نامناسب (اراضی لخت و مسیل)، تناسب کم (اراضی آیش و جنگل)، نسبتاً مناسب (اراضی کشاورزی)، مناسب (اراضی باغی) و بسیار مناسب (دیم‌زارها و مراتع) طبقه‌بندی شد. بیشترین مساحت کاربری استان فارس را

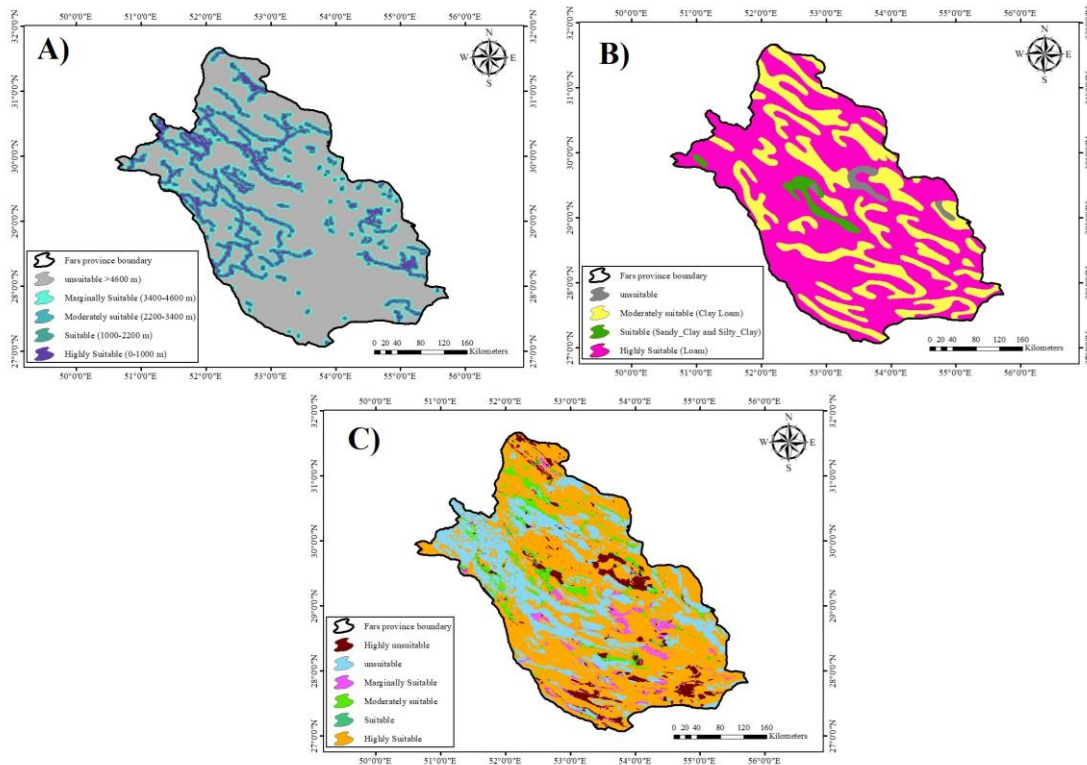
جدول ۹- طبقه‌بندی معیارهای سازگاری محیطی در استان فارس
Table 9- Classification of environmental adaptation criteria in Fars province

گزینه	توصیف قابلیت	مساحت	درصد مساحت
Alternative	Capability description	Area (km ²)	Percentage of area
فاصله از منابع آبی Distance from water levels	0-1000 بسیار مناسب Highly suitable	11583.27	9.47
	1000-2200 مناسب Suitable	13522.12	11.06
	2200-3400 نسبتاً مناسب Moderately suitable	5982.61	4.90
	3400-4600 تناسب کم Marginally suitable	13098.64	10.71
	>4600 نامناسب Unsuitable	78085.35	63.86
بافت خاک Soil texture	لوم Loam بسیار مناسب Highly suitable	79295.05	64.85
	سیلتی-رسی و شنی-رسی Silty-Clay and Sandy-Clay مناسب Suitable	2652.44	2.17
	رسی-لوم Clay loam نسبتاً مناسب Moderately suitable	38421.01	31.42
	شور Salt نامناسب Unsuitable	1903.50	1.56
کاربری اراضی Land use	دیم‌زارها و مراتع Drylands and rangelands بسیار مناسب Highly suitable	70689.51	57.87
	باغ Garden مناسب Suitable	366.24	0.31
	اراضی کشاورزی Agricultural lands نسبتاً مناسب Moderately suitable	8355.42	6.82
	اراضی آیش و جنگل Fallow land and forest تناسب کم Marginally suitable	4082.25	26.56
	اراضی لخت، مسیل Bare lands, watercourse نامناسب Unsuitable	31210.45	2.60
	مناطق مسکونی، نمکزارها و غیره Residential areas, salt marsh and etc بسیار نامناسب Highly unsuitable	7568.13	5.84

