



Saffron (*Crocus sativus* L.) Cultivation Potential Zoning in Fars Province

Vida Aliyari¹ , Maryam Sharifzadeh^{2*}

1- PhD Student of Agricultural Development, Department of Rural Development Management, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

2- Associate Professor, Department of Rural Development Management, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

*Corresponding author: m.sharifzadeh@yu.ac.ir

Received: 20 December 2025; **Revised:** 16 January 2026, **Accepted:** 11 February 2026

Extended Abstract

Introduction: Increasing water scarcity and accelerating climate change have made the transition toward low-water-use, high-value crops essential for ensuring agricultural sustainability in Iran's arid and semi-arid regions. Saffron (*Crocus sativus* L.) – with water requirements coincide with natural rainfall from autumn to early spring and a dormancy period throughout the hot, dry summer – represents a strategically valuable crop for these environments due to its drought tolerance and high economic return. Despite suitable ecological conditions, the cultivated saffron area in Fars Province during the 2024–2025 agricultural year was only 976.89 ha, with an average yield of 4.01 kg ha⁻¹ — well below the crop's potential productivity. This situation reflects spatial mismatches between cultivated sites and areas of favorable ecological capacity. The main objective of this research was therefore to delineate saffron-suitable zones across Fars Province using a spatially explicit, multi-criteria framework integrating biophysical and infrastructural factors to inform targeted development policies. This study, for the first time in Fars Province, simultaneously evaluates climatic, physical, and accessibility–infrastructure criteria, while previous research in other provinces focused primarily on natural parameters.

Materials and Methods: The research employed a quantitative, descriptive–analytical design integrating the Analytic Hierarchy Process (AHP), Geographic Information System (GIS), and fuzzy logic. Twelve parameters were evaluated, grouped under three main categories: (1) Climatic: annual precipitation (optimal range: 200–400 mm), mean annual temperature (12–21 °C), and minimum (5–15 °C) and maximum (18–30 °C) temperatures; (2) Physical: elevation (1,000–2,500 m), slope (<10° for high suitability), aspect, soil texture (loam to silty loam), and land use; (3) Accessibility–Infrastructure: distances to road networks, population centers, and rivers. Weights were derived from pairwise comparisons conducted by 26 experts in agronomy, soil science, and urban–rural planning, all with at least five years of professional or academic experience in the province. Spatial datasets included a 30-m NASA DEM, long-term climatic records from 29 meteorological stations, land use maps from the Forests, Rangelands and Watershed Organization, and soil data from the Soil Grids global database. Layers were



standardized using linear fuzzy membership functions and integrated via a weighted fuzzy overlay in GIS. The final zoning was classified into five suitability levels using the Natural Breaks (Jenks) method and validated against official saffron cultivation and production data for 2024–2025.

Results and Discussion: The results indicated that the climatic criteria exerted the highest influence (weight = 0.54), with annual precipitation identified as the most critical sub-criterion (sub-weight = 0.45), followed by mean annual temperature (0.26) and maximum temperature (0.17). Within the physical group (weight = 0.30), elevation (0.41) and slope (0.28) were the most decisive, while in the infrastructure group (weight = 0.16), the distance to road networks showed the highest importance (0.54). The consistency ratios for all comparison matrices were below 0.1, confirming logical expert judgments (average = 0.02). Spatial modeling revealed that 24.98% (30,538.71 km²) of the province is highly suitable, 30.98% (37,877.80 km²) suitable, and 23.93% moderately suitable, indicating that more than 55% of Fars Province has favorable ecological potential for saffron cultivation. Only 4.29% (5,246.02 km²) of the province was classified as unsuitable, corresponding mainly to hot southern counties (Lar, Lamerd, Khonj) and steep northern slopes (Izadkhast, Bavanat). Model validation confirmed a 96.70% spatial concordance between actual cultivated areas (944.7 ha out of 976.89 ha) and predicted suitable classes, as well as 96.74% conformity with total provincial production (3.80 t of 3.93 t), demonstrating strong predictive power and model reliability.

Conclusion: The integrated AHP–Fuzzy–GIS framework reveals that Fars Province possesses extensive but underutilized potential for sustainable saffron cultivation. The wide gap between potential (over 55% of provincial area) and current utilization (<1,000 ha) highlights the lack of spatially informed policy. The study's zoning map provides a scientific basis for smart, evidence-based agricultural planning, including: (1) prioritizing governmental incentives (subsidies, credit facilities) for highly suitable and suitable zones; (2) improving moderately suitable areas through supplemental irrigation and soil management; (3) prohibiting saffron cultivation in unsuitable zones to prevent resource waste; and (4) developing a regional saffron value chain through local processing and branding (Fars Saffron). Although model accuracy was high, constraints such as the temporal resolution of climate data and expert subjectivity in weight assignment must be considered in policy implementation. Overall, this spatial decision-support framework contributes to improving water productivity, enhancing farmers' incomes, and promoting sustainable rural economic development under ongoing water scarcity conditions.

Conflict of Interest: The authors declare no potential conflict of interest related to this work.

Keywords: Fuzzy logic; GIS, Land suitability; Sustainable agriculture; Site selection.



نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)

جلد سیزدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۴

شماره صفحه: ۳۳۲-۳۰۶

doi 10.22077/jsr.2026.10735.1298

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت زعفران (*Crocus sativus* L.) در استان فارس

ویدا علی‌یاری^۱، مریم شریف‌زاده^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

۲- دانشیار، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

*نویسنده مسئول: m.sharifzadeh@yu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۲

چکیده

با توجه به تشدید بحران آب و تغییرات اقلیمی، کشاورزی پایدار مبتنی بر محصولات کم‌آب و با ارزش اقتصادی ضرورت یافته است. زعفران، به دلیل هم‌زمانی دوره نیاز آبی‌اش با بارش‌های طبیعی پاییز تا اوایل بهار، ورود به دوره خواب در تابستان بدون نیاز به آبیاری، تحمل خشکی و ارزش اقتصادی بالا، گزینه‌ای امیدبخش برای مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است. این پژوهش، برای نخستین‌بار در استان فارس، تناسب اراضی کشت زعفران را با تلفیق جامع سه دسته معیار اقلیمی (بارش سالانه مؤثر در فصول رشد در بازه مناسب ۴۰۰/۱-۲۰۰ میلی‌متر، دمای میانگین سالانه ۲۱-۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد، متوسط حداقل دما ۱۵-۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداکثر دما ۳۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد)، فیزیکی (ارتفاع ۲۵۰۰-۱۰۰۰ متر، شیب کمتر از ۱۰ درجه برای رده‌های بسیار مستعد تا مستعد، جهت‌های جنوبی و جنوب‌شرقی، خاک لومی و لوم سیلتی) و دسترسی- زیرساختی (فاصله از جاده‌ها، مراکز جمعیتی و رودخانه‌ها) ارزیابی کرد؛ در حالی که مطالعات مشابه در سایر استان‌ها عمدتاً معیارهای طبیعی را در نظر گرفته‌اند. داده‌های مکانی و اقلیمی بر اساس آمار سال ۱۴۰۲ و با مشارکت ۲۶ کارشناس متخصص، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تلفیق شدند و نقشه نهایی به پنج رده تناسب تقسیم گردید. نتایج نشان داد که طبقه بسیار مستعد با سطحی معادل ۳۰۵۳۸/۷۱ کیلومترمربع (۲۴/۹۸ درصد از کل استان) و طبقه مستعد با ۳۷۸۷۷/۸۰ کیلومترمربع (۳۰/۹۸ درصد از کل استان) از پتانسیل بالایی برای توسعه کشت زعفران برخوردارند. همچنین، ۲۳/۹۳ درصد دیگر در طبقه نسبتاً مستعد قرار دارد که با مدیریت مناسب قابل تبدیل به اراضی تولیدی است. در مقابل، تنها ۴/۲۹ درصد از مساحت استان به دلیل محدودیت‌های فیزیکی و اقلیمی نامناسب ارزیابی شد. این پژوهش با توسعه چارچوبی سه‌بعدی و کاربردی، گامی مؤثر در جهت کشاورزی پایدار و تخصیص هوشمند منابع در استان فارس برداشته است.

واژه‌های کلیدی: تناسب اراضی، کشاورزی پایدار، مکان‌یابی، منطق فازی، GIS.



مقدمه

رشد اقتصادی و توسعه پایدار بدون توجه به بخش کشاورزی غیرممکن است (Alinaghizadeh, 2021). چرا که این بخش نه تنها در تأمین امنیت غذایی، بلکه در ایجاد اشتغال، تقویت اقتصاد محلی، حفاظت از منابع طبیعی و توسعه اجتماعی-اقتصادی مناطق روستایی نقش کلیدی دارد (Herman, 2024). در مواجهه با چالش‌هایی همچون تغییرات اقلیمی، کم‌آبی و تخریب منابع خاک، کشاورزی پایدار به عنوان یک استراتژی محوری مطرح شده است (Rusdiyana et al., 2024). دستیابی به توسعه پایدار مستلزم برنامه‌ریزی مبتنی بر توان واقعی سرزمین و استفاده شایسته از منابع طبیعی است (Petrova et al., 2023). در این چارچوب، تعیین کاربری‌های سرزمینی متناسب با پتانسیل‌های محیطی، رابطه‌ای پایدار بین انسان و طبیعت ایجاد می‌کند (Nazari Viand et al., 2020). از این رو، کشت محصولات باارزش افزوده‌ای مانند گیاهان دارویی و ادویه‌ای (مانند زعفران) که با شرایط اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک سازگارند، نه تنها به افزایش بهره‌وری کشاورزی کمک می‌کند، بلکه زمینه‌ساز توسعه اقتصادی و اجتماعی پایدار در مناطق روستایی خواهد بود (Alinaghizadeh, 2021). در این راستا، کشت محصولات باارزش افزوده بالا مانند گیاهان دارویی و ادویه‌ای، راهکاری کارآمد برای ارتقای اقتصاد روستایی و دستیابی به توسعه پایدار محسوب می‌شود.

زعفران (*Crocus sativus* L.) گران‌ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان، یک گیاه چندساله، علفی و از تیره زنبقیان است که به دلیل مقاومت بالا در برابر خشکی و نیاز آبی بسیار پایین، گزینه‌ای ایده‌آل برای مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. کلاله‌های سه‌شاخه نارنجی-قرمز آن (محصول اصلی تجاری) دارای ارزش بالایی در بازار جهانی است (Farajnia & Moravej, 2020; Vahdani & Asadian, 2021). زیرا برای تولید هر کیلوگرم کلاله به ۱۵۰ تا ۲۰۰ گل نیاز است و برداشت آن به صورت دستی و پرحمت انجام می‌شود (Mehmeti et al., 2024). زعفران حاوی ترکیبات ارزشمندی مانند کروسین (رنگ‌دهنده)، پیکروکروسین (طعم‌دهنده) و سافرانال (معطرکننده) است و خواص دارویی ضدالتهابی، ضدسرطان و آرام‌بخش دارد (Heydari et al., 2020). این

ویژگی‌ها، همراه با تقاضای رو به رشد در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی، باعث شده‌اند که بازار جهانی زعفران تا سال ۲۰۲۸ با نرخ رشد سالانه ۸/۵ درصدی افزایش یابد. ایران با سهم ۹۴ درصدی، بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکننده زعفران در جهان است (Mehmeti et al., 2024).

تولید این محصول در کشور از ۴۰۲ تن در سال ۱۳۹۷ به ۵۰۰ تن در سال ۱۳۹۸ (Heydari et al., 2020) و سطح زیرکشت آن از حدود ۳۱۵۰ هکتار در سال ۱۳۵۲ به بیش از ۵۷ هزار هکتار در سال ۱۳۸۴ افزایش یافته است (Alavi Zadeh et al., 2013). نیاز آبی زعفران عمدتاً در فصول پاییز، زمستان و اوایل بهار (همزمان با بارش‌های طبیعی) قرار دارد و در فصل تابستان وارد دوره خواب شده و به آبیاری نیازی ندارد (Halabian et al., 2021; Rajabi et al., 2016). این ویژگی، آن را به جایگزین مناسبی برای محصولات پرمصرف آب تبدیل کرده است (Shahidi & Khashei, 2019). کارایی مصرف آب در کشت زعفران بسیار بالاست؛ هر مترمکعب آب در این کشت، درآمدی معادل ۱۴ تا ۲۰ برابر سیب‌زمینی و ۷ تا ۸ برابر غلات ایجاد می‌کند (Farajnia & Moravej, 2020; Javaheri et al., 2022). در مجموع، کشت زعفران نه تنها به حفظ منابع آب و تقویت امنیت غذایی کمک می‌کند، بلکه به عنوان یک راهبرد کلیدی برای توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی مناطق روستایی (به ویژه در شرایط بحران آب) شناخته می‌شود.

استان فارس با وسعت گسترده، تنوع اقلیمی، دسترسی به منابع آبی و گستره قابل توجهی از اراضی قابل کشت، پتانسیل بالایی برای توسعه کشاورزی و به ویژه کشت محصولات باارزش افزوده مانند زعفران دارد (Shahdost & Ahmadvand, 2021).

بر اساس آمار رسمی سال ۱۴۰۳، استان فارس با ۹۷۶/۸۹ هکتار سطح کشت بارور زعفران (شامل ۹۵۸/۰۱ هکتار آبی و ۱۸/۸۸ هکتار دیم) در رتبه پایین‌تر کشور قرار دارد. با این حال، تولید آن نسبتاً مناسب است: ۳/۹۳ تن (۳/۸۵ تن آبی و ۰/۰۷ تن دیم)، که عملکرد متوسط ۴/۰۱ کیلوگرم در هکتار (۴/۰۲ کیلوگرم در هکتار برای کشت آبی و ۳/۷۱ کیلوگرم در هکتار برای کشت دیم) را نشان می‌دهد. هرچند این

عملکرد به مراتب پایین‌تر از استانداردهای جهانی است (Ministry of Jihad-e Agriculture, 2024)؛ اما نشان‌دهنده پتانسیل مناطق کشت‌شده در شرایط فعلی محسوب می‌شود.

