شناسایی و پهنه‌بندی اراضی مستعد توسعه تاکستان‌ها در استان قزوین بر اساس ارزیابی تناسب اراضی

اعظم خسروی‌نژاد[۱*]، میرناصر نویدی[۲]، مهرزاد محصص مستشاری[۱]

۱.مؤسسه تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش کشاورزی و ترویج کشاورزی. قزوین، ایران

۲.مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، کرج، ایران

*مسئول مکاتبه، رایانامه: azam_khosravinejad@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۱

DOI: 10.30470/jsp.2026.2094074.1036

چکیده

ارزیابی تناسب اراضی یکی از ابزارهای اساسی برای برنامه‌ریزی توسعه پایدار باغداری و مدیریت بهینه منابع خاک و آب است که موفقیت آن به شناسایی دقیق عوامل محدودکننده و تحلیل الگوی پراکنش مکانی آن‌ها وابسته است. این پژوهش با هدف ارزیابی و پهنه‌بندی تناسب اراضی برای توسعه تاکستان‌های آبی استان قزوین بر اساس چارچوب ارزیابی اراضی فائو و روش پارامتریک ریشه دوم انجام شد. بدین منظور، داده‌های اقلیمی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، شرایط توپوگرافی و وضعیت زهکشی واحدهای اراضی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تلفیق و شاخص تناسب اراضی برای کشت انگور محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص اقلیمی منطقه برابر ٦٥ بوده و در طبقه تناسب متوسط (S2) قرار گرفت که بیانگر وجود محدودیت‌های حرارتی، به‌ویژه در مراحل اولیه رشد تاک، است. از مجموع ۲۵۴۸۳٦ هکتار اراضی ارزیابی‌شده، ۷۰/۷۵ درصد در طبقات مناسب (S2, S1) ۲۹/۲۵ درصد در طبقات نامناسب (N) قرار داشتند. درحالی‌که تنها ۰/۰۳ درصد از اراضی دارای تناسب بسیار بالا (S1) بودند. بررسی زیرکلاس‌های تناسب نشان داد که محدودیت‌های اقلیمی، شوری و قلیائیات خاک، ویژگی‌های فیزیکی خاک و شرایط زهکشی، به ترتیب مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید انگور در منطقه هستند. در میان این عوامل، محدودیت اقلیمی بیشترین نقش را در کاهش شاخص تناسب اراضی داشت. بر اساس نتایج، توسعه پایدار تاکستان‌های استان قزوین نیازمند تمرکز بر مدیریت ویژگی‌های محدودکننده خاک، بهبود شرایط زهکشی، کنترل شوری و انتخاب ارقام سازگار با شرایط اقلیمی منطقه است. این یافته‌ها می‌تواند به‌عنوان مبنای علمی برای برنامه‌ریزی فضایی توسعه باغ‌های انگور در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: استان قزوین، ارزیابی اراضی، انگور، سامانه اطلاعات جغرافیای، شوری خاک

Identification and spatial zoning of suitable areas for vineyard development in Qazvin Province based on land suitability evaluation

A. Khosravinejad[1]*, M. N. Navidi[2], M. M. Mostashari [1]

1.Soil and Water Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Qazvin
2.Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
*Corresponding Author, Email: azam_khosravinejad@yahoo.com
Received: July 2026 Accepted: Sepetember 2026
DOI: 10.30470/jsp.2026.2094074.1036

Extended Abstract

Aim
The viticultural sector is one of the most important components of Iranian agriculture, with Qazvin Province recognized as a major center for the production of high-quality table grapes and raisins. However, increasing water scarcity, climate change, and soil degradation have intensified the need for sustainable land-use planning and precise identification of areas suitable for vineyard expansion. In recent decades, vineyard development has frequently occurred without comprehensive scientific land evaluation, resulting in cultivation on marginal lands where salinity, sodicity, poor drainage, and unfavorable soil characteristics have reduced productivity and accelerated environmental degradation. Consequently, accurate assessment of land suitability has become essential for improving production efficiency while protecting natural resources. The objectives of this study were to evaluate the suitability of irrigated lands in Qazvin Province for grape cultivation, identify the principal environmental constraints limiting vineyard productivity, and determine priority areas for sustainable viticultural development. The results provide a scientific basis for optimizing land allocation, improving resource management, and supporting evidence-based agricultural planning.