جدول ۱۰- سازگاری محیطی

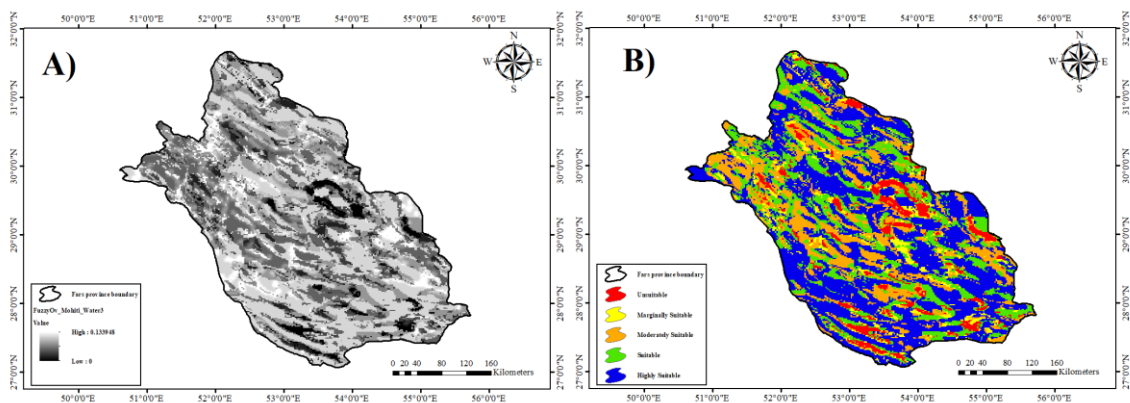
Table 10- Environmental adaptation

طبقات	درصد	مساحت
Classes	Percent	Area (km ²)
بسیار مناسب Highly suitable	44.48	54392.48
مناسب Suitable	22.89	27983.12
نسبتاً مناسب Moderately suitable	20.48	25043.21
تناسب کم Marginally suitable	5.34	6531.75
نامناسب Unsuitable	6.81	8321.44



شکل ۷- از چپ به راست: الف) نقشه پهنه‌بندی فاصله از منابع آبی، ب) بافت خاک؛ ج) کاربری اراضی جهت کاشت درخت بادام در استان فارس

Fig.7- From left to right: A) zoning map distance from water levels, B) soil texture; C) land use for almond cultivation in Fars province



شکل ۸- از چپ به راست، الف) نقشه فازی AHP برآورد سطح مناطق مساعد کاشت بادام در استان فارس براساس معیار سازگاری محیطی، ب) نقشه برآورد سطح مناطق مساعد کاشت بادام در استان فارس براساس معیار سازگاری محیطی

Fig. 8- From left to right: A) AHP fuzzy map estimating suitable almond cultivation areas in Fars province based on the environmental adaptation criteria, B) map estimating suitable almond cultivation areas in the study area based on the environmental adaptation criteria

براساس جدول ۱۱، ۱۵/۰۸ درصد از مساحت استان فارس از نظر فاصله از جاده بسیار مناسب، ۲۵/۱۰ درصد مناسب، ۲۹/۸۲ درصد نسبتاً مناسب، ۱۶/۶۵ درصد تناسب کم و ۱۳/۳۵ درصد نامناسب می- باشد. در جدول ۱۱، مشخصات دسترسی به مراکز جمعیتی آورده شده است. براساس یافته‌ها، ۲۹۰۸۴/۹۹ کیلومترمربع (معادل ۲۳/۷۹

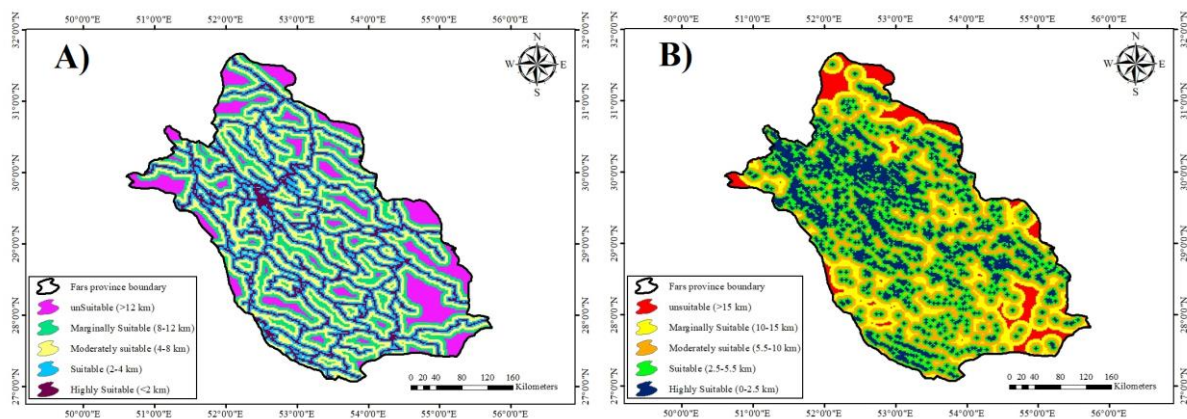
(معادل ۲۷/۱۱ درصد از مساحت استان) در وضعیت نسبتاً مناسب قرار دارد و تناسب ۱۷۴۴۵/۲۸ کیلومتر مربع از مساحت استان کم و ۶/۱۱ درصد از مساحت استان نامناسب می‌باشد.

درصد) از مساحت استان از نظر زیرمعیار دسترسی به مراکز جمعیتی در وضعیت بسیار مناسب، ۳۵۱۲۳/۱۱ کیلومتر مربع (معادل ۲۸/۷۲ درصد) از مساحت استان در وضعیت مناسب، ۳۳۱۴۴/۴۰ کیلومتر مربع

جدول ۱۱- طبقه‌بندی معیار اجتماعی- اقتصادی در استان فارس

Table 11- Classification of socio-economy criteria in Fars province

زیرمعیار Sub criteria	گزینه Alternative	تناسب Suitability	مساحت Area (km ²)	درصد مساحت Percentage of area
فاصله از جاده Distance from the road	0-2000	بسیار مناسب Highly suitable	18433.59	15.08
	2000-4000	مناسب Suitable	30689.44	25.10
	4000-8000	نسبتاً مناسب Moderately suitable	36460.32	29.82
	8000-12000	تناسب کم Marginally suitable	20364.14	16.65
	>12000	نامناسب Unsuitable	16324.52	13.35
دسترسی به مراکز جمعیتی Distance from population centers	0-2500	بسیار مناسب Highly suitable	29084.99	23.79
	2500-5500	مناسب Suitable	35123.11	28.72
	5500-10000	نسبتاً مناسب Moderately suitable	33144.40	27.11
	10000-15000	تناسب کم Marginally suitable	17445.28	14.27
	>15000	نامناسب Unsuitable	7474.22	6.11