این شکاف چشمگیر بین گستره کشت و میزان تولید، نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از این سطح زیرکشت بدون توجه به شرایط اکولوژیکی مناسب برای زعفران (از جمله زمستان‌های معتدل، تابستان‌های گرم و خشک، بارش مناسب در پاییز و زمستان، خاک‌های نفوذپذیر و آهکی، شیب ملایم و ارتفاع ۱۳۰۰ تا ۲۳۰۰ متری) توسعه یافته است (Halabian et al., 2021; Vahdani & Asadian, 2021). کشت در مناطق غیرمستعد نه تنها عملکرد و کیفیت محصول را کاهش می‌دهد، بلکه منجر به هدررفت منابع، افزایش هزینه‌ها و کاهش انگیزه کشاورزان می‌شود. همچنین، با وجود کیفیت قابل قبول زعفران برخی مناطق مانند استهبان، این محصول در بازارهای داخلی و بین‌المللی به خوبی شناخته نشده است (Shahvali et al., 2013). در حالی که بیش از ۳۱ درصد تولید جهانی زعفران در خراسان رضوی و جنوبی متمرکز است (Abbaszadeh et al., 2019)، استان فارس هنوز نتوانسته به یکی از قطب‌های تولید این محصول تبدیل شود. افزایش سطح زیرکشت بدون رعایت معیارهای اکولوژیکی، عامل اصلی کاهش عملکرد در واحد سطح است و ضرورت برنامه‌ریزی فضایی دقیق و شناسایی مناطق مستعد را آشکار می‌سازد. (Karami et al., 2025). در این راستا، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System; GIS) به عنوان ابزاری ضروری برای ارزیابی تناسب اراضی و مدیریت پایدار سرزمین مطرح است. پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت زعفران در فارس، به عنوان یک ضرورت علمی و برنامه‌ریزی شده، امکان شناسایی دقیق مناطقی را فراهم می‌کند که از تلفیق معیارهای طبیعی مانند دما، بارش، ارتفاع، شیب، جهت دامنه، نوع خاک و دسترسی به آب و عوامل انسانی- اقتصادی از قبیل دسترسی به بازار و تراکم جمعیت روستایی بهره می‌برند. چنین رویکردی نه تنها به افزایش بهره‌وری و کیفیت تولید کمک می‌کند، بلکه می‌تواند زمینه‌ساز توسعه اقتصادی پایدار، ارتقای رقابت‌پذیری زعفران

فارس و تحقق آمایش متوازن سرزمینی در این استان باشد.

پیشینه نظری

ارزیابی تناسب زمین، گام اولیه در فرآیند برنامه‌ریزی کاربری زمین محسوب می‌شود. در تولید کشاورزی، شناسایی شرایط بهینه زمین برای دستیابی به حداکثر سود اقتصادی در واحد سطح امری حیاتی است. تناسب یک زمین برای کشت یک محصول خاص، مستلزم بررسی معیارهای متعددی از جمله شرایط آب‌وهوایی، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و دسترسی به منابع آب است (Tugac et al., 2023). در راستای برنامه‌ریزی کاربری‌های کشاورزی و توسعه پایدار مناطق روستایی، شناخت چارچوب‌های نظری مکان‌یابی، ارزیابی تناسب اراضی و سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ضروری است. توسعه پایدار کشاورزی بر حفظ توان اکولوژیک منابع طبیعی، افزایش بهره‌وری و بهبود رفاه اجتماعی استوار است و تأکید می‌کند که پیش از بازگذاری هر فعالیت کشاورزی، شناسایی توانمندی‌ها و محدودیت‌های سرزمین امری حیاتی است؛ در غیر این صورت، سرمایه‌گذاری‌ها به دلیل محدودیت‌های طبیعی و اکولوژیکی از بین خواهند رفت (Gheysouri et al., 2019). آمایش سرزمین، به عنوان اولین گام در برنامه‌ریزی فضایی، به معنای مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای کاربری‌های مختلف بر مبنای خصوصیات اکولوژیکی است (Nabati et al., 2023). ارزیابی تناسب اراضی نیز فرآیندی است که در آن معیارهایی چون اقلیم، خصوصیات خاک، توپوگرافی و دسترسی به منابع آب تحلیل می‌شوند تا سازگاری زمین با یک کاربری خاص (مانند کشت زعفران) سنجیده شود (Karami et al., 2025). با توجه به ناهمگنی مکانی ویژگی‌های خاک و تأثیر عواملی چون مدیریت خاک و الگوهای کوددهی تهیه نقشه‌های توزیع مکانی این ویژگی‌ها در ارزیابی تناسب اراضی اهمیت بالایی دارد (Aghaloo & Sharifi, 2023). امروزه تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multi-Criteria Decision-Making; MCDM) مانند فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (Analytic Hierarchy Process; AHP) امکان تحلیل‌های دقیق‌تر برای تعیین مناطق بهینه کشت

اقلیمی، دارای تناسب پایینی بود. این مطالعه برجسته کرد ۱۵ درصد مساحت استان در پهنه متوسط و ۱۶ درصد در پهنه مناسب قرار دارد. مناطق بسیار مناسب نیز حدود ۱۰ درصد از سطح کل استان را شامل شد.

در استان همدان، حلبیان و همکاران (Halabian et al., 2021) با استفاده از داده های اقلیمی و محیطی و روش AHP، حدود ۳۵ درصد از سطح استان را در طبقه بسیار مناسب برای کشت زعفران قرار دادند که عمدتاً در نیمه جنوبی و شرقی استان متمرکز بودند. این مناطق عمدتاً در نیمه جنوبی استان، شامل شهرستان های ملایر، نهاوند، تویسرکان و اسدآباد، و همچنین مناطق شرقی شهرستان همدان بودند. در تحقیق دیگری، حیدری و همکاران (Heydari et al., 2020) با انجام پهنه بندی آگروکلیمایی، ۵۶/۶ درصد از اراضی استان همدان را در طبقات مناسب و کاملاً مناسب، ۲۷/۷ درصد در شرایط نسبتاً مناسب و ۱۵/۶۹ درصد در طبقه نامناسب طبقه بندی کردند. دشت های کبودآهنگ، همدان و بخشی از رزن برای کاشت محصول زعفران در طبقه کاملاً مناسب؛ و تویسرکان، اسدآباد، بخشی از ملایر و نهاوند در طبقه نامناسب قرار دارند. نقشه نهایی نشان داد که هر میزان از سمت جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق به سمت شمال استان پیش روی شود، میزان تناسب مناطق برای کشت زعفران افزایش می یابد.

در استان آذربایجان شرقی، فرج نیا و مروج (Farajnia & Moravej, 2020) با به کارگیری AHP و GIS، ۴۲ درصد از اراضی استان را در طبقات مناسب و نسبتاً مناسب برای کشت زعفران دانستند. دشت های تبریز، مرند و سراب به عنوان مناطق مستعد معرفی شدند، در حالی که مناطق کوهستانی مانند کلیبر و جلفا به دلیل شیب تند و شرایط اقلیمی نامناسب، دارای تناسب پایینی بودند.

عباس زاده و همکاران (Abbaszadeh et al., 2019) در ارزیابی اقتصادی و کمی تناسب اراضی شهرستان تربت حیدریه، نشان دادند که کشت زعفران در مقایسه با گندم از سودآوری بالاتری برخوردار است، اما محدودیت های خاکی مانع از توسعه گسترده آن می شود. این یافته ها اهمیت در نظر گرفتن همزمان معیارهای طبیعی و اقتصادی را در برنامه ریزی کشت برجسته می کند.

زعفران را فراهم می کند (AbdelRahman et al., 2025). این رویکردها در چارچوب نظریه های کلاسیک مکان یابی (از جمله نظریه های حداقل سازی هزینه (فون تانن و وبر)، حداکثر سازی درآمد (لوش و کریستالر) و حداکثر سازی سود مبتنی بر تحلیل تعادل عمومی (ایزارد و کروگمن)) قرار می گیرند (Castro, 2022) در مورد محصولی مانند زعفران که دارای ارزش افزوده بالا و نیاز آبی پایین است، رویکرد حداکثر سازی درآمد (مطابق با نظریه لوش) نسبت به حداقل سازی هزینه، اهمیت بیشتری پیدا می کند، چرا که توانایی این محصول در سودآوری در واحد سطح، اولویت را به سوی شناسایی مناطق با بالاترین توان اکولوژیک سوق می دهد. بنابراین، این پژوهش در چارچوب نظری آمایش سرزمین مبتنی بر توسعه پایدار کشاورزی و با بهره گیری از سیستم های پشتیبان تصمیم گیری فضایی طراحی شده است.

پیشینه پژوهش

ارزیابی تناسب اراضی برای کشت محصولات با ارزش افزوده مانند گیاهان دارویی و ادویه ای (به ویژه زعفران) به عنوان یکی از ارکان اساسی برنامه ریزی کشاورزی پایدار، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، اهمیت بالایی دارد؛ چرا که به بهینه سازی مصرف منابع (به ویژه آب) و افزایش بهره وری کشاورزی کمک می کند. در دهه های اخیر، تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش های تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM) به عنوان ابزاری کارآمد برای تولید نقشه های تناسب اراضی و شناسایی مناطق مستعد کشت زعفران و سایر گیاهان کم مصرف آب، مورد توجه گسترده پژوهشگران داخلی و بین المللی قرار گرفته است.

۱. مطالعات داخلی

در یکی از مطالعات این حیطه، جواهری و همکاران (Javaheri et al., 2022) با به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط GIS، به پهنه بندی پتانسیل اقلیمی کشت زعفران در استان کرمان پرداختند. بر اساس یافته ها، مناطق کوهپایه ای شهرستان های بافت، بردسیر، زرنند و شهر بابک به عنوان مناطق مستعد شناسایی شدند، در حالی که بخش های جنوبی و شرقی استان به دلیل نامناسب بودن شرایط

گرفتند. این یافته‌ها می‌توانند به عنوان راهنمایی برای توسعه کشت زعفران در منطقه مورد استفاده قرار گیرند.

نتایج پژوهش شوکتی و همکاران (Shokati et al., 2016) با استفاده از GIS و روش AHP، نشان داد که جهت‌های جنوبی و جنوب‌شرقی به دلیل دریافت بیشترین ساعات آفتابی در فصل گلدهی (اکتبر-نوامبر) به عنوان معیارهای محدودکننده و بسیار مهم در تناسب اراضی زعفران شناسایی شدند. همچنین، شیب‌های ملایم (کمتر از ۱۵ درجه) به دلیل کاهش خطر فرسایش و امکان اجرای عملیات زراعی، در مدل نهایی وزن بالاتری یافتند. در این مطالعه، ساعت آفتابی و بارش به ترتیب به عنوان مهم‌ترین و دومین معیار محدودکننده در کشت زعفران در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته شدند که این یافته، نقش حیاتی تابش خورشید و موقعیت توپوگرافی (شیب و جهت) را در موفقیت کشت زعفران برجسته می‌سازد. بنابراین، انتخاب این معیارها بر پایه شواهد تجربی و میدانی از منابع معتبر بین‌المللی و داخلی استوار است.

مرور مطالعات پیشین نشان داد که تلفیق GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (به‌ویژه AHP و ANP) به عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فضایی، ابزاری کارآمد و معتبر برای ارزیابی تناسب اراضی و برنامه‌ریزی کشاورزی پایدار است. این روش‌ها با تلفیق معیارهای طبیعی (اقلیم، خاک، توپوگرافی) و عوامل انسانی-اقتصادی (دسترسی به بازار، زیرساخت)، امکان شناسایی دقیق مناطق مستعد کشت زعفران را فراهم می‌کنند. با این حال، اکثر مطالعات انجام‌شده در سطح استان‌های خاصی از کشور متمرکز بوده و استان فارس به عنوان یکی از مناطق دارای پتانسیل بالا، هنوز مورد بررسی جامع و سیستماتیک با این روش‌ها قرار نگرفته است. این شکاف پژوهشی، ضرورت انجام پژوهش حاضر را برای تولید نقشه توان کشت زعفران در استان فارس با استفاده از GIS و روش‌های چند معیاره توجیه می‌کند.

مواد و روش‌ها

روش پژوهش

این پژوهش با هدف پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت زعفران در استان فارس، از تلفیق روش تحلیل

در استان خوزستان، نقی‌زاده (Alinaghizadeh, 2021) و نقی‌زاده و همکاران (Alinaghizade, 2019) در دو مطالعه مجزا به ارزیابی نقش عوامل اقلیمی و ناهمواری در تناسب اراضی پرداختند و هر دو به این نتیجه رسیدند که نواحی شمالی و شرقی استان به دلیل ارتفاع مناسب و شرایط اقلیمی مطلوب، تناسب بیشتری برای کشت زعفران دارند.

۲. مطالعات خارجی

در دسته مطالعات فرامرزی، والی و همکاران (Wali et al., 2016) در تحقیقی درباره مدل‌سازی تناسب زمین برای کشت زعفران در ولایت خوست افغانستان با استفاده از GIS و AHP به این نتیجه دست یافتند که تنها ۱۴/۶ درصد از مساحت منطقه (شامل ۱/۵ درصد بسیار مناسب، ۴/۵ درصد مناسب و ۸۶ درصد کمی مناسب) دارای پتانسیل کشت زعفران هستند و ۸۵/۴ درصد از اراضی این منطقه فاقد تناسب لازم جهت کشت این محصول می‌باشند.

اشرفی و همکاران (Ashrafi et al., 2018) در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی تناسب مناطق پایه‌سازی کاشت زعفران در استان اردبیل با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مناطقی با پتانسیل بالا برای کشت این گیاه در استان اردبیل شناسایی نمودند. یافته‌ها نشان داد که مناطق گرمی، پارس‌آباد، اصلاندوز و بیله‌سوار از تناسب بسیار خوبی برای کشت زعفران برخوردارند. اگرچه عدم در نظر گرفتن ویژگی‌های خاک توسط آن‌ها به عنوان یک محدودیت مطالعه ذکر شد.