Materials and methods
The study was conducted throughout Qazvin Province, covering approximately 15,623 km². Elevation ranges from nearly 1,100 m in the central plain to more than 4,100 m in the northern Alborz Mountains, creating considerable climatic and topographic variability. The climate is predominantly arid to semi-arid, with annual precipitation varying from approximately 210 mm in the southern lowlands to more than 550 mm in mountainous regions. A comprehensive geospatial database was developed using ArcGIS 10.8 by integrating climatic, topographic, and soil information. Land suitability was evaluated according to the FAO framework for land evaluation combined with the parametric square-root method of Sys et al. (1993). This approach was selected because it effectively integrates multiple soil and climatic variables while ensuring that the most limiting factor exerts the greatest influence on the final suitability index. Unlike additive methods, the square-root model minimizes the compensation effect, thereby providing a more realistic representation of land capability under field conditions. Meteorological records covering a 30-year period, including temperature, rainfall, and climatic indices, were integrated with detailed soil survey data. Soil profiles were evaluated for effective rooting depth, texture, gravel content, drainage, electrical conductivity of the saturation extract (ECe), sodium adsorption ratio (SAR), soil reaction (pH), calcium carbonate equivalent, gypsum content, organic carbon, and cation exchange capacity (CEC). Each characteristic was rated according to grape ecological requirements using a standardized scale ranging from 0 to 100. Individual ratings were combined through the parametric square-root equation to calculate the Land Suitability Index (LSI), and land units were subsequently classified into Highly Suitable (S1), Moderately Suitable (S2), Marginally Suitable (S3), and Not Suitable (N) categories. Suitability maps were generated to illustrate the spatial distribution of productive potential and major environmental constraints across the province.

Results
The overall climatic suitability index of the province was 65, corresponding to the S2 class, indicating that climate is generally favorable but not optimal for grape production. A total of 254,836 ha of irrigated agricultural land were evaluated. Approximately 70.75% of the assessed area belonged to suitable classes, whereas 29.25% was classified as unsuitable. Highly suitable land (S1) occupied only 72.75 ha, representing merely 0.03% of the total evaluated area, demonstrating that naturally ideal conditions for vineyard establishment are extremely limited. Moderately suitable land (S2) covered about 140,400 ha (55.66%), while marginally suitable land (S3) occupied approximately 38,005 ha

(15.07%). Unsuitable lands were divided into N1 (32,472 ha; 12.87%) and N2 (41,307 ha; 16.37%). The predominance of S2 land indicates that future vineyard development will depend primarily on effective soil and water management rather than expansion into naturally optimal environments. Concentrations of unsuitable land were identified in Buin Zahra and Abyek counties, where high soil salinity, sodicity, shallow soil depth, coarse texture, and inadequate drainage collectively restricted grapevine establishment and productivity. Climatic limitations, particularly temperature regime and growing-season length, represented the most influential constraints affecting the overall suitability index, followed by soil salinity and sodicity, physical soil properties, and drainage conditions. The dominant climatic subclass was S2c, covering nearly 98,000 ha, indicating that moderate thermal limitations affect extensive parts of the province. These findings emphasize that favorable soil properties alone cannot guarantee high productivity when climatic conditions or other limiting factors remain suboptimal. Likewise, soils with acceptable climatic conditions may still exhibit reduced suitability because of excessive salinity, poor drainage, or shallow effective rooting depth. The spatial variability observed across the province highlights the necessity of site-specific management rather than uniform agricultural practices. The predominance of moderately suitable land demonstrates that considerable opportunities exist for improving vineyard productivity through appropriate soil and water management interventions. Areas classified as S2 possess sufficient production potential provided that their principal limitations are adequately addressed. Recommended management practices include installation of subsurface drainage systems in poorly drained areas, application of gypsum and organic amendments to reclaim sodic soils, implementation of efficient irrigation scheduling, improvement of irrigation water quality, and periodic leaching to reduce salt accumulation within the root zone. Furthermore, selection of grape cultivars and rootstocks with enhanced tolerance to salinity, drought, and thermal stress would substantially improve long-term productivity and resilience. Precision agriculture technologies, including GIS-based monitoring, variable-rate management, and periodic reassessment of soil conditions, may further increase resource-use efficiency while minimizing environmental impacts. These integrated management strategies can enhance the productive capacity of moderately suitable lands while preventing their gradual degradation into marginal or unsuitable categories. The generated suitability maps provide valuable decision-support tools for policymakers, agricultural planners, and extension services by identifying priority areas for vineyard expansion, rehabilitation, and conservation. Rather than encouraging cultivation in environmentally fragile locations, the results indicate that sustainable development should focus on improving the productivity of existing agricultural lands through evidence-based management. This strategy not only increases agricultural efficiency but also reduces pressure on vulnerable ecosystems and conserves soil and water resources. Because climate change is expected to modify temperature patterns, evapotranspiration rates, and water availability during coming decades, periodic updating of land suitability assessments will be essential to maintain sustainable vineyard production. Integration of future climate scenarios with soil information will improve long-term planning and enable proactive adaptation strategies.