شکل ۹- از چپ به راست: الف) نقشه برآورد فاصله از جاده، ب) دسترسی به مراکز جمعیتی جهت کاشت درخت بادام دیم در استان فارس
Fig. 9- From left to right: A) map estimating distance from the road, B) distance from population centers for almond cultivation in Fars province

محیط GIS براساس منطق فازی در فاصله‌ای بین صفر تا یک به صورت لایه‌های رستری فازی ارزش‌گذاری شد. به‌منظور ترکیب زیرمعیارهای اجتماعی- اقتصادی در نرم‌افزار

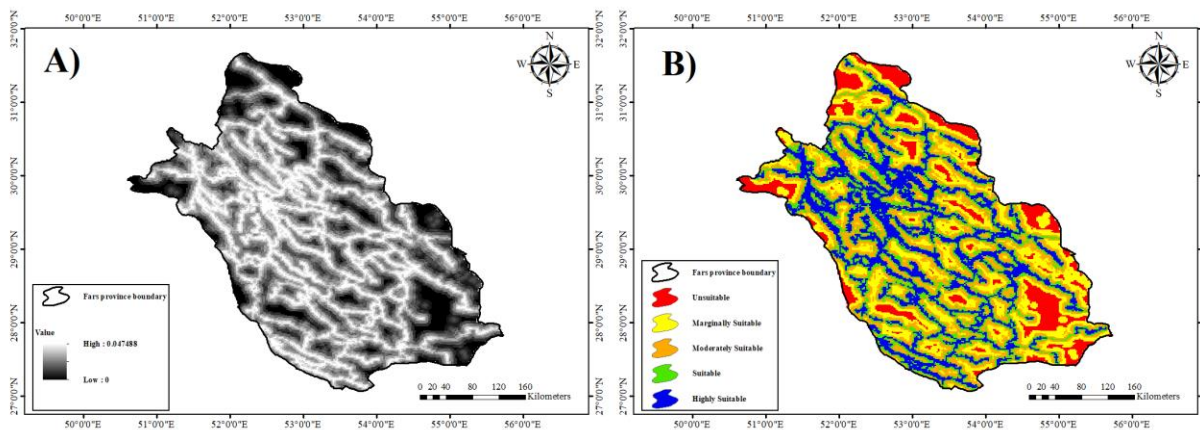
لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی، همسان‌سازی شد. وزن زیرمعیارهای اجتماعی- اقتصادی (فاصله از جاده؛ فاصله از مراکز جمعیتی) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP محاسبه و در

۱۲، محدوده بسیار مناسب برای کشت بادام ۲۷۸۴۱/۳۳ کیلومترمربع (۲۲/۷۷ درصد)، محدوده مناسب ۲۴۴۲۹/۹۵ کیلومترمربع (۱۹/۹۸ درصد)، محدوده نسبتاً مناسب ۳۰۷۶۳/۶۳ کیلومترمربع (۲۵/۱۶ درصد)، از مساحت استان را دربرگرفته است. تناسب اجتماعی-اقتصادی ۲۶۰۰۷/۲۵ کیلومترمربع (۲۱/۲۷ درصد) از استان فارس اندک بوده و ۱۳۲۲۹/۸۳ کیلومترمربع (۱۰/۸۲ درصد) از مساحت استان فارس برای کاشت بادام نامناسب می‌باشد.

ArcGIS از الگوریتم Fuzzy overlay برای هم‌پوشانی لایه‌ها استفاده و نقشه برآورد سطح مناطق مستعد کاشت درخت بادام براساس داده‌های اجتماعی-اقتصادی تهیه شد (شکل ۱۰ الف). با هم‌پوشانی زیرمعیارهای اجتماعی-اقتصادی (فاصله از جاده و دسترسی به مراکز جمعیتی) نقشه پهنه‌بندی براساس روش شکست تهیه و در پنج طبقه (بسیار مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، تناسب کم و نامناسب) طبقه‌بندی شد (شکل ۱۰ ب). براساس اطلاعات جدول

جدول ۱۲- نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم براساس معیار اجتماعی-اقتصادی
Table 12- Zoning map suitable almond cultivation based on the socio-economy criteria

طبقات Classes	مساحت Area (km ²)	درصد Percent
بسیار مناسب Highly suitable	27841.33	22.77
مناسب Suitable	24429.95	19.98
نسبتاً مناسب Moderately suitable	30763.63	25.16
تناسب کم Marginally suitable	26007.25	21.27
نامناسب Unsuitable	13229.83	10.82



شکل ۱۰- از چپ به راست: الف) نقشه فازی پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم براساس عوامل اجتماعی-اقتصادی، ب) نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت درخت بادام دیم براساس معیار اجتماعی-اقتصادی

Fig. 10- left to right: A) Fuzzy zoning map estimating suitable almond cultivation areas in Fars province based on the socio-economy criteria, B) zoning map suitable almond cultivation areas based on the socio-economy criteria

پس از فازی‌سازی نقشه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS از الگوریتم Fuzzy overlay برای هم‌پوشانی کردن لایه‌های اطلاعاتی (اقلیمی، توپوگرافی، اجتماعی-اقتصادی و سازگاری محیطی) استفاده شد و نقشه برآورد سطح مناطق مستعد کاشت درخت بادام تهیه شد (شکل

ه) نقشه نهایی مناطق مستعد توسعه کاشت بادام دیم در استان فارس در این مرحله با عمل هم‌پوشانی (تلفیق) زیرمعیارها، به‌منظور ترکیب معیارها و پهنه‌بندی استان فارس از نظر قابلیت کشت بادام،

(معادل ۲۹/۷۲ درصد از مساحت استان) را دربرگرفته‌اند و ۳۲۳۰۴/۲۶ کیلومترمربع (معادل ۲۶/۴۲ درصد از مساحت استان) دارای تناسب کم و ۱۲۷۱۶/۲۹ کیلومترمربع (معادل ۱۰/۴۰ از مساحت استان) برای کاشت بادام نامناسب هستند.