یلدیریم و همکاران (Yıldırım et al., 2023) با توجه به ارزش اقتصادی بالا و نیاز کم محصول زعفران به نهاده‌های کشاورزی، به امکان‌سنجی کشت این محصول در منطقه بحر مدیترانه‌ای ترکیه با استفاده از GIS پرداختند. پارامترهایی مانند دما، بارش، رطوبت و تعداد روزهای یخبندان معیارهای اصلی ارزیابی بودند. نتایج نشان داد که مناطق جنوبی، مرکزی و غربی منطقه به‌ویژه استان‌های ازمیر و دنیزلی بیشترین تناسب را جهت کشت محصول زعفران دارند، در حالی که مناطق شمالی مانند کوتاهیا به دلیل یخبندان شدید، مناسب کشت این محصول نیست. استان‌های آیدین، مانیسا، اوشاک و موغله نیز در طبقه مناسب متوسط قرار

کارشناسان بر اساس معیارهای تخصص موضوعی، سابقه اجرایی یا پژوهشی (حداقل ۵ سال) و آشنایی مستقیم با شرایط اکولوژیکی و کشاورزی استان فارس صورت گرفت. این ترکیب چندرشته‌ای و تلفیق دانش آکادمیک با تجربه میدانی، روایی فرآیند وزن دهی در روش AHP را افزایش داد.

منابع داده‌های مکانی مورد استفاده در این پژوهش عبارت بودند از: مدل رقومی ارتفاع (DEM) با تفکیک مکانی ۳۰ متر از پلتفرم Earthdata ناسا، داده‌های اقلیمی از سالنامه آماری استان فارس (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۲)، نقشه کاربری اراضی از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (سال ۱۳۸۸)، و داده‌های شبکه جاده‌ها و مراکز جمعیتی از مرکز اطلاعات جغرافیایی سازمان نقشه‌برداری کشور. همچنین، داده‌های سطح و تولید زعفران سال ۱۴۰۳ از پایگاه اطلاعات برنامه‌ریزی و اقتصاد، معاونت امور باغبانی، وزارت جهاد کشاورزی دریافت شد.

ساختار سلسله‌مراتبی مدل AHP در جدول ۱ ارائه شده است.

سلسله‌مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان یک رویکرد چندمعیاره فضایی بهره گرفته است. روش تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر داده‌های کمی و مکانی است. بر اساس نظرات این کارشناسان و مرور ادبیات موجود، ۱۲ معیار مؤثر بر کشت زعفران (شامل بارش سالانه، دمای میانگین، حداقل و حداکثر سالانه، بافت خاک، کاربری اراضی، ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده‌های اصلی، فاصله از مراکز جمعیتی و فاصله از رودخانه‌ها) شناسایی و در سه دسته کلی اقلیمی، فیزیکی و دسترسی-زیرساختی گروه‌بندی شدند.

کارشناس متخصص از سه حوزه اصلی (کشاورزی و باغبانی (۱۰ نفر شامل اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها، کارشناسان جهاد کشاورزی استان فارس)، خاک‌شناسی و منابع طبیعی (۹ نفر از دانشگاه‌ها، سازمان جنگل‌ها و مراتع و مراکز تحقیقات خاک)، برنامه‌ریزی شهری و روستایی (۷ نفر از دانشگاه‌ها، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان فارس و دهیاری‌های شهرستان‌های استهبان، فسا و سپیدان) انتخاب گردیدند. انتخاب

جدول ۱. ساختار سلسله‌مراتبی مدل AHP در ارزیابی تناسب اراضی کشت زعفران

Table 1. Hierarchical structure of the AHP model for saffron land suitability assessment		
معیارها Criteria Group	زیرمعیارها Sub-criteria	توضیح Description
هدف کلی Overall Goal	پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت زعفران در استان فارس Land suitability zoning for saffron cultivation in Fars Province	سطح ۱ Level 1
اقلیمی-هواشناسی Climatic	Mean annual temperature	Levels 2 and 3
	Mean maximum temperature	
	Mean minimum temperature	
فیزیکی Physical	Elevation (m)	Levels 2 and 3
	Slope (degree)	
	Land use	
	Soil texture	
	Aspect	
دسترسی و زیرساختی Accessibility & Infrastructure	Distance to road networks	Levels 2 and 3
	Distance to population centers	
	Distance to rivers	

گردید. کریجینگ برای تخمین دقیق‌تر واریوگرام و همبستگی فضایی، نیازمند تعداد بالاتری از نمونه‌های پراکنده و تقریباً یکنواخت است که در این مطالعه فراهم نبود. در مقابل، روش IDW با عدم وابستگی به فرضیات آماری پیچیده و عملکرد پایدار در شرایط داده‌های کم و نامنظم، گزینه‌ای مناسب و قابل اعتماد برای تولید لایه‌های اقلیمی پیوسته در سطح استان محسوب می‌شود (Dastres et al., 2025). لایه‌های اقلیمی با استفاده از روش IDW تولید گردید و برای تهیه لایه‌های فاصله (مانند فاصله از جاده‌ها، مراکز جمعیتی و رودخانه‌ها) از تحلیل‌های فضایی، از جمله الگوریتم فاصله اقلیدسی، بهره گرفته شد. تمامی لایه‌ها در سیستم تصویر UTM Zone 39N و با مقیاس ۱:۳,۰۰۰,۰۰۰ یکپارچه‌سازی شدند.

با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice، مقایسات زوجی بین معیارها و زیرمعیارها انجام شد. پس از تشکیل ماتریس‌های مقایسه‌ای، وزن‌های نسبی هر معیار محاسبه گردید. نرخ ناسازگاری (CR) در تمامی ماتریس‌ها کمتر از ۰/۱ بود که بیانگر سازگاری منطقی قضاوت‌های کارشناسی و قابلیت اطمینان نتایج است.

در این پژوهش، پیش از تلفیق لایه‌ها، داده‌های هر معیار بر اساس جدول طبقه‌بندی تناسب اکولوژیکی زعفران که از ادبیات معتبر مانند (Acharya et al., 2025; Majid et al., 2023; Shokati & Feizizadeh, 2018; Rezvani Moghaddam, 2013) استخراج و توسط کارشناسان تأیید شده بود، به یک مقیاس ترتیبی پنج‌درجه‌ای تبدیل شد. در این مقیاس، عدد ۱ نشان‌دهنده کمترین تناسب (نامستعد) و عدد ۵ بیانگر بیشترین تناسب (بسیار مستعد) در نظر گرفته شد. این طبقه‌بندی به‌گونه‌ای انجام گرفت که جهت رابطه هر معیار با تناسب کشت در فرآیند تخصیص رده لحاظ شود. به‌عنوان مثال، در معیار شیب، مقادیر پایین‌تر (۰ تا ۵ درجه) به رده بسیار مستعد (رتبه ۵) و مقادیر بالاتر (بیش از ۳۰ درجه) به رده نامستعد (رتبه ۱) اختصاص یافت. پس از طبقه‌بندی اکولوژیکی و کارشناسی محور، مقادیر عددی (۱ تا ۵) با استفاده از تکنیک استانداردسازی فازی خطی به بازه ۰ تا ۱ نرمال‌سازی شدند تا قابلیت تلفیق یکپارچه لایه‌ها فراهم گردد. سپس، هر لایه فازی با وزن مربوطه‌اش (که

انتخاب این ۱۲ معیار با استناد به یافته‌های کلیدی ادبیات علمی و تصویب نهایی توسط ۲۶ کارشناس متخصص انجام شد.

رابطه معیارهای اقلیمی با کشت زعفران در مطالعات متعددی تأیید شده است؛ به‌طوری‌که مطالعه آچاریا و همکاران (Acharya et al., 2025) تأیید نمود که دمای بالا در طول فصل گلدهی می‌تواند بر گلدهی تأثیر منفی بگذارد. یافته‌های تجربی رضوانی‌مقدّم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) نیز از اهمیت ویژگی‌های فیزیکی مانند بافت لومی (با تعادل مناسب در نگهداری رطوبت و زهکشی) در موفقیت کشت زعفران حمایت می‌کنند. از سوی دیگر، آچاریا و همکاران (Acharya et al., 2025) نیز تأکید نمودند که خاک‌های سبک، خوب‌زهکش‌شده، کم‌تراکم، کلسی‌رسی و غنی از ماده آلی (به‌ویژه با بافت لومی یا لوم سیلتی) شرایط فیزیکی بهینه‌ای برای رشد زعفران فراهم می‌آورند. ارتفاع ۱۰۰۰-۲۵۰۰ متر، شیب کمتر از ۱۵ درجه و جهت‌های جنوبی به‌دلیل تأثیر مستقیم بر نور دریافتی، دمای خاک و خطر فرسایش، در پژوهش‌هایی مانند آچاریا و همکاران (Acharya et al., 2025) و شوکتی و همکاران (Shokati et al., 2016) به‌عنوان شرایط ایده‌آل گزارش شده‌اند.

برای تهیه لایه‌های معیار مورد نیاز در ارزیابی تناسب اراضی، داده‌های اقلیمی مبتنی بر میانگین بلندمدت دوره آماری از ابتدای فعالیت ایستگاه‌های هواشناسی تا پایان سال ۱۴۰۱، از سالنامه آماری استان فارس (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۲) استخراج شدند. لایه‌های توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model, DEM) با تفکیک مکانی ۳۰ متر تهیه گردید. نقشه کاربری اراضی از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (سال ۱۳۸۸) استخراج شد و داده‌های بافت خاک از پایگاه جهانی خاک (SoilGrids) با استفاده از ابزار SWAT به‌دست آمد.

با توجه به تعداد محدود ایستگاه‌های هواشناسی (۲۹ ایستگاه) و پراکنش نامنظم آن‌ها در سطح استان فارس (به‌ویژه تمرکز بیشتر در مناطق مرکزی و کمبود ایستگاه در مناطق جنوبی و شرقی) روش درون‌یابی معکوس فاصله وزن‌دار (Inverse Distance Weighting; IDW) به‌جای روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی ساختار فضایی (مانند کریجینگ) انتخاب

سطح کشت هر شهرستان در طبقه غالب تناسب آن شهرستان واقع شده است.

نتایج و بحث

۱. وزن دهی به معیارها و زیر معیارهای مؤثر بر تناسب اراضی کشت زعفران

نتایج نشان داد که معیار اقلیمی-هواشناسی با وزن ۰/۵۴ بیشترین تأثیر را دارد؛ در این میان، بارش سالانه (وزن ۰/۴۵) مهم‌ترین زیرمعیار است، چرا که زعفران به‌عنوان گیاهی دیم یا نیمه‌دیم، برای مراحل حساس رشد (جوانه‌زنی و گلدهی) به رطوبت کافی وابسته است. پس از آن، دمای میانگین سالانه (۰/۲۶) و متوسط حداکثر دما (۰/۱۷) به‌عنوان عوامل کلیدی دیگر شناسایی شدند که نشان‌دهنده نیاز زعفران به اقلیم معتدل است. در رتبه‌های بعدی، معیارهای فیزیکی (وزن ۰/۳۰) و دسترسی و زیرساختی (وزن ۰/۱۶) قرار گرفتند. در بخش فیزیکی، ارتفاع (۰/۴۱) به‌دلیل نقش آن در تنظیم شرایط اقلیمی محلی، مهم‌ترین عامل بود؛ سپس شیب زمین (۰/۲۸) و کاربری اراضی (۰/۱۶) اهمیت داشتند. بافت خاک (۰/۰۶) اهمیت نسبتاً کمتری یافت، احتمالاً به‌دلیل توزیع یکنواخت خاک‌های مناسب در منطقه. در معیار زیرساختی، فاصله از جاده‌ها (۰/۵۴) به‌عنوان مهم‌ترین عامل، نشان‌دهنده اهمیت حمل‌ونقل و دسترسی به بازار است. پس از آن، فاصله از مراکز جمعیتی (۰/۳۰) و فاصله از رودخانه‌ها (۰/۱۶) به‌ترتیب اهمیت دوم و سوم را داشتند. تمامی مقایسات زوجی دارای نرخ ناسازگاری ۰/۰۲ بودند که کمتر از آستانه قابل قبول (۰/۱) است و سازگاری منطقی قضاوت‌های کارشناسی را تأیید می‌کند.

۲. پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت زعفران در استان فارس

۲-۲-۱. تحلیل الگوهای اقلیمی مؤثر بر تناسب اراضی کشت زعفران

جهت تحلیل الگوهای اقلیمی مؤثر بر تناسب اراضی کشت زعفران، داده‌های اقلیمی مربوط به ۲۹ ایستگاه هواشناسی (شامل شهرستان‌های داخلی و ایستگاه‌های کمکی مرزی مانند یاسوج، اصفهان، سمیرم و دیلم) بر اساس مختصات جغرافیایی به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) وارد شدند (جدول ۳). با توجه به فنولوژی زعفران، محدوده‌های بهینه اقلیمی بر اساس

از روش AHP و نظرات کارشناسان به‌دست آمده بود) ضرب شد و لایه‌های فازی وزن‌دار گروه‌های اقلیمی، فیزیکی و دسترسی- زیرساختی با استفاده از روش ترکیب خطی فازی وزن‌دار در محیط ArcGIS ترکیب گردید. نقشه نهایی تناسب اراضی به‌منظور تسهیل در تفسیر و کاربردهای مدیریتی، به پنج رده (بسیار مستعد تا نامستعد) طبقه‌بندی شد. برای این منظور، از روش شکست طبیعی (Natural Breaks) استفاده گردید. این روش با حداقل‌سازی واریانس درون طبقه‌ای و حداکثرسازی واریانس بین طبقه‌ای (Jenks & Caspall, 1971)، ساختار ذاتی و غیرنرمال توزیع داده‌ها (که در مطالعات تناسب اراضی معمولاً چندحالتی است) را به‌خوبی حفظ می‌کند. با توجه به توزیع پیچیده و غیرخطی شاخص ترکیبی تناسب اراضی در این پژوهش، روش شکست طبیعی به‌عنوان گزینه‌ای مؤثرتر در تشخیص خوشه‌های معنادار و طبیعی در داده‌های فضایی انتخاب شد (Zhu et al., 2023).