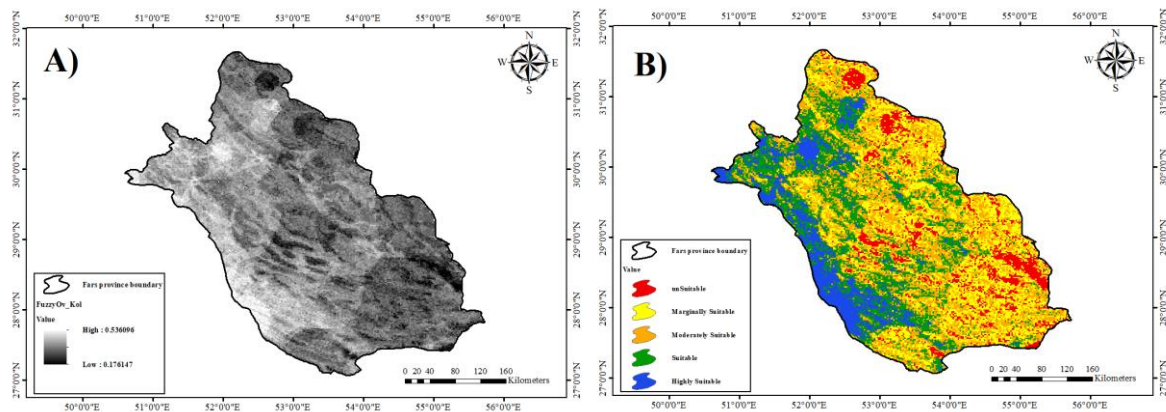
نقشه ارائه شده در (شکل ۱۱ ب) پهناهای مختلف استان فارس را از نظر مناسب بودن برای کشت دیم بادام در پنج طبقه بسیار مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، تناسب کم و نامناسب دسته‌بندی کرده است.

۱۱ الف). در نهایت، نقشه مکان‌یابی نواحی مساعد توسعه کاشت بادام براساس روش شکست که براساس توزیع نرمال داده‌ها است و نقاط عطف داده‌ها مرز بین طبقات را مشخص می‌نماید، در پنج طبقه طبقه‌بندی شد (شکل ۱۱ ب). در جدول ۱۳، مشخصات نقشه مکان-یابی نواحی مساعد توسعه کاشت بادام ارائه شده است. مناطق بسیار مناسب، ۱۳۷۵۵/۶۰ کیلومترمربع (معادل ۱۱/۲۵ درصد) از مساحت استان، مناطق مناسب ۲۷۱۵۶/۶۱ کیلومترمربع (معادل ۲۲/۲۱ درصد) از مساحت استان، مناطق نسبتاً مناسب ۳۶۳۳۹/۲۴ کیلومترمربع

جدول ۱۳- نقشه پهنا‌بندی نهایی

Table 13- Final zoning map

طبقات Classes	مساحت Area (km ²)	درصد Percent
بسیار مناسب Highly suitable	13755.60	11.25
مناسب Suitable	27156.61	22.21
نسبتاً مناسب Moderately suitable	36339.24	29.72
تناسب کم Marginally suitable	32304.26	26.42
نامناسب Unsuitable	12716.29	10.40



شکل ۱۱- از چپ به راست: الف) نقشه مدل فازی نواحی مساعد توسعه کاشت درخت بادام در استان فارس، ب) نقشه نهایی مکان‌یابی نواحی مساعد توسعه کاشت درخت بادام

Fig. 11- From left to right: A) fuzzy model map of suitable almond cultivation development areas in Fars province, B) the final map of locating suitable almond cultivation development areas in Fars province

اهداف تحقیق دوباره طبقه‌بندی شده و در نه دسته جنگل، مناطق مسکونی، مراتع، اراضی دیم، مسیل، اراضی بدون پوشش گیاهی، اراضی باغی، اراضی زراعی و منابع آبی طبقه‌بندی شد. در این نقشه، کاربری‌های مختلفی مشخص شده است. قابل ذکر

شکل ۱۲ الف، نحوه کاربری و مساحت کاربری‌های استان فارس را در سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد که از نقشه‌های کاربری اراضی که توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در سال ۱۳۸۸ برای استان‌های ایران به تفکیک تهیه شده است. این نقشه براساس

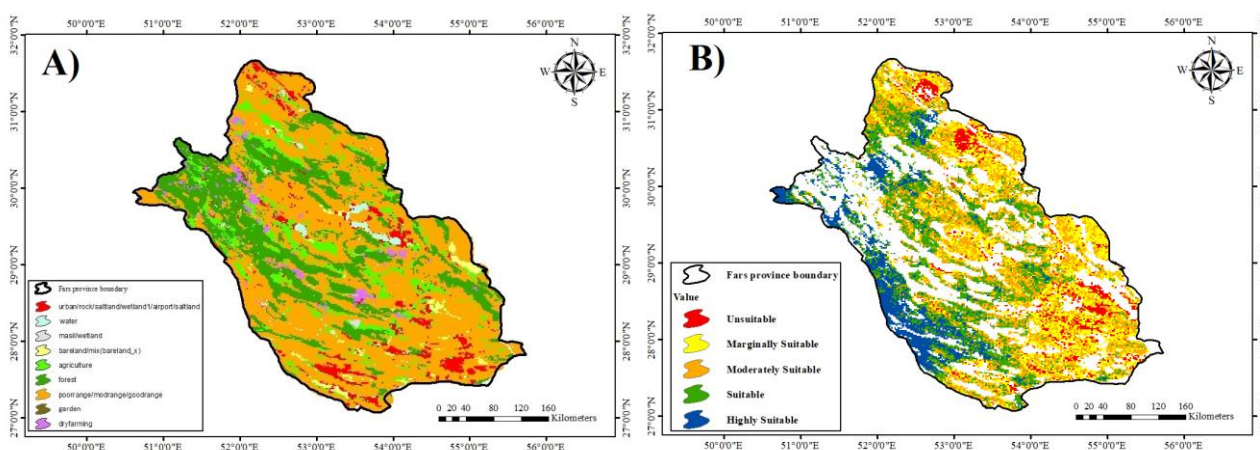
از توانمندی مناسبی برای کاشت درخت بادام برخوردار است، به گونه‌ای که ۱۱۰۲۸/۹۳ کیلومترمربع (معادل ۹/۰۲ درصد) از مساحت استان بسیار مناسب، ۲۰۱۲۵/۹۷ کیلومترمربع (معادل ۱۶/۴۶ درصد) مناسب، ۲۶۴۴۷/۴۳ کیلومترمربع (معادل ۲۱/۶۳ درصد) نسبتاً مناسب برای کاشت بادام هستند. تناسب ۲۰۸۹۶/۲۹ کیلومترمربع (۱۷/۰۹ درصد) از استان فارس اندک بوده و ۶۱۲۵/۸۳ کیلومترمربع (۵/۰۱ درصد) برای کاشت بادام نامناسب می‌باشد و کشت بادام در ۳۷۶۴۷/۵۵ کیلومترمربع از مساحت استان فارس ناممکن می‌باشد (جدول ۱۴).

است که کاربری‌هایی مانند اراضی دریاچه‌ای، اراضی باتلاقی، شوره‌زارها، مناطق مسکونی و سایر نواحی ناممکن یا نامساعد (از جمله جنگل‌ها که قابلیت تغییر کاربری اراضی ندارند) برای کاشت درخت بادام نباید در نقشه نهایی حضور داشته باشند. لذا، در تحلیل نهایی، این نواحی از گستره پیشنهاد برای توسعه کاشت و توسعه گونه بادام حذف شدند و نقشه نهایی مناطق مساعد برای کاشت درخت بادام مشخص شد.

شکل ۱۲ ب، نقشه مکان‌یابی نواحی مساعد توسعه کاشت درخت بادام را نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده است، استان فارس

جدول ۱۴- نواحی مساعد توسعه کاشت درخت بادام
Table 14- Suitable almond cultivation development areas in Fars province

ردیف	توصیف قابلیت Capability description	مساحت Area (km ²)	مساحت Area (%)
1	بسیار مناسب Highly suitable	11028.93	9.02
2	مناسب Suitable	20125.97	16.46
3	نسبتاً مناسب Moderately suitable	26447.43	21.63
4	تناسب کم Marginally suitable	20896.29	17.09
5	نامناسب Unsuitable	6125.83	5.01
6	ناممکن Impossible	37647.55	30.79



شکل ۱۲- الف) نقشه کاربری اراضی استان فارس، ب) نقشه نهایی برآورد سطح مناطق مساعد کاشت بادام در استان فارس
Fig. 12- A) land use map for Fars province, B) fin location map for estimating suitable almond cultivation areas in Fars province

نتیجه‌گیری

روش‌های مرسوم ارزیابی زمین دارای محدودیت‌هایی در تحلیل فضایی برای تناسب محصول هستند و گزینه‌های کاربری بهتر زمین را می‌توان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پیاده‌سازی کرد. ارزیابی تناسب زمین یک روش مفید برای کمک به تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی کاربری زمین است (Tashayo et al., 2020).

یکی از راه‌های بسیار مهم برای شناخت قابلیت‌های مختلف اراضی، استفاده از پهنه‌بندی اراضی است (Nabati et al., 2023). تجزیه و تحلیل تناسب زمین، مناسب بودن زمین را ارزیابی می‌کند و در عین حال، عوامل محیطی و اجتماعی-اقتصادی را نیز در نظر می‌گیرد (Aghaloo & Sharifi, 2023). نتیجه این نوع پهنه‌بندی اراضی، افزایش کمی و کیفی عملکرد محصول به دلیل شرایط آب‌وهوایی، خاک و سازگاری‌های توپوگرافی است (Nabati et al., 2023). استان فارس یکی از مناطق مستعد کشت بادام است که رتبه اول کشور را از نظر سطح زیرکشت بادام (رتبه اول سطح زیرکشت بادام دیم و رتبه ششم سطح زیرکشت بادام آبی) به خود اختصاص داده است. درحالی‌که استان فارس از نظر سطح زیرکشت و میزان تولید بادام رتبه اول کشور را داراست، از نظر عملکرد بادام دیم و آبی، وضعیت مناسبی ندارد و به ترتیب در رده‌های ۱۶ و ۱۰ کشور قرار دارد. به نظر می‌رسد که این استان از تمامی توانمندی خود استفاده ننموده و کشت درخت بادام در بسیاری از زمین‌های مستعد کشت، مغفول مانده است. لذا، تحقیق حاضر در جستجوی پاسخی علمی به این سؤال، توان استان فارس برای توسعه کاشت بادام به بوته آزمایش گذاشته شد و در محیط GIS، نواحی مستعد کاشت درخت بادام معرفی شد. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، استان فارس از توانمندی مساعدی برای کاشت درخت بادام برخوردار است. پهنه‌های بسیار مناسب برای کاشت بادام دیم ۱۱۰۲۸/۹۳ کیلومترمربع (۹/۰۲ درصد) از مساحت استان را دربرگرفته است. قابل ذکر است که پهنه‌هایی در منطقه با توان بسیار مناسب شناسایی شده‌اند که مناطق بسیار مطلوب استان بوده و با معیارهای منتخب در این تحقیق شامل ۱۴ معیار ارتفاع از سطح دریا، شیب اراضی، جهت شیب، کاربری اراضی، بافت خاک، دمای رشد جوانه، حداقل دما مرحله گل‌دهی،