برای توجیه انتخاب این روش، گزینه‌های جایگزینی مانند کوانتیل (Quantile)، فاصله مساوی (Equal Interval) و فاصله هندسی (Geometric Interval) نیز مورد مقایسه قرار گرفتند. بر اساس یافته‌های تاک و همکاران (Tak et al., 2025)، روش شکست طبیعی با حداکثرسازی تفاوت‌های بین رده‌ها، تفکیک معناداری میان مناطق با پتانسیل متفاوت ایجاد می‌کند. در مقابل، روش کوانتیل سهم مناطق مناسب را به‌صورت مصنوعی افزایش می‌دهد، و روش فاصله مساوی منجر به تجمع غیرواقع‌بینانه بخش عمده‌ای از منطقه در رده‌های میانی (احتمالاً نامناسب) می‌شود. با توجه به هدف این مطالعه (یعنی شناسایی دقیق تفاوت‌های واقعی در پتانسیل کشت) روش شکست طبیعی به‌عنوان گزینه‌ای که وفادارترین بازتاب‌دهنده الگوهای فضایی گرادیان‌مند شرایط محیطی است، انتخاب گردید.

در نهایت، به‌منظور افزایش قابلیت اطمینان نقشه پهنه‌بندی تناسب اراضی، نتایج حاصل با داده‌های واقعی کشت و تولید زعفران در سال ۱۴۰۳ (از اداره کل جهاد کشاورزی استان فارس) تطبیق داده شد. با استفاده از ابزار Zonal Statistics در محیط ArcGIS، طبقه غالب تناسب اراضی در هر شهرستان تعیین گردید و برای ساده‌سازی تطبیق، فرض شد که بخش عمده

قرار می‌گیرند؛ هرچند برخی از آن‌ها (مانند ایزدخواست) با دمای معتدل ممکن است از طریق آبیاری تکمیلی قابلیت کشت داشته باشند.

از دیدگاه دما، شهرستان‌های صفاشهر (با دمای ۱۲/۱۰ درجه سانتی‌گراد) و اقلید (با دمای ۱۳/۱۰ درجه سانتی‌گراد)، در محدوده مطلوب قرار دارند، در حالی که لامرد (با ۲۵/۶۰ درجه سانتی‌گراد)، لار (با ۲۳/۸۰ درجه سانتی‌گراد)، زرین‌دشت (با ۲۳/۲۰ درجه سانتی‌گراد) به دلیل دمای بالا، به‌ویژه در فصل تابستان، در معرض استرس حرارتی هستند.

به‌طور کلی، شهرستان‌هایی مانند فسا، استهبان، درودزن، کازرون و نورآباد ممسنی از ترکیب مناسبی از بارش (۴۸۰-۲۵۰ میلی‌متر) و دمای معتدل (۲۱-۱۷ درجه سانتی‌گراد) برخوردارند و از این رو در طبقات بالای تناسب اقلیمی قرار می‌گیرند.

ادبیات پژوهشی به شرح زیر در نظر گرفته شد: بارش سالانه ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌متر (محدوده بسیار مستعد تا مستعد)، با تمرکز بارش در فصول پاییز و زمستان؛ دمای میانگین سالانه ۲۱-۱۲ درجه سانتی‌گراد؛ متوسط حداقل دما: ۱۵-۵ درجه سانتی‌گراد (برای جلوگیری از آسیب یخبندان به ریزوم)؛ متوسط حداکثر دما: ۳۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد (برای کاهش تعرق و استرس گرمایی در فصل گلدهی).

بر این اساس، شهرستان‌های یاسوج (۷۹۰ میلی‌متر) و سپیدان (۶۴۰ میلی‌متر) بارش بسیار بالاتری از حد بهینه دارند و ممکن است مستعد فرسایش یا رطوبت اضافی باشند. در مقابل، شهرستان‌هایی مانند آباده (۱۳۶/۴۰ میلی‌متر)، نیریز (۱۹۳/۵۰ میلی‌متر)، ایزدخواست (۱۵۵/۵۰ میلی‌متر) و اصفهان (۱۲۴/۷۰ میلی‌متر) بارش سالانه‌ای کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر دارند و در محدوده کمی مستعد یا نامستعد از دیدگاه بارش

جدول ۲. وزن معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر تناسب اراضی کشت زعفران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

Table 2. Weights of criteria and sub-criteria affecting land suitability for saffron cultivation using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

معیارها Criteria Group	زیرمعیارها Sub-criteria	وزن زیر معیارها Sub-criterion Weight	وزن معیار Criterion Weight	نرخ ناسازگاری Consistency Ratio (CR)
اقلیمی-هواشناسی Climatic	بارش سالانه Annual precipitation	0.45	0.54	0.03
	دمای میانگین سالانه Mean annual temperature	0.26		
	متوسط حداکثر دما Mean maximum temperature	0.17		
	متوسط حداقل دما Mean minimum temperature	0.12		
	ارتفاع Elevation (m)	0.41	0.30	0.02
	شیب (درجه) Slope (degree)	0.28		
فیزیکی Physical	کاربری اراضی Land use	0.16		
	بافت خاک Soil texture	0.06		
	جهت شیب Aspect	0.09		
	فاصله از شبکه جاده‌ها Distance to road networks	0.54	0.16	0.01
	فاصله از مراکز جمعیتی Distance to population centers	0.30		
دسترسی و زیرساختی Accessibility & Infrastructure	فاصله از رودخانه Distance to rivers	0.16		

جدول ۳. داده های اقلیمی مختصات دار جهت ورود به GIS

Table 3. Georeferenced climatic data for input into GIS (Source: Statistical Center of Iran, 2023)

شهرستان County	X (Longitude)	Y (Latitude)	دمای میانگین سالانه Mean Annual Temperature (°C)	بارش سالانه Annual Precipitation (mm)	متوسط حداقل دما Mean Minimum Temperature (°C)	متوسط حداکثر دما Mean Maximum Temperature (°C)
آبادیه Abadeh	52.62	31.20	14.40	136.40	6.70	22.10
ارسنجان Arsanjan	53.28	29.94	18.60	237.30	11.90	25.40
استهبان Estahban	54.05	29.14	17.50	251.80	9.60	25.50
فسا Fasa	53.72	28.90	19.40	286.30	10.90	28.00
تخت جمشید Persepolis (Takht-e Jamshid)	52.89	29.92	17.70	284.20	9.30	26.00
دروذن Dorudzan	52.47	30.18	17.70	451.50	11.00	24.40
زرقان Zarqan	52.70	29.78	16.50	301.50	7.90	25.20
شیراز Shiraz	52.60	29.54	18.20	314.70	10.20	26.10
صفاشهر Safashahr	53.16	30.59	12.10	201.60	3.50	20.70
نیریز Neyriz	54.35	29.19	19.60	193.50	13.20	26.00
ياسوج Yasouj	51.56	30.70	15.00	790.10	7.50	22.60
بوانات Bavanat	53.61	30.48	14.00	218.50	6.80	21.10
اقلید Eqlid	52.63	30.90	13.10	320.50	6.40	19.80
ایزدخواست Izadkhast	52.13	31.53	13.90	155.50	6.90	20.80
سپیدان Sepidan	52.01	30.23	15.20	640.20	10.10	20.40
سمیرم Semirom	51.55	31.42	12.80	506.20	7.50	18.10
جهرم Jahrom	53.53	28.48	20.80	276.70	12.40	29.30
کازرون Kazerun	51.65	29.60	23.20	370.00	15.80	30.50
لامرد Lamerd	53.20	27.36	25.60	211.30	17.00	34.30
نورآباد ممسنی Nurabad Mamasani	51.54	30.07	21.30	479.70	12.90	29.60
زرین دشت Zarrin Dasht	54.43	28.37	23.20	218.70	15.30	31.40

ادامه جدول ۳. داده‌های اقلیمی مختصات‌دار جهت ورود به GIS

Table 3 continued. Georeferenced climatic data for input into GIS (Source: Statistical Center of Iran, 2023)

شهرستان County	X (Longitude)	Y (Latitude)	دمای میانگین سالانه Mean Annual Temperature (°C)	بارش سالانه Annual Precipitation (mm)	متوسط حداقل دما Mean Minimum Temperature (°C)	متوسط حداکثر دما Mean Maximum Temperature (°C)
لار Lar	54.37	27.67	23.80	208.90	15.60	32.00
اصفهان Isfahan	51.71	32.52	16.40	124.70	9.30	23.60
دیلَم Deylam	50.16	30.05	19.90	239.68	26.50	31.15
خنج Khonj	53.42	27.87	25.70	246.50	17.90	33.50
قیروکارزین Qir-o-Karzin	53.06	28.48	25.70	306.90	19.00	32.40
فیروزآباد Firuzabad	52.55	28.89	20.80	383.00	14.70	27.00
فراشبند Faryab (Farashband)	52.12	28.81	22.30	275.00	13.10	31.50
سروستان Sarvestan	53.22	29.28	20.40	229.30	13.30	27.50

روش AHP، از الگوریتم همپوشانی فازی در محیط ArcGIS برای تولید شکل پهنه‌بندی تناسب اقلیمی کشت زعفران استفاده شد. نتیجه حاصل (یک سطح پیوسته با مقادیر بین ۰ تا ۱) با استفاده از روش شکست به پنج طبقه تقسیم شد. نتایج پهنه‌بندی اقلیمی نشان می‌دهد که استان فارس از نظر شرایط اقلیمی، پتانسیل بالایی برای کشت زعفران دارد. بر اساس جدول ۵، بیش از ۵۳ درصد از مساحت استان در طبقات بسیار مستعد و مستعد قرار دارد؛ مساحتی که عمدتاً در دامنه‌های میان‌کوهی زاگرس (از جمله شهرستان‌های سپیدان، اقلید، فسا و استهبان) متمرکز شده است.

با این حال، قریب به ۲۰ درصد از استان (به‌ویژه مناطق جنوبی و جنوب‌شرقی مانند لار، لامرد و خنج) به دلیل دمای بالا و بارش پایین، در طبقه نامستعد قرار گرفته‌اند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که هرچند پتانسیل اقلیمی در سطح استان گسترده است، اما توزیع فضایی آن ناهمگون است و نیازمند برنامه‌ریزی هدفمند است.

نتایج تحلیل تناسب اقلیمی بر اساس زیرمعیارهای بارش و دما در جدول ۴ خلاصه شده است.

نتایج پهنه‌بندی اقلیمی نشان می‌دهد که استان فارس از نظر شرایط اقلیمی، پتانسیل بالایی برای کشت زعفران دارد. بر اساس جدول ۴، بیش از ۵۳/۸۱ درصد از مساحت استان در طبقات بسیار مستعد و مستعد قرار دارد؛ که عمدتاً در دامنه‌های میان‌کوهی زاگرس (از جمله شهرستان‌های سپیدان، اقلید، فسا و استهبان) متمرکز شده است.

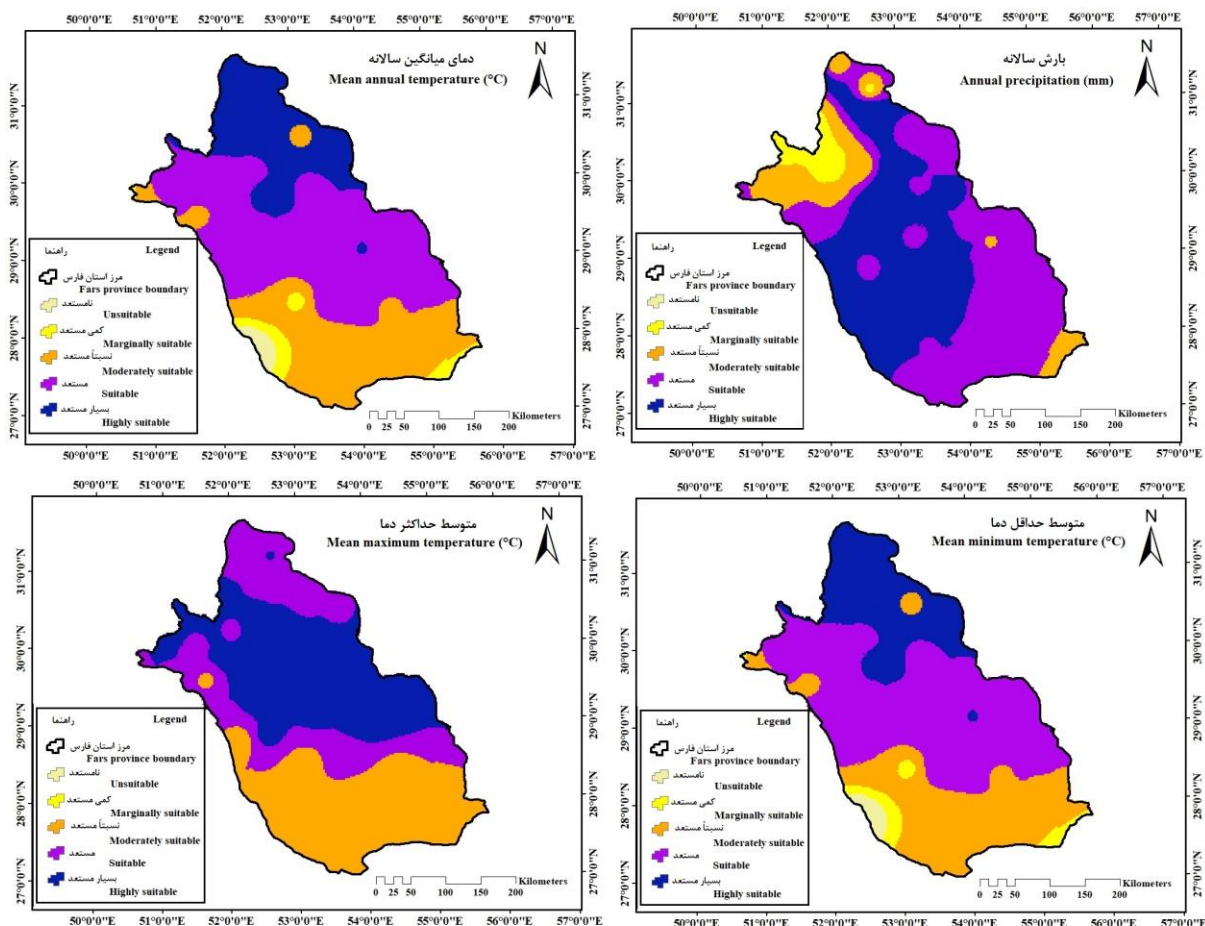
بارش سالانه مهم‌ترین عامل اقلیمی شناسایی شده است؛ ترکیب طبقات مناسب از این زیرمعیار، حدود ۸۵ درصد از استان را پوشش می‌دهد و نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از منطقه، بارش‌های موسمی (پاییز تا اوایل بهار) کافی برای مراحل حساس رشد زعفران دارد. از سوی دیگر، الگوی دمایی نیز مطلوب ارزیابی شده است: بیش از ۷۷ درصد از منطقه در محدوده‌های دمایی مناسب قرار دارد که خطر یخبندان شدید یا استرس گرمایی را به حداقل می‌رساند (شکل ۱).