رطوبت نسبی مرحله گل‌دهی، دمای چرخه رشد، دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن، میانگین بارش سالیانه، دسترسی به جاده، دسترسی به منابع آبی و دسترسی به مراکز جمعیتی بیشترین تطابق را دارند و کاشت درخت بادام در این نواحی، بیشترین عملکرد را خواهد داشت. پهنه‌های مناسب و نسبتاً مناسب برای کاشت بادام نیز به ترتیب ۱۶/۴۶ و ۲۱/۶۳ درصد از مساحت منطقه را دربرمی‌گیرد. تناسب ۱۷/۰۹ درصد از منطقه برای کاشت بادام کم است و ۵/۰۱ درصد از مساحت استان فارس برای کاشت بادام دیم نامناسب است. همچنین ۳۰/۷۹ درصد از کل سطح استان فارس به دلیل نوع کاربری اراضی برای کاشت بادام پیشنهاد نمی‌شود. براساس یافته‌ها، مهم‌ترین معیارهای محدودکننده برای کاشت بادام شامل شرایط اقلیمی و توپوگرافی استان فارس است. بررسی نقشه‌های اقلیمی نشان داد که مناطق مناسب برای کاشت بادام دیم به‌طور قابل توجهی توسط بارش، حداقل دمای مرحله گل‌دهی، میانگین دمای تشکیل میوه و مرحله رسیدن محدود شده است. مهم‌ترین محدودکننده‌های توپوگرافی نیز شامل درصد شیب و ارتفاع است که منجر به کاهش عملکرد بادام دیم در استان فارس شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند به کشاورزان و باغداران استان فارس کمک کند تا مناطق مستعد برای کاشت بادام را شناسایی نموده و با برنامه‌ریزی بهتر در این خصوص، توسعه کاشت بادام را بهبود بخشند. همچنین، مسئولین و سیاست‌گذاران مربوط به کشاورزی و توسعه روستایی می‌توانند براساس نتایج، برنامه‌ها و سیاست‌های مناسبی را برای توسعه کاشت بادام در استان فارس تدوین و اجرا نمایند. پیشنهاد می‌شود که محققان و دانشگاهیان مرتبط با کشاورزی و توسعه پایدار منابع طبیعی در استان فارس، تحقیقات و پژوهش‌های بیشتری را در زمینه توسعه کشت بادام در این منطقه انجام دهند و راهکارهای جدیدی را برای بهبود عملکرد کشت بادام ارائه کنند.

سیاسگذاری

نویسندگان پژوهش حاضر لازم می‌دانند که از همکاری سازمان هواشناسی کشور در تأمین داده‌های مورد نیاز این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

References

1. Abouei, M., Kamali Aliabad, K., Soluki, M., Fahmideh, I., & Imani, A. (2021). Identification of self-incompatibility alleles in some of Yazd province almond genotypes by using PCR method. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(4), 797-808. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.283959.1670>
2. Aghaloo, K., & Sharifi, A. (2023). A GIS-based agroecological model for sustainable agricultural production in arid and semi-arid areas: The case of Kerman Province, Iran. *Current Research in Environmental Sustainability*, 6, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2023.100230>
3. Ahmadzadeh Chaleshtori, A., Panahpour, E., Iranipour, R., & Moezzi, A. (2020). The nutritional evaluation of Almond (mamaee SP.) gardens using diagnostic recommendation integrated system (DRIS) method in Saman area of Chaharmahal Va Bakhtiari Province. *Journal of Plant Production Research*, 26(4), 115-130. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22069/jopp.2019.15569.2398>
4. Alemayehu, A. (2023). Land Suitability Analysis for Sustainable Production of Selected Cereals in Southeastern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2023(1), 1-12. <https://doi.org/10.1155/2023/6688187>
5. Alhadj Ali, S., Vivaldi, G. A., Garofalo, S. P., Costanza, L., & Camposeo, S. (2023). Land suitability analysis of six fruit tree species immune/resistant to *Xylella fastidiosa* as alternative crops in infected Olive-growing areas. *Agronomy*, 13(2), 1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020547>
6. Bagheri Bodaghabadi, M., Ebrahimi Meiman, F., Mehnatkesh, A., & Mousavi, S. A. (2020). Evaluation of land suitability for horticultural use Case Study: Saman County, Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Geography and Environmental Planning*, 31(1), 53-72. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22108/gep.2020.119932.1224>
7. Bijani, M., Hayati, D., Fallah Haghighi, N., & Valizadeh, N. (2022). Application of POET model to investigate agricultural water conflict in Iran. *Frontiers in Water*, 4, 1-19. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.989542>
8. Borji, A., Asgari, A., Khoshbakht, K., & Mirbahgeri, B. (2015). Site selection of areas appropriate for dry almond cultivation using GIS: A case study in Farub Roman drainage basin/Neyshabour. *Journal of Agroecology*, 4(2), 9-20. (In Persian with English abstract)
9. De Wit, S., & Haines, S. (2022). Climate change reception studies in anthropology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 13(1), 1-21. <https://doi.org/10.1002/wcc.742>
10. Del Mar Esponda-Bernal, M., Echeverri-Sanchez, A. F., Aguirre-Gonzalez, E. F., & Andrade, R. S. (2024). A biophysical suitability model to identify best areas for the cultivation of potential cash crops: The case of basil in Valle del Cauca. *Agricultural Systems*, 216, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103909>
11. Doke, A. B., Zolekar, R. B., Patel, H., & Das, S. (2021). Geospatial mapping of groundwater potential zones using multi-criteria decision-making AHP approach in a hardrock basaltic terrain in India. *Ecological Indicators*, 127, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107685>
12. Eini, H., Sadeghi, S., & Hosseinzadeh, S. R. (2013). Zonation of topoclimatic potentials of rain-fed wheat cultivation in Kermanshah Province. *Journal of Geography and Regional Development*, 10(2), 21-45. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22067/geography.v0i0.23233>
13. Everest, T. (2021). Suitable site selection for pistachio (*Pistacia vera*) by using GIS and multi-criteria decision analyses (a case study in Turkey). *Environment, Development and Sustainability*, 23(5), 7686-7705. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00941-5>
14. Hudait, M., & Patel, P. P. (2022). Site suitability assessment for traditional betel vine cultivation and crop acreage expansion in Tamluk Subdivision of Eastern India using AHP-based multi-criteria decision making approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107220. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107220>
15. Iran Meteorological Organization (<http://www.irimo.ir/>).
16. JafarNodeh, S., Soltani, A., Joolaei, R., & Zeinali, E. (2023). Estimation of the yield of some rainfed crops in the present irrigated lands of Iran. *Journal of Agroecology*, 15(2), 301-317. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22067/AGRY.2022.71149.1052>
17. Jahanshahi Joz, M., & Parvazi, M. (2022). Feasibility of saffron cultivation using (GIS-AHP) in Zanjan Province. *Geographical Sciences (Applied Geography)*, 17(34), 115-131. (In Persian)
18. Jozi, S. A., & Moradi Majd, N. (2020). Evaluation of ecological capability of *Amygdalus scoparia* habitat in South

- Zagros region by using of MCDM method. *Environmental Researches*, 11(21), 73-84. (In Persian with English abstract), DOR: 20.1001.1.20089597.1399.11.21.7.6
19. Kaboosi, K. (2020). Zoning of Golestan Province agricultural land for aainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) based on climatic- stochastic analysis. *Journal of Agroecology*, 12(3), 487-505. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22067/JAG.V12I3.79025>
 20. Karami, A., & Feghhi, J. (2012). Investigation of Quantitative metrics to protect the landscape in land use by sustainable pattern (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad). *Journal of Environmental Studies*, 37(60), 79-88. (In Persian with English abstract), DOR:20.1001.1.10258620.1390.37.60.8.2
 21. Karimi, V., Karami, E., Karami, S., & Keshavarz, M. (2021). Adaptation to climate change through agricultural paradigm shift. *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), 5465-5485. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00825-8>
 22. Khalili, N., Arshad, M., Farajzadeh, Z., Kächele, H., & Müller, K. (2020). Effect of drought on smallholder education expenditures in rural Iran: Implications for policy. *Journal of environmental management*, 260, 110136. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110136>
 23. Khalili, N., Arshad, M., Farajzadeh, Z., Kächele, H., & Müller, K. (2021a). Does drought affect smallholder health expenditures? Evidence from Fars Province, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 23(1), 765-788. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00608-1>
 24. Khalili, N., Arshad, M., Kächele, H., Farajzadeh, Z., & Müller, K. (2021b). Drought shocks and farm household consumption behaviour: Insights from Fars province of Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 66, 102625. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102625>
 25. Khalili Torghabe, G. H., Tehranifar, A., Abedi, B., & Eskandari Torbaghan, M. (2022). Improvement of some growth and biochemical properties of almonds by the use of rhizospheric halophile, alkaliphile and haloalkaliphile bacteria in Khorasan Razavi almonds orchards. *Research in Pomology*, 6(2), 62-80. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.30466/rip.2021.53296.1157>
 26. Khazaei, M., Etemad, V., Shirvani, A., & javanmiri Pour, M. (2021). Dust sequestration comparison on leaves of four tree species in two domains of the Chitgar Forest Park. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 34(2), 384-393. (In Persian with English abstract), DOR:20.1001.1.23832592.1400.34.2.19.8
 27. Kheyru, Y., Shayesteh, A., & Sharafati, A. (2023). Quantification of the meteorological and hydrological droughts links over various regions of Iran using gridded datasets. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(32), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27498-w>
 28. Maleksaeidi, H., & Keshavarz, M. (2019). What influences farmers' intentions to conserve on-farm biodiversity? An application of the theory of planned behavior in Fars province, Iran. *Global Ecology and Conservation*, 20, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00698>
 29. Ministry of Agricultural Jihad. (2022b). *Agricultural Statistics of 2021* (Vol. 2rd Volume): Prepared by Deputy of Statistics, Information and Communication Technology Center
 30. Mirabbasi Najafabadi, Z., Movahedi, S., & Baratian, A. (2015). The effect of climate on Almond tree (*Prunus amygdalus*) phonology in Najafabad city. *Journal of Applied Climatology*, 2(1), 37-52. (In Persian with English abstract)
 31. Mitra, R., Sarkar, A., Hossain, G., Roy, D., Mandal, G., Das, J., & Mandal, D. K. (2023). Development of objective-based multi-criteria decision-making approach in crop suitability assessment for maize production using GIS *Advancement of GI-Science and Sustainable Agriculture: A Multi-dimensional Approach* (pp. 199-215). Cham: Springer Nature Switzerland., https://doi.org/10.1007/978-3-031-36825-7_13
 32. Mohammadi, M. (2022). The effect of Mychorhizae Symbiosis on nutrient concentration in common Almond (*Prunus dulcis* Mill.) Rootstocks in drought stress condition. *Water and Soil*, 36(1), 81-94. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.73354.1110>
 33. Moradi, H., Esna-Ashari, M., & Ershadi, A. (2019). Evaluation of some physiological responses to drought stress in grafted and ungrafted almond rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(2), 311-323. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.246776.1356>
 34. Mushtaq, R., Yadav, R. K., Fayaz Fayaz, A., Ahmed, P., & Singh, H. (2023). Multi-criteria land suitability assessment for mulberry-based agroforestry using AHP and GIS approach in Anantnag district of the Kashmir valley, India, to achieve sustainable agriculture. *Environment, Development and Sustainability*, 26(11), 1-23.