پس از فازی‌سازی لایه‌های اقلیمی (بارش، دمای میانگین، حداقل و حداکثر دما) و تعیین وزن آن‌ها با

جدول ۴. داده وضعیت پهنه‌ها به تفکیک زیرمعیارهای اقلیمی برای توسعه کاشت زعفران در استان فارس

Table 4. Status of climatic suitability zones for saffron cultivation in Fars Province

زیرمعیارها Sub-criterion	وضعیت Class	دامنه Range	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km ²)	درصد از کل استان Percentage of Total Province
بارش سالانه (میلی‌متر) Annual precipitation (mm)	بسیار مستعد Highly suitable	250.1 – 350	49,796.14	40.73%
	مستعد Suitable	200.1 – 250 or 350.1 – 400	54,048.23	44.20%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	150.1 – 200 or 400.1 – 500	13,604.37	11.13%
	کمی مستعد Marginally suitable	100.1 – 150 or 500.1 – 700	4,823.26	3.94%
	نامستعد Unsuitable	100 or >700	–	–
	Unsuitable			
دمای میانگین سالانه (درجه سانتی‌گراد) Mean annual temperature (°C)	بسیار مستعد Highly suitable	15.1 – 18	18,508.40	15.14%
	مستعد Suitable	12.1 – 15 or 18.1 – 21	52,767.41	43.16%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	10.1 – 12 or 21.1 – 23	22,720.10	18.58%
	کمی مستعد Marginally suitable	8.1 – 10 or 23.1 – 25	20,221.93	16.54%
	نامستعد Unsuitable	8 or >25.1	8,054.15	6.59%
	Unsuitable			
متوسط حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Mean minimum temperature (°C)	بسیار مستعد Highly suitable	5.1 – 10	25,362.51	20.74%
	مستعد Suitable	10.1 – 15	57,527.21	47.05%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	3.1 – 5 or 15.1 – 18	33,670.52	27.54%
	کمی مستعد Marginally suitable	0 – 3 or 18.1 – 20	3,992.46	3.26%
	نامستعد Unsuitable	0 or >20.1	1,719.30	1.41%
	Unsuitable			
متوسط حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Mean maximum temperature (°C)	بسیار مستعد Highly suitable	22.1 – 28	47,649.90	38.97%
	مستعد Suitable	18.1 – 22 or 28.1 – 30	33,641.68	27.51%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	15.1 – 18 or 30.1 – 35	40,980.42	33.52%
	کمی مستعد Marginally suitable	10.1 – 15 or 35.1 – 40	–	–
	نامستعد Unsuitable	10 or >40.1	–	–
	Unsuitable			



شکل ۱. از راست به چپ: شکل توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس بر اساس زیرمعیارهای

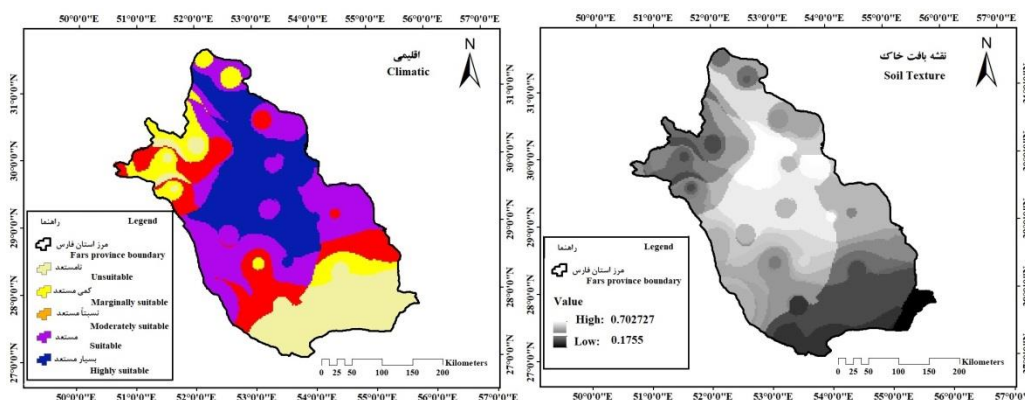
بارش سالیانه (میلی‌متر)؛ میانگین دمای سالانه؛ متوسط حداقل دما و متوسط حداکثر دما

Fig 1. From right to left: Spatial distribution map of saffron cultivation suitability zones in Fars Province based on annual precipitation (mm), mean annual temperature, mean minimum temperature, and mean maximum temperature (Source: Research findings).

جدول ۵. طبقات تناسب اقلیمی برای کشت زعفران در استان فارس

Table 5. Climatic suitability classes for saffron cultivation in Fars Province

وضعیت تناسب اقلیمی Climatic Suitability Class	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km ²)	درصد از کل استان Percentage of Total Province
بسیار مستعد Highly suitable	31,420.81	25.70%
مستعد Suitable	34,373.86	28.11%
نسبتاً مستعد Moderately suitable	19,680.15	16.09%
کمی مستعد Marginally suitable	12,635.80	10.33%
نامستعد Unsuitable	24,161.38	19.76%



شکل ۲. از راست به چپ: شکل فازی AHP و شکل توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس بر اساس معیارهای اقلیمی

Fig 2. From right to left: Fuzzy AHP map and spatial distribution map of saffron cultivation suitability zones in Fars Province based on climatic criteria (Source: Research findings).

نامناسب (رس سنگین یا شنی خالص) است که خطر پوسیدگی یا خشکی شدید را افزایش می دهند. از نظر کاربری اراضی، حدود ۷۵ درصد از مساحت استان شامل اراضی بایر، مرتع های ضعیف و اراضی زراعی دیم است که با مدیریت مناسب، پتانسیل تبدیل به اراضی تولیدی را دارند. در مقابل، حدود ۶ درصد شامل مناطق شهری، آب های سطحی و صخره هاست که به دلیل محدودیت های فیزیکی، نامناسب ارزیابی شده اند.

از دیدگاه موقعیت توپوگرافی، بیش از ۶۶ درصد از استان در ارتفاع بهینه (۲۵۰۰-۱۰۰۰ متر) و با شیب کمتر از ۱۰ درجه قرار دارد که شرایط ایده آلی برای کشت زعفران فراهم می کند. همچنین، بیش از ۵۰ درصد دامنه ها از جهت های جنوبی، جنوب شرقی یا جنوب غربی هستند که به دلیل دریافت تابش بیشتر در فصول سرد، خطر پوسیدگی ریزوم را کاهش می دهند (جدول ۶ و شکل ۳).

از دیدگاه توپوگرافی، بیش از ۸۳ درصد از اراضی استان در محدوده ارتفاع بهینه (۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر) و با شیب ملایم (کمتر از ۱۵ درجه) قرار دارند؛ این دو، عامل کلیدی در کاهش هزینه های عملیات کشاورزی و خطر فرسایش می باشند. همچنین، دامنه های جنوبی، جنوب شرقی و جنوب غربی که نزدیک به ۵۱ درصد از سطح استان را دربر می گیرند، به دلیل دریافت تابش کافی در فصول سرد سال، شرایط مطلوبی برای جوانه زنی و کاهش ریسک پوسیدگی ریزوم فراهم می کنند (جدول ۵).

تلفیق لایه های اقلیمی با استفاده از روش AHP و منطق فازی (شکل ۲) نشان می دهد که مناطق با بالاترین تناسب اقلیمی دارای بارش ۴۰۰-۲۰۰ میلی متر، دمای میانگین ۱۲/۱-۲۱ درجه سانتی گراد و دامنه دمایی معتدل هستند. این یافته ها گواهی بر این است که زعفران (به ویژه در زمین هایی که از نظر فیزیکی و زیرساختی نیز مناسب هستند) می تواند به عنوان یک محصول دیم با ارزش افزوده بالا، جایگزین بخشی از محصولات آب بر سنتی در فارس شود.

۲-۲-۲. توزیع فضایی مناطق مستعد کشت زعفران در استان فارس با تمرکز بر معیارهای فیزیکی

به منظور پهنه بندی مناطق مستعد کشت زعفران بر اساس معیارهای فیزیکی، لایه های ارتفاع، شیب، جهت شیب، بافت خاک و کاربری اراضی استخراج و طبقه بندی شدند. یافته ها نشان داد که استان فارس از پتانسیل بالایی برای کشت زعفران برخوردار است. بیش از ۹۶ درصد از خاک های استان از بافت های لومی یا مشتقات آن (لوم سیلتی، لوم رسی و لوم شنی) تشکیل شده اند که تعادل مناسبی بین نگهداری رطوبت، تهویه و زهکشی ایجاد می کنند. این ویژگی ها برای رشد سالم ریزوم زعفران حیاتی است (جدول ۶). از سوی دیگر، تنها کمتر از ۲ درصد از سطح استان شامل خاک های

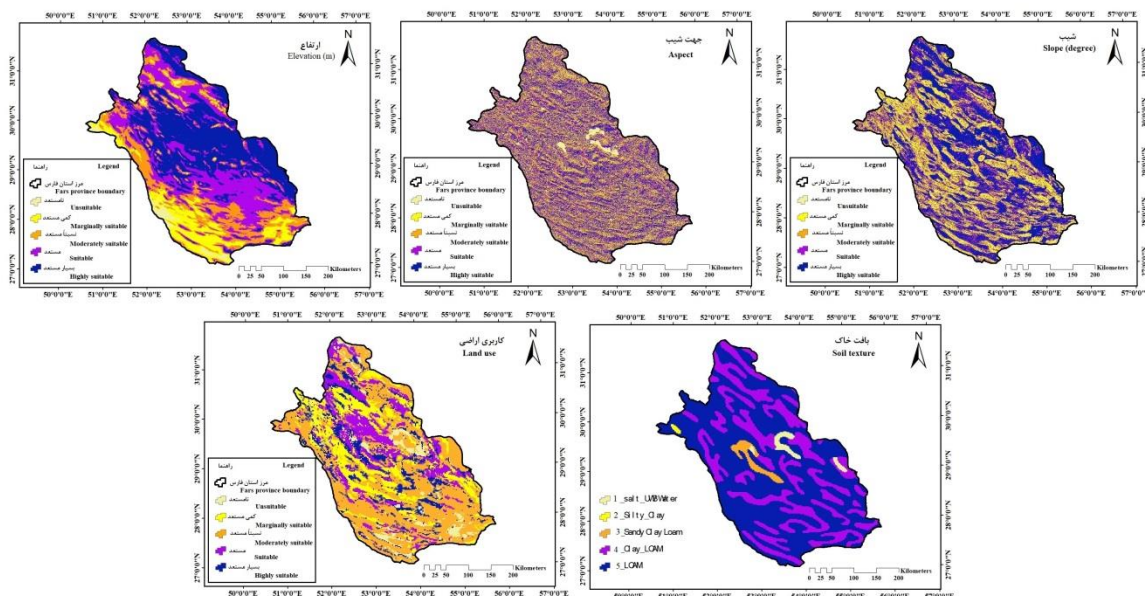
جدول ۶. وضعیت پهنه‌ها به تفکیک زیرمعیارهای فیزیکی برای توسعه کاشت زعفران در استان فارس

Table 6. Status of suitability zones by physical sub-criteria for saffron cultivation development in Fars Province

زیرمعیار Sub-criterion	تناسب فیزیکی Physical Suitability Class	توصیف قابلیت Capability Description	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km ²)	درصد از کل استان Percentage of Total Province
بافت خاک Soil texture	بسیار مستعد Highly suitable	لوم و لوم سیلنی Loam and silty loam	79,252.22	64.82%
	مستعد Suitable	لوم رسی و لوم شنی Clay loam and sandy loam	38,464.17	31.46%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	لوم شنی و لوم رس شنی Sandy loam and clayey sandy loam	2,396.00	1.96%
	کمی مستعد Marginally suitable	شنی و شن-رسی Sandy and sandy-clay	248.41	0.20%
	نامستعد Unsuitable	رس سنگین و سنگی/شنی Heavy clay and stony/sandy	1,911.19	1.56%
	بسیار مستعد Highly suitable	زراعی، دیم و تناوبی Rainfed and rotational croplands	14,897.26	12.18%
کاربری اراضی Land use	مستعد Suitable	باغ، مرتع متوسط، جنگل کاری Orchards, moderate rangelands, afforested areas	20,973.04	17.15%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	زمین بایر، مرتع ضعیف، جنگل کم‌پوشش Bare lands, degraded rangelands, sparse forests	56,827.32	46.48%
	کمی مستعد Marginally suitable	جنگل اولیه و ثانویه Primary and secondary forests	21,785.54	17.82%
	نامستعد Unsuitable	شهری، صخره‌ای، تالاب، آب Urban, rocky, wetlands, water bodies	7,788.84	6.37%
ارتفاع Elevation (m)	بسیار مستعد Highly suitable	1,500 – 2,200	43,239.45	35.36%
	مستعد Suitable	1,000 – 1,500 or 2,200 – 2,500	37,900.06	31.00%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	700 – 1,000 or 2,500 – 2,800	23,996.77	19.63%
	کمی مستعد Marginally suitable	400 – 700 or 2,800 – 3,000	14,442.46	11.81%
	نامستعد Unsuitable	400 or >3,000	2,693.25	2.20%
	بسیار مستعد Highly suitable	0 – 5	48,573.01	39.72%
شیب (درج) Slope (degrees)	مستعد Suitable	5 – 10	24,913.04	20.37%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	10 – 15	15,319.94	12.53%
	کمی مستعد Marginally suitable	15 – 30	26,046.55	21.30%
	نامستعد Unsuitable	>30	7,419.46	6.07%
جهت شیب Aspect	بسیار مستعد Highly suitable	جنوبی، جنوب شرقی South, southeast	31,093.00	25.43%
	مستعد Suitable	جنوب غربی، شرقی Southwest, east	31,226.75	25.54%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	شمالی، غربی North, west	28,206.26	23.07%
	کمی مستعد Marginally suitable	شمال شرقی Northeast	16,544.56	13.53%
	نامستعد Unsuitable	شمال غربی Northwest	15,201.43	12.43%

الگوی فضایی این پتانسیل در شکل ۳ به‌وضوح قابل مشاهده است: مناطق مستعد، از خاک لومی و لوم سیلتی، ارتفاع ۱۰۰۰-۲۵۰۰ متر، شیب کمتر از ۱۰ درجه و جهت شیب جنوبی یا جنوب‌شرقی برخوردارند. این یافته برجسته می‌کند که محدودیت اصلی کشت زعفران در فارس، عوامل فیزیکی نیست، بلکه عوامل انسانی-اقتصادی (مانند بازار و زیرساخت) تعیین‌کننده اصلی موفقیت این کشت خواهند بود.

کاربری اراضی نیز نشان‌دهنده ظرفیت قابل توجهی برای توسعه است: بیش از ۲۹ درصد از اراضی شامل زمین‌های زراعی دیم، باغ‌ها و مراتع متوسط است که از نظر زیرساخت و سابقه کشاورزی، اولویت اصلی برای تبدیل به کشت زعفران محسوب می‌شوند. حتی اراضی بایر و مراتع ضعیف (حدود ۴۶ درصد) نیز با مدیریت پایدار، قابلیت کشت این گیاه را دارند.

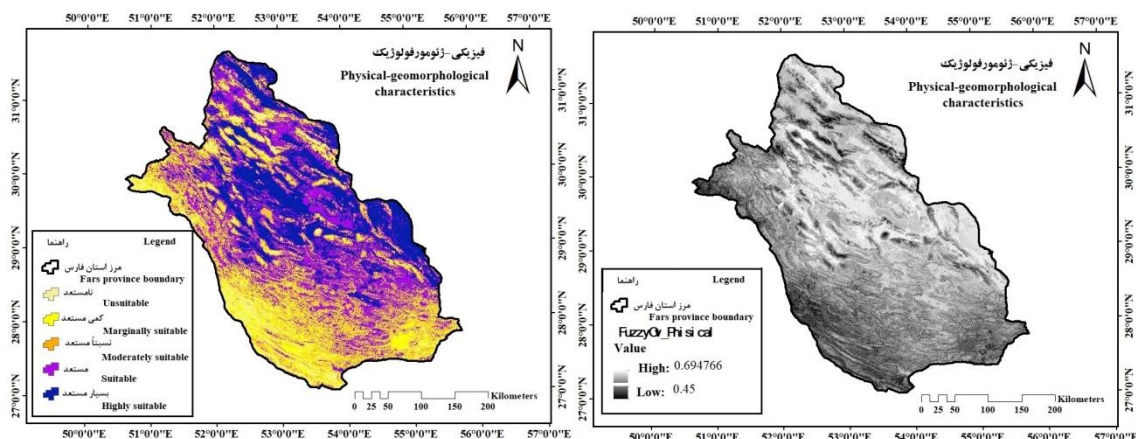


شکل ۳. شکل از راست به چپ: توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس بر اساس زیرمعیارهای شیب؛ جهات شیب؛ ارتفاع از سطح دریا؛ بافت خاک و کاربری اراضی (منبع: یافته‌های تحقیق)

Fig 3. From right to left: Spatial distribution of saffron cultivation suitability zones in Fars Province based on slope, aspect, elevation, soil texture, and land use (Source: Research findings).

جدول ۷. توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس بر اساس معیارهای فیزیکی
Table 7. Spatial distribution of saffron cultivation suitability zones in Fars Province based on physical criteria

وضعیت تناسب فیزیکی Physical Suitability Class	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km ²)	درصد از کل استان Percentage of Total Province
بسیار مستعد Highly suitable	31,093.95	25.43%
مستعد Suitable	36,063.49	29.49%
نسبتاً مستعد Moderately suitable	28,037.80	22.93%
کمی مستعد Marginally suitable	19,404.47	15.87%
نامستعد Unsuitable	7,672.28	6.27%



شکل ۴. شکل از راست به چپ: شکل فازی AHP و شکل توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس بر اساس معیار فیزیکی (منبع: یافته‌های تحقیق)

Fig 4. From right to left: Fuzzy AHP map and spatial distribution map of saffron cultivation suitability zones in Fars Province based on physical criteria (Source: Research findings).

پهنه‌بندی، بیش از ۶۳ درصد از استان در فاصله مناسبی از جاده‌ها (کمتر از ۲۵۰۰ متر) و مراکز جمعیتی (کمتر از ۲۵۰۰ متر) قرار دارد؛ که این شرایط، دسترسی آسان به نیروی کار، بازار، ماشین‌آلات و خدمات کشاورزی را فراهم می‌کند. این مناطق بیشتر در حومه شهرهای شیراز، فسا، زرین‌دشت و استهبان متمرکز شده‌اند.

با این حال، بیش از ۵۵ درصد از مساحت استان به دلیل فاصله زیاد از رودخانه‌ها (بیشتر از ۵۰۰۰ متر) در طبقه نامستعد از دیدگاه دسترسی به آب سطحی قرار دارد (جدول ۷). این یافته نشان می‌دهد که محدودیت اصلی توسعه زعفران در فارس، عدم امکان آبیاری تکمیلی در بسیاری از مناطق مستعد است؛ حتی آن‌هایی که از نظر فیزیکی و اقلیمی مناسب‌اند.

الگوی فضایی این ناهمگونی در شکل ۵ به‌وضوح دیده می‌شود: در حالی که مناطق مرکزی و جنوبی استان (مانند اطراف شیراز و فسا) به جاده و جمعیت دسترسی عالی دارند، اما اغلب از نزدیکی به رودخانه‌های دائمی محروم‌اند. این یافته‌ها حاوی پیام سیاستی واضح است: توسعه پایدار زعفران در فارس مستلزم سرمایه‌گذاری هدفمند در زیرساخت‌های آبی (مانند سامانه‌های ذخیره‌سازی آب باران، چاه‌های هوشمند یا شبکه‌های انتقال آب تکمیلی) است، به‌ویژه در مناطقی که از نظر فیزیکی و اقلیمی پتانسیل بالایی دارند.

پس از تلفیق این لایه‌ها با وزن‌های AHP و استفاده از الگوریتم همپوشانی فازی، نقشه نهایی تناسب فیزیکی تولید شد (شکل ۴)، نتایج نشان داد که ۵۴/۹۲ درصد از مساحت استان (معادل ۶۷,۱۵۷/۴۴ کیلومترمربع) در طبقات بسیار مستعد و مستعد قرار دارد (جدول ۷). این مناطق عمدتاً در کمربند زاگرس مرکزی و جنوبی (به‌ویژه شهرستان‌های استهبان، فسا، سپیدان، اقلید و زرین‌دشت) متمرکز شده‌اند؛ و می‌توانند به‌عنوان قطب‌های اصلی توسعه‌یافته در برنامه‌ریزی‌های آینده در نظر گرفته شوند.

شکل توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس بر اساس معیار فیزیکی در شکل ۴ قابل مشاهده است.

۲-۳. توزیع فضایی مناطق مستعد کشت زعفران در استان فارس با تمرکز بر معیارهای دسترسی و زیرساختی

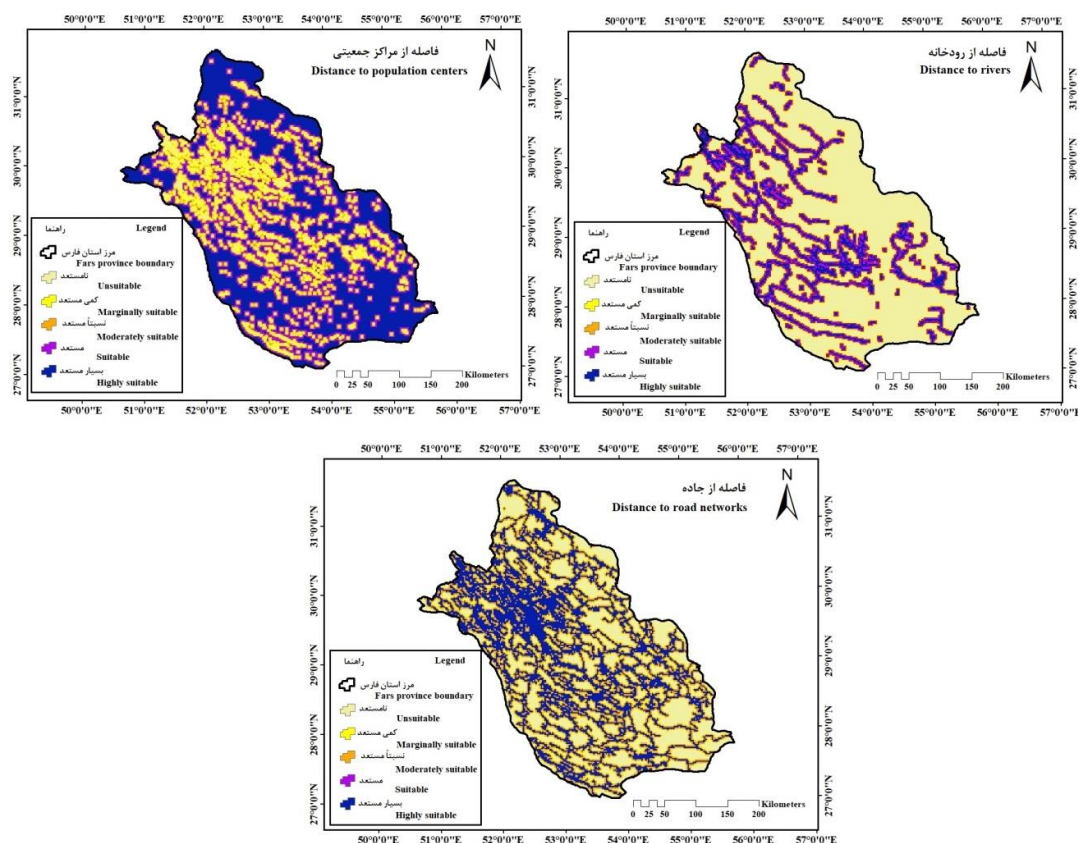
یافته‌های حاصل از تحلیل معیارهای دسترسی و زیرساختی برجسته می‌کند که استان فارس از دو ویژگی متضاد (سهولت دسترسی به جاده‌ها و مراکز جمعیتی در مقابل محدودیت شدید دسترسی به منابع آب سطحی) در این حوزه برخوردار است.

جدول ۸ توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس را بر اساس زیرمعیارهای دسترسی و زیرساخت‌ها نشان می‌دهد. بر اساس یافته‌های

جدول ۸. توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس به تفکیک زیرمعیارهای دسترسی-زیرساختی

Table 8. Spatial distribution of saffron cultivation suitability zones in Fars Province by accessibility-infrastructure sub-criteria

زیرمعیار Sub-criterion	وضعیت تناسب Suitability Class	محدوده فاصله (متر) Distance Range (m)	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km ²)	درصد از کل استان Percentage of Total Province
فاصله از شبکه جاده‌ها (متر) Distance to road network (m)	بسیار مستعد Highly suitable & Suitable	0 – 1,500	44,773.42	36.62%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	1,500 – 2,500	32,986.009	26.98%
	کمی مستعد Marginally suitable	2,500 – 3,500	9,708.72	7.94%
	نامستعد Unsuitable	>3,500	34,803.85	28.46%
	بسیار مستعد Highly suitable	0 – 1,000	49,974.23	40.87%
فاصله از مراکز جمعیتی (متر) Distance to population centers (m)	مستعد Suitable	1,000 – 2,500	28,685.97	23.46%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	2,500 – 4,000	12,773.77	10.45%
	کمی مستعد Marginally suitable	4,000 – 6,000	21,655.09	17.71%
	نامستعد Unsuitable	>6,000	9,182.93	7.51%
	بسیار مستعد Highly suitable	0 – 1,000	14,913.60	12.20%
فاصله از رودخانه (متر) Distance to rivers (m)	مستعد Suitable	1,000 – 2,500	17,122.73	14.00%
	نسبتاً مستعد Moderately suitable	2,500 – 3,500	6,839.31	5.59%
	کمی مستعد Marginally suitable	3,500 – 5,000	15,060.34	12.32%
	نامستعد Unsuitable	>5,000	68,336.02	55.89%
	نامستعد Unsuitable			



شکل ۵. از چپ به راست: توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس بر اساس زیرمعیارهای فاصله از رودخانه (راست)، فاصله از مراکز جمعیتی (چپ) و فاصله از جاده‌ها (وسط) (منبع: یافته‌های تحقیق)

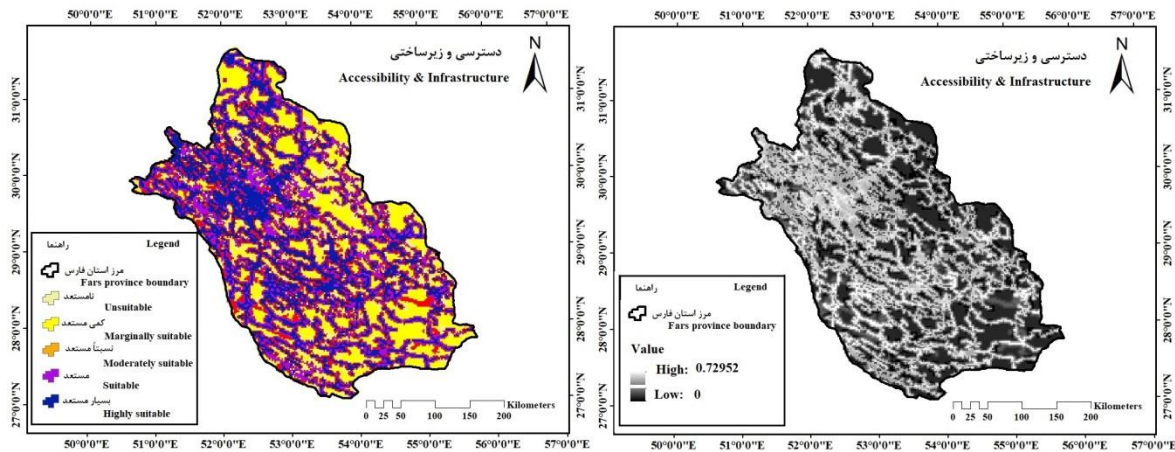
Fig 5. From left to right: Spatial distribution of saffron cultivation suitability zones in Fars Province based on the following infrastructure sub-criteria: distance to rivers (right), distance to population centers (left), and distance to road networks (center) (Source: Research findings).