<https://doi.org/10.1007/s10668-023-03812-x>

35. Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2023). An integrated approach land suitability for agroecological zoning based on fuzzy inference system and GIS. *Environment, Development and Sustainability*, 25(3), 2316-2338. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02127-7>
36. Nouri, M., Homaei, M., Pereira, L. S., & Bybordi, M. (2023). Water management dilemma in the agricultural sector of Iran: A review focusing on water governance. *Agricultural Water Management*, 288, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108480>
37. Nungula, E. Z., Mugwe, J., Massawe, B. H., Seleiman, M. F., Ali, N., & Gitari, H. I. (2024). GIS-AHP based approach in land evaluation and suitability assessment for sunflower (*Helianthus annuus*) production. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 1-22. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2309831>
38. Osei-Gyabaah, A. P., Antwi, M., Addo, S., & Osei, P. (2023). Land suitability analysis for cocoa (*Theobroma cacao*) production in the Sunyani municipality, Bono region, Ghana. *Smart Agricultural Technology*, 5, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100262>
39. Otieno, M. A., Gitari, H. I., Maitra, S., & Nungula, E. Z. (2023). GIS-AHP technique land suitability assessment for capsicum (*Capsicum annum L.*) production. *International Journal of Bioresource Science*, 10(1), 19-30. <https://doi.org/10.30954/2347-9655.01.2023.3>
40. Quinta-Nova, L., & Ferreira, D. (2022). Present and future land suitability analysis for Almond and Pistachio crops in the Beira Baixa region using spatial multicriteria In V. J. P. D. Martinho (Ed.), *Impacts of Climate Change and Economic and Health Crises on the Agriculture and Food Sectors* (pp. 249-263): IGI Global, <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-9557-2.ch013>
41. Rahimi, S., Gharaghani, A., & Eshghi, S. (2021). Diversity of Nut and seedling characteristics and its relationship to habitat climate in some Almond species. *Journal of Nuts*, 12(2), 113-136. <https://doi.org/10.22034/jon.2021.1923860.1107>
42. Ramezani Etedali, H., GorginPaveh, F., & Tavakoli, A. (2022). Identifying potential rainfed fields for supplementary irrigation in Qazvin province. *Water Management in Agriculture*, 9(1), 89-100. (In Persian with English abstract), DOR: 20.1001.1.24764531.1401.9.1.7.8
43. Sadiq, F. K., Ya'u, S. L., Aliyu, J., & Maniyunda, L. M. (2023). Evaluation of land suitability for soybean production using GIS-based multi-criteria approach in Kudan Local Government area of Kaduna State Nigeria. *Environmental and Sustainability Indicators*, 20(2), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100297>
44. Sharifzadeh, M., Aliyari, V., Aliyari, N., & Gholami Kalus, A. (2023). Investigating the impacts of drought on rural households of Kakan district in Boyer Ahmad County. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, 18(Special Issue), 73-87. (In Persian with English abstract)
45. Solimani, M., Rahimi, D., & Yazdanpanah, H. (2021). Climate change adaptation strategy in agriculture (Rostam County). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(29), 19-32. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22111/JNEH.2020.32681.1598>
46. Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Akbari, M., & Eftekhari, M. (2020). Land suitability assessment for maize farming using a GIS-AHP method for a semi-arid region, Iran. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(5), 332-338. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.03.003>
47. Tavakoli, A. R., Oweis, T. Y., Sepaskhah, A. R., Mahdavi Moghadam, M., & Farayedi, Y. (2021). Growing fruit trees with rainwater harvesting in arid environments: the case of almond in Northwest Iran. *Water Harvesting Research*, 4(1), 54-67. <https://doi.org/10.22077/jwhr.2020.3340.1034>
48. Yazdanpanah, h. a., Kamali, g., Hejazi-Zadeh, z., & Ziaean, p. (2006). Determination of climatic potential of east Azerbaijan Province for rainfed almond using GIS. *Geography and Development*, 4(8), 193-204. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22111/gdij.2006.3792>
49. Zainaldeen Meymand, A., Eskandari, M., Navidi, M., & Seyedjalali, S. J. (2019a). *Plant phenology for horticultural use in land suitability assessment*. Ministry of Agricultural Jihad, Institute of Soil and Water Research, Agricultural Research, Education and Extension Organization
50. Zamani-laei, M., Brown, M. E., McCarty, J. L., & Fain, J. J. (2023). Weather or not? The role of international sanctions and climate on food prices in Iran. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.998235>