جدول ۹. طبقه‌بندی معیار دسترسی و زیرساختی مناطق مستعد کشت زعفران در استان فارس

Table 9. Classification of accessibility and infrastructure suitability for saffron cultivation zones in Fars Province

Suitability Class	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km ²)	درصد از کل استان Percentage of Total Province
بسیار مستعد Highly suitable	35,105.38	28.71%
مستعد Suitable	23,494.06	19.21%
نسبتاً مستعد Moderately suitable	22,631.21	18.51%
کمی مستعد Marginally suitable	34,171.32	27.95%
نامستعد Unsuitable	6,870.02	5.62%

منبع: یافته‌های تحقیق (Source: Research findings)



شکل ۶. از راست به چپ: شکل فازی AHP و شکل توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس بر اساس معیار دسترسی - زیرساختی (منبع: یافته‌های تحقیق)

Fig 6. From right to left: Fuzzy AHP map and spatial distribution map of saffron cultivation suitability zones in Fars Province based on accessibility-infrastructure criteria (Source: Research findings).

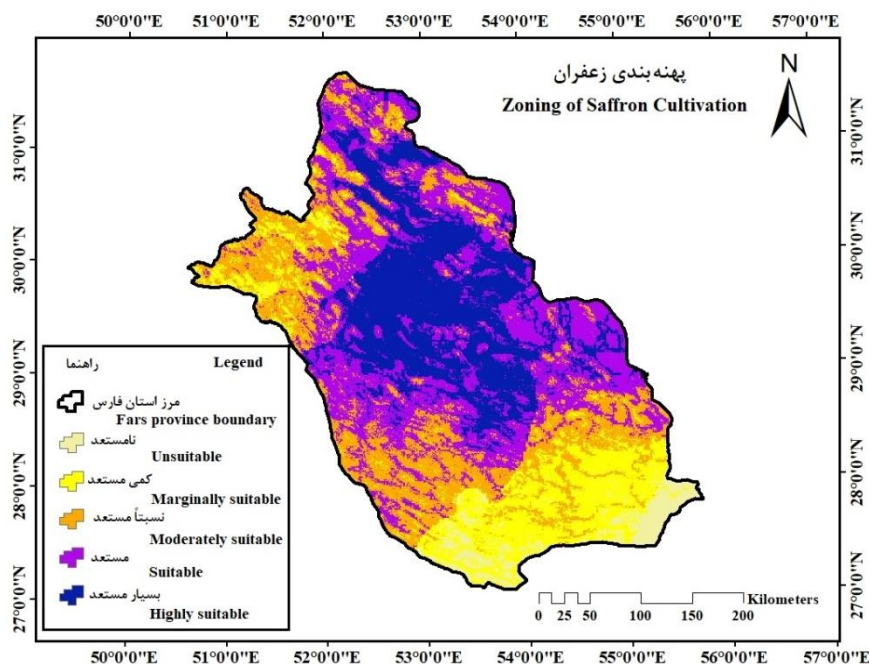
محدود به شبکه‌های ارتباطی و خدماتی است. مناطق با وجود شرایط فیزیکی یا اقلیمی مناسب، به دلیل فاصله زیاد از جاده‌ها یا مراکز جمعیتی، با چالش‌هایی در حمل و نقل محصول، تأمین نهاده‌ها و دسترسی به خدمات کشاورزی مواجه هستند. شکل توزیع مکانی اراضی مستعد کشت زعفران در استان فارس بر اساس معیار دسترسی - زیرساختی در شکل ۶ قابل مشاهده است.

تلفیق این معیارها با استفاده از روش AHP - فازی (شکل ۶ و جدول ۹) نشان می‌دهد که ۴۷/۹۲ درصد از استان در طبقات بسیار مستعد و مستعد از دیدگاه کلی دسترسی و زیرساخت قرار دارد. این مناطق عمدتاً در حومه شهرهای بزرگ و در مسیرهای ارتباطی اصلی متمرکز شده‌اند. با این حال، طبقه کمی مستعد با سهم ۲۷/۹۵ درصدی، گسترده‌ترین طبقه بعدی است که عمدتاً شامل مناطق کوهستانی و دورافتاده با دسترسی

جدول ۱۰. توزیع مساحتی طبقات نهایی تناسب اراضی کشت زعفران در استان فارس

Table 10. Areal distribution of final land suitability classes for saffron cultivation in Fars Province

رتبه Rank	وضعیت تناسب اراضی Land Suitability Class	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km ²)	درصد از کل استان Percentage of Total Province
1	بسیار مستعد Highly suitable	30,538.71	24.98%
2	مستعد Suitable	37,877.80	30.98%
3	نسبتاً مستعد Moderately suitable	29,265.94	23.93%
4	کمی مستعد Marginally suitable	19,343.53	15.82%
5	نامستعد Unsuitable	5,246.02	4.29%



شکل ۷. شکل نهایی پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت زعفران در استان فارس (منبع: یافته‌های تحقیق)

Fig 7. Final map of saffron cultivation suitability zoning in Fars Province (Source: Research findings).

یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که بارش سالانه با وزن ۰/۴۵، مهم‌ترین زیرمعیار مؤثر بر تناسب اراضی کشت زعفران در استان فارس است. این نتیجه با یافته‌های جواهری، نجفی‌نژاد و نادری (۱۴۰۱)، در استان کرمان و حلبیان، ترکاشوند و صالحی (۱۴۰۰) در همدان هم‌راستاست و بیانگر اهمیت رطوبت خاک در فصل‌های حساس جوانه‌زنی و گلدهی زعفران در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک ایران است. همچنین، ارتفاع از سطح دریا با وزن ۰/۴۱ در گروه عوامل فیزیکی، بیشترین تأثیر را داشته که هم‌خوانی قابل توجهی با نتایج وحدانی و اسدیان (۱۴۰۰) و شهیدی، خاشعی سیوکی و عربی (۱۳۹۷) دارد. این هم‌راستایی نشان می‌دهد که دامنه‌های میان‌کوهی با ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۲۲۰۰ متر، شرایط اقلیمی بهینه‌ای (از جمله دمای معتدل و رطوبت نسبی مناسب) برای زعفران فراهم می‌کنند.

با این حال، وزن بالای دسترسی به جاده‌ها (۰/۵۴) در گروه معیارهای زیرساختی، بارزتر از گزارش سایر پژوهش‌های داخلی، برجسته می‌شود. این امر احتمالاً ناشی از گستردگی جغرافیایی استان فارس و فاصله زیاد بین مناطق روستایی و مراکز بازار و مصرف است؛ در

در (شکل ۷) شکل نهایی که نشانگر پهنه‌های مختلف برای کشت زعفران در استان فارس است، در پنج طبقه بسیار مستعد، مستعد، نسبتاً مستعد، کمی مستعد و نامستعد بدست آمده است.

به‌منظور افزایش قابلیت اطمینان نقشه پهنه‌بندی تناسب اراضی، نتایج حاصل با داده‌های واقعی کشت و تولید زعفران در سال ۱۴۰۳ (اداره کل جهاد کشاورزی استان فارس) تطبیق داده شد. با استفاده از ابزار Zonal Statistics as Table در محیط ArcGIS، طبقه غالب تناسب اراضی در هر شهرستان تعیین و فرض گردید که کل سطح کشت آن شهرستان در همین طبقه قرار دارد. یافته‌ها نشان داد که ۹۶/۷۰ درصد از کل سطح کشت (۹۴۴/۷۰ هکتار از ۹۷۶/۸۹ هکتار) و ۹۶/۷۴ درصد از کل تولید زعفران استان (۳/۸ تُن از ۳/۹۳ تُن) در شهرستان‌هایی رخ داده است که در طبقات بسیار مستعد و مستعد قرار دارند. این هم‌خوانی بالا نه تنها توزیع فضایی کشت، بلکه کارایی زیست‌محیطی مناطق مستعد را نیز تأیید می‌کند و گواهی بر این است که مدل پیشنهادی از اعتبار علمی و کاربردی بالایی در پیش‌بینی مناطق مناسب برای توسعه زعفران برخوردار است.

دمای معتدل، خاک لومی، ارتفاع بهینه و دسترسی نسبتاً مناسب به شبکه جاده‌ای دارند.

مناطق نسبتاً مستعد و کمی مستعد (که در مجموع بیش از ۳۹ درصد از سطح استان فارس را پوشش می‌دهند)، با اجرای اقدامات مدیریتی هدفمند، قابلیت تبدیل به اراضی تولیدی را دارند. به عنوان مثال، در مناطقی با بافت شنی یا کمبود رطوبت زمستانه، اجرای سیستم‌های آبیاری تکمیلی قطره‌ای هوشمند می‌تواند کمبود بارش مؤثر را جبران کند. در مناطق با شیب متوسط (۳۰-۱۰ درجه)، ایجاد خشک‌سنگر یا نوارهای مالچ زیستی از فرسایش خاک جلوگیری می‌کند. همچنین، در مناطق دورافتاده (مانند برخی روستاهای دالکی و خفر)، احداث جاده‌های ثانویه و واحدهای تجمع محلی، ریسک حمل‌ونقل را کاهش می‌دهد. مقابل، تنها ۴/۲۹ درصد از مساحت استان (معادل ۵،۲۴۶ کیلومتر مربع) در طبقه نامستعد قرار گرفت. تحلیل لایه‌ها نشان می‌دهد این مناطق عمدتاً تحت تأثیر دو عامل محدودکننده اصلی هستند: (۱) محدودیت‌های شدید اقلیمی در جنوب و جنوب شرق استان (شهرستان‌های لار، لامرد و خنج) با بارش کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر و دمای میانگین بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد و (۲) محدودیت‌های فیزیوگرافی در مناطق کوهستانی شمال شرقی (مانند اطراف ایزدخواست و بوانات) با شیب‌های تند (بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و اراضی صخره‌ای.

این پژوهش می‌تواند به عنوان یک ابزار علمی و فضایی قدرتمند، چارچوبی مؤثر برای توسعه پایدار کشت زعفران در استان فارس فراهم کند. بر این اساس، پیشنهادات کلیدی زیر جهت بهره‌برداری بهینه از پتانسیل استان ارائه می‌شود:

اولویت‌دهی به حمایت‌های دولتی (مانند تسهیلات بانکی، یارانه‌ها و برنامه‌های فنی-مالی) باید مبتنی بر شکل تناسب اراضی باشد، به گونه‌ای که مناطق بسیار مستعد و مستعد به عنوان قطب‌های اصلی تولید زعفران شناسایی و از حداکثر حمایت‌ها بهره‌مند شوند.

برنامه‌ریزی تحول ساختاری در مناطق نسبتاً مستعد و کمی مستعد ضروری است؛ که شامل اجرای طرح‌های آبیاری تکمیلی مبتنی بر فناوری‌های کم‌مصرف آب، توسعه شبکه‌های راه‌های روستایی و ایجاد واحدهای توزیع نهاده‌های کشاورزی در مناطق دورافتاده است.

حالی که در استان‌های کوچک‌تر یا پرجمعیت‌تر مانند همدان یا اصفهان، این عامل کمتر مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این، محدودیت دسترسی به منابع آب سطحی نیز در فارس برجسته‌تر از سایر مناطق است؛ به طوری که ۸۹ درصد از مساحت استان در فاصله‌ای بیش از ۵ کیلومتر از رودخانه‌ها قرار داشت. این یافته، تفاوت زمینه‌های آبی استان فارس را با استان‌هایی مانند آذربایجان شرقی نشان می‌دهد، که در آن‌ها فرج‌نیا و مروج (۱۳۹۸) دسترسی به آب را چالش اصلی ندانسته‌اند.

در سطح جهانی نیز، مطالعاتی مانند والی و همکاران (۲۰۱۶) در افغانستان و یلدریم و همکاران (۲۰۲۳) در ترکیه، از تلفیق GIS و AHP برای پهنه‌بندی زعفران استفاده کرده‌اند. با این وجود، پژوهش حاضر با در نظر گرفتن ۱۲ معیار در سه گروه اقلیمی، فیزیکی و زیرساختی و استفاده از نظرات ۲۶ کارشناس متخصص، جامعیت بیشتری نسبت به اغلب مطالعات قبلی داشته است. این مقایسه نشان می‌دهد که هرچند الگوی کلی تناسب برای کشت زعفران در ایران مشترک است (دامنه‌های میان‌کوهی با بارش مناسب و دمای معتدل)، اما ویژگی‌های منحصربه‌فرد هر منطقه (از جمله گستردگی سرزمین، ساختار زیرساخت‌ها و شرایط آبی) در شکل‌گیری الگوی محلی پهنه‌بندی نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کنند. بنابراین، سیاست‌گذاری ملی برای توسعه زعفران باید با انعطاف‌پذیری کافی طراحی شود تا بتواند به خوبی با این تفاوت‌های منطقه‌ای سازگار گردد.

نتیجه‌گیری

در شرایط تشدید بحران آب و لزوم انتقال به کشاورزی پایدار، شناسایی پهنه‌های مستعد برای کشت محصولات کم‌آب و باارزشی مانند زعفران، از اهمیت استراتژیکی برخوردار است. این پژوهش با تلفیق روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نشان داد که بیش از ۵۵ درصد از مساحت استان فارس (شامل طبقات بسیار مستعد و مستعد) دارای پتانسیل بالایی برای توسعه کشت زعفران است. این مناطق عمدتاً در دامنه‌های میان‌کوهی زاگرس (شهرستان‌های زرین‌دشت، استهبان، فسا، اقلید و جهرم) واقع شده‌اند و ترکیب مناسبی از بارش کافی،

با تنوع توپوگرافی بالا (مانند دامنه‌های زاگرس)، این رویکرد ممکن است با عدم قطعیت همراه باشد و دقت طبقه‌بندی خاک را کاهش دهد. این محدودیت در فرآیند وزن‌دهی AHP نیز لحاظ گردید؛ به‌طوری‌که کارشناسان، به‌دلیل نگرانی از دقت محدود این داده‌ها در سطح محلی، وزن معیار بافت خاک را نسبت به سایر معیارهای فیزیکی پایین‌تر در نظر گرفتند (۰/۰۶ در گروه معیارهای فیزیکی).

سوم، این مطالعه عوامل اقتصادی-اجتماعی مؤثر بر کشت زعفران (از جمله هزینه نهاده‌ها، دسترسی به بازار، مالکیت اراضی، سرمایه اولیه و تمایل کشاورزان) را در نظر نگرفته است؛ در حالی‌که این عوامل اغلب پیش‌شرط اجرایی موفقیت‌آمیز هر طرح کشت جایگزین محسوب می‌شوند.

چهارم، پویایی تغییرات اقلیمی (به‌ویژه روند کاهش بارش و افزایش دما) ممکن است در آینده، تناسب بخشی از مناطق کنونی را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، توصیه می‌شود، نقشه‌های تناسب حداقل هر ده سال یک‌بار به‌روزرسانی شوند.

با این وجود، یافته‌های این پژوهش می‌توانند به‌عنوان مبنا و نقطه شروعی علمی-عملیاتی (نه راهکاری قطعی) برای تدوین سیاست‌های هوشمند در جهت توسعه پایدار زعفران در استان فارس مورد استفاده قرار گیرند، مشروط بر اینکه همراه با اعتبارسنجی میدانی، بازنگری دوره‌ای و هماهنگی با برنامه‌های توسعه منطقه‌ای باشد.

ممنوعیت کشت زعفران در مناطق نامستعد (به‌ویژه در مناطق جنوبی گرم و خشک، مناطق کوهستانی با شیب تند و مناطق صخره‌ای) ضروری است تا از اتلاف منابع مالی، تخریب محیط زیست و ورود کشاورزان به چرخه بدهی جلوگیری شود.

تبدیل انتخابی اراضی بایر و مرتع‌های ضعیف به باغات زعفران در مناطق مستعد، در چارچوب طرح‌های تشویقی مالی و با رعایت اصول حفاظت از تنوع زیستی، می‌تواند به افزایش سطح تولید و اشتغال‌زایی پایدار در مناطق روستایی منجر شود.

تقویت زنجیره ارزش زعفران از طریق ایجاد واحدهای فرآوری و بسته‌بندی منطقه‌ای، توسعه برند با استانداردهای بین‌المللی و ایجاد بازارهای عرضه مستقیم تولیدکننده به مصرف‌کننده، سودآوری کشاورزان را به‌طور چشمگیری افزایش خواهد داد.

با وجود یافته‌های امیدبخش این پژوهش، لازم است به محدودیت‌های روش‌شناختی و ملاحظات اجرایی آن توجه شود. نخست، نقشه‌های تولیدشده تنها چارچوب اولیه‌ای برای برنامه‌ریزی استانی فراهم می‌کنند؛ بنابراین، تصمیم‌گیری در سطح مزرعه یا روستا مستلزم مطالعات مکانی دقیق‌تر (با تفکیک‌پذیری بالاتر) و نمونه‌برداری میدانی از خاک است.

دوم، داده‌های بافت خاک از پایگاه جهانی خاک (SoilGrids) با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استخراج شده‌اند که بر پایه مدل‌های آماری و شبیه‌سازی (بدون نمونه‌برداری میدانی مستقیم) تولید شده‌اند. در مناطق

منابع

- Abbaszadeh, M., Salari, A., & Rohani, H. (2019). Quantitative, qualitative and economic assessment of agricultural land suitability of Rokh Plains Torbat Heydaryeh for saffron and wheat cultivation. *Saffron Agronomy and Technology*, 7(1), 93-109. <https://doi.org/10.22048/jsat.2017.87421.1233> [in Persian]
- AbdelRahman, M. A., Yossif, T. M., & Metwaly, M. M. (2025). Enhancing land suitability assessment through integration of AHP and GIS-based for efficient agricultural planning in arid regions. *SCIENTIFIC REPORTS*, 15(1), 31370. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-14051-7>
- 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, 100230. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2023.100230>
- Alavi Zadeh, S. A. M., Monazzam Esmaeel Pour, A., & Hossein Zadeh Kermani, M. (2013). Possibility study of areas with potential cultivation of saffron in Kashmar plain using GIS. *Saffron Agronomy and Technology*, 1(1), 71-95. <https://doi.org/10.22048/jsat.2013.4812> [in Persian]
- Alinaghizade, M. (2019). Study of topography role on saffron cultivation in Khuzestan

- Province. *Geography (Regional Planning)*, 9(34), 211-222. [in Persian]
- Alinaghizadeh, M. (2021). Zoning of saffron cultivation in Khuzestan Province by using GIS. *Geography (Regional Planning)*, 10(41), 701-714. [in Persian]
- Acharya, B. S., Ghalehgalabbahani, A., Hamido, S., Zinati, G., Bozzolo, A., Archer, L., ... & Panday, D. (2025). Saffron (*Crocus sativus* L.): The golden spice- management, challenges, and opportunities for sustainable production in the United States. *Journal of Agriculture and Food Research*, 21, 101970. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101970>
- Ashrafi, V., Mirshekari, B., Dashti, S., Khalilvand, E., & Farzaneh, S. (2018). Locating ornamental and medicinal saffron cultivation based on AHP analysis in GIS environment in Ardabil Province. *The Journal of Ornamental Plants*, 8(3), 155-169.
- Castro, H. U. (2022). Regional science, location and economic theory: thoughts and discussions about development. *European Journal of Development Studies*, 2(4), 62-67.
- Dastres, E., Sonboli, A., Esmaeili, H., Mirjalili, M. H., & Edalat, M. (2025). Predicting nepetalactone accumulation in *Nepeta persica* using machine learning algorithms and geospatial analysis. *Scientific reports*, 15(1), 31535. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17039-5>
- Farajnia, a., & Moravej, k. (2020). Agro-climatic zoning of saffron culture in East Azarbayjan Province. *Journal of Saffron Research*, 7(2), 251-267. <https://doi.org/10.22077/jsr.2018.1445.1057> [in Persian]
- Gheysouri, M., Saberi, A., & kavian, A. (2019). Evaluating the ecological potential of the strategic sub-basin scale for territory (Case study: Chavar city, Ilam province). *Extension and Development of Watershed Management*, 6(23), 58-66. [in Persian]
- Halabian, A., Torkashvand, G., & Salehi, Z. (2021). Revelation of climatically capable areas for saffron cultivation in Hamedan Province. *Journal of Saffron Research*, 9(1), 79-94. <https://doi.org/10.22077/jsr.2021.3487.1134> [in Persian]
- Herman, E. (2024). Sustainable agriculture and its impact on the rural development in EU countries: A multivariate analysis. *Land*, 13(7), 947.
- Heydari, m., Yousefi, A., Rostami, f., & Hosseini sedigh, s. m. (2020). Agro-climate zoning of saffron cultivation in Hamedan Province: An approach to change the pattern of cultivation. *Geography and Environmental Planning*, 30(4), 99-114. <https://doi.org/10.22108/gep.2020.120482.1239> [in Persian]
- Javaheri, M. A., Najafinezhad, H., & Nadi, M. (2022). AHP-based climatic zoning for saffron cultivation in the water-deficient Kerman Province. *Land Management Journal*, 10(2), 259-275. <https://doi.org/10.22092/lmj.2022.127414> [in Persian]
- Jenks, G. F., & Caspall, F. C. (1971). Error on choroplethic maps: definition, measurement, reduction. *Annals of the Association of American Geographers*, 61(2), 217-244. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1971.tb00779.x>
- 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. <https://doi.org/10.22067/agry.2024.87067.1193> [in Persian]
- Majid, M., Khan, J. N., Bano, H., Mughal, A. H., Khan, F. U., Kumar, R., ... & Ahmad, L. (2023). Study of the phenology of saffron (*Crocus sativus* L.) grown in soilless media under protected environment. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(9), 819-830. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2023/v13i92303>
- Mehmeti, A., Candido, V., Canaj, K., Castronuovo, D., Perniola, M., D'Antonio, P., & Cardone, L. (2024). Energy, environmental, and economic sustainability of saffron cultivation: insights from the first European (Italian) case study. *SUSTAINABILITY*, 16(3), 1179.
- Ministry of Jihad-e Agriculture. (2024). *Horticultural production statistics, crop year 2024: Saffron. Planning and Economic Affairs Office, Deputy of Horticulture Affairs*. Retrieved from <https://dpe.maj.ir>. [in Persian]
- 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>
- Nazari Viand, F., Koohestani, H., Zarifian, S., & Kazemieh, F. (2020). Land suitability assessment for agriculture using analytical hierarchy process in northern parts of Khalkhal County (Case study: Mikaeel Abad catchment). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(1), 225-239. [in Persian]

- Petrova, M., Nikolova, M., & Pavlov, P. (2023). *An Innovative Organic Agriculture Model for Sustainable Development of Rural Areas in Bulgaria*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Rajabi, z., Ghayoor, h., Behyar, m., Gandomkar, a., & Ezzatian, v. (2016). Feasibility study of areas susceptible to saffron cultivation in the province of Esfahan depending on the rating model. *Geography and Environmental Planning*, 27(1), 13-28. <https://doi.org/10.22108/gep.2016.20790> [in Persian]
- Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A., & Pirseyyedi, M. (2013). The effects of different levels of applied Wheat straw in different dates on Saffron (*Crocus Sativus* L.) Daughter corms and flower initiation criteria the second year. *Saffron Agronomy and Technology*, 1(1), 53-67. [in Persian]
- Rusdiyana, E., Sutrisno, E., & Harsono, I. (2024). A bibliometric review of sustainable agriculture in rural development. *West Science Interdisciplinary Studies*, 2(03), 630-637.
- Shahdost, Z., & Ahmadvand, M. (2021). Feasibility study of saffron cultivation from farmers' viewpoint in villages of Arsanjan County. *Journal of Saffron Research*, 9(1), 61-78. <https://doi.org/10.22077/jsr.2020.3270.1128> [in Persian]
- Shahidi, A., & Khashei Siuki, A. (2019). Climatic zoning saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation using Analytical Hierarchy Process and Analytic Network Process (A case study: Semnan City). *Journal of Saffron Research*, 6(2), 283-298. <https://doi.org/10.22077/jsr.2017.626.1024> [in Persian]
- Shahvali, M., Fatemi, M., & Molkian, A. (2013). Designing a communication and information model for optimizing marketing among saffron farmers in Estahban County, Fars Province. *Spatial Planning and Geomatics*, 17(1), 87-104. [in Persian]
- Shokati, B., Feizizadeh, B. (2018): Sensitivity and uncertainty analysis of agro-ecological modeling for saffron plant cultivation using GIS spatial decision-making methods, *Journal of Environmental Planning and Management*, <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1427561>
- Statistical Center of Iran (2023). Statistical yearbooks <https://amar.org.ir/salnameh-amar> [in Persian]
- Tak, G., Lee, C., Jeong, S., Lee, S., Ko, B., & Kim, H. (2025). Analysis of suitable cultivation sites for gastrodia elata using GIS: A comparison of various classification methods. *Applied Sciences*, 15(3), 1511. <https://doi.org/10.3390/app15031511>
- Tuğaç, M. G., Tercan, A., Torunlar, H., Karakurt, E., & Usul, M. (2023). Agricultural land suitability assessment with GIS-based multi-criteria decision analysis and geostatistical approach in semi-arid regions. *Soil Studies*, 12(1), 15-29. <https://doi.org/10.21657/soilst.1328637>
- Vahdani, E., & Asadian, F. (2021). Feasibility study of saffron cultivation in rural areas of Kurdistan province. *Space Economy & Rural Development*, 10(36), 163-182. [in Persian]
- Wali, E., Datta, A., Shrestha, R. P., & Shrestha, S. (2016). Development of a land suitability model for saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation in Khost Province of Afghanistan using GIS and AHP techniques. *Archives of Agronomy and Soil science*, 62(7), 921-934.
- Yıldırım, M. U., Kazemi, H., Sarıhan, E. O., & Arjumend, T. (2023). *Feasibility of Saffron (Crocus sativus L.) Cultivation in Aegean Region, Türkiye*. Paper presented at the Proceedings of V. International Agricultural, Biological, Life Science Conference AgBioL 2023.
- Zhu, Y., Sun, L., Luo, Q., Chen, H., & Yang, Y. (2023). Spatial optimization of cotton cultivation in Xinjiang: A climate change perspective. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 124, 103523. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103523>