Conclusion

Overall, this study demonstrates that although Qazvin Province possesses substantial potential for grape production, this potential is largely conditional upon effective management of climatic and edaphic constraints. The combination of FAO land evaluation principles, the parametric square-root method, and GIS spatial analysis provided a robust framework for quantifying land suitability and identifying the principal factors limiting vineyard development. The resulting suitability maps establish a reliable scientific basis for sustainable land-use planning and investment prioritization. Adoption of the proposed management recommendations can substantially improve vineyard productivity, enhance resource-use efficiency, mitigate soil degradation, and strengthen the resilience of viticulture under changing environmental conditions. The methodological framework developed in this study is readily applicable to other arid and semi-arid regions facing similar soil and climate constraints and therefore represents a valuable tool for sustainable agricultural planning beyond Qazvin Province. By integrating spatial analysis with quantitative land evaluation, this research contributes to evidence-based decision making and supports long-term environmental sustainability while maintaining the economic viability and international competitiveness of Iranian viticulture.

Keywords: Geographic Information System (GIS), Grape, Land evaluation, Qazvin Province, Soil salinity

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع پایه تولیدات کشاورزی، نقش اساسی در تأمین امنیت غذایی و پایداری اکوسیستم‌های طبیعی دارد. بااین‌حال، افزایش فشار بر منابع خاک و آب، رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی و توسعه نامتوازن فعالیت‌های کشاورزی موجب شده است که ضرورت برنامه‌ریزی علمی برای بهره‌برداری پایدار از منابع سرزمین بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد. در این میان، انتخاب نوع کاربری مناسب برای اراضی کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا بهره‌برداری نامناسب از اراضی می‌تواند منجر به کاهش حاصلخیزی خاک، تخریب منابع طبیعی و کاهش بهره‌وری تولید شود. در چنین شرایطی، ارزیابی تناسب اراضی نه‌تنها ابزاری برای تعیین قابلیت تولید، بلکه رویکردی برای کاهش ریسک سرمایه‌گذاری، بهینه‌سازی مصرف منابع خاک و آب و ارتقای پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی محسوب می‌شود.

ارزیابی تناسب اراضی فرایندی است که در آن ویژگی‌های محیطی از جمله خصوصیات خاک، شرایط اقلیمی، توپوگرافی و منابع آب با نیازهای اکولوژیک گیاهان مقایسه می‌شود تا مناسب‌ترین نوع استفاده از اراضی تعیین گردد. چارچوب ارائه‌شده توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) در سال ۱۹۷۶ یکی از پرکاربردترین رویکردها در مطالعات ارزیابی اراضی محسوب می‌شود و همچنان به‌عنوان مبنای بسیاری از پژوهش‌ها در سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (FAO, 1976). در این چارچوب، اراضی بر اساس میزان تناسب برای یک محصول خاص در کلاس‌های مختلف تناسب طبقه‌بندی می‌شوند. این رویکرد طی دهه‌های اخیر با توسعه دانش خاک‌شناسی، فناوری‌های سنجش‌ازدور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی تکامل‌یافته و کاربرد آن در برنامه‌ریزی کشاورزی گسترش‌یافته است (Sys et al. 1993; Rossiter, 1996). باوجود توسعه روش‌های نوین ارزیابی تناسب اراضی، چارچوب FAO همچنان به‌دلیل استاندارد بودن، قابلیت تفسیر نتایج و امکان مقایسه مطالعات در مناطق مختلف، یکی از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی اراضی در جهان محسوب می‌شود.

در سال‌های اخیر، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) تحول قابل‌توجهی در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی ایجاد کرده است. GIS امکان جمع‌آوری، مدیریت و تحلیل هم‌زمان داده‌های مکانی و توصیفی مربوط به خاک، اقلیم، توپوگرافی، منابع آب و کاربری اراضی را فراهم می‌کند و از این طریق دقت تحلیل‌های فضایی را افزایش می‌دهد. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که تلفیق GIS با روش‌های پارامتریک، مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش‌های فازی می‌تواند ابزار مؤثری برای شناسایی مناطق مستعد توسعه کشاورزی و باغداری باشد (Malczewski, 2004; Akinci et al., 2013; Rabia and Terribile, 2013). همچنین مطالعات جدیدتر نشان می‌دهد که ترکیب داده‌های محیطی با مدل‌های تصمیم‌گیری مکانی و تحلیل‌های پیشرفته می‌تواند دقت پیش‌بینی تناسب اراضی را افزایش دهد و نقش مهمی در برنامه‌ریزی کشاورزی پایدار ایفا کند (Baja et al. 2021; Zolekar and Bhagat, 2015; Nguyen et al., 2023).

در میان محصولات باغی، انگور (*Vitis vinifera* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی مناطق نیمه‌خشک جهان به‌شمار می‌رود که علاوه بر اهمیت اقتصادی، نقش مهمی در توسعه صنایع غذایی و ایجاد اشتغال در مناطق روستایی دارد. عملکرد و کیفیت انگور به‌شدت تحت تأثیر شرایط محیطی به‌ویژه ویژگی‌های خاک و اقلیم قرار دارد. ازاین‌رو، تعیین تناسب اراضی برای توسعه تاکستان‌ها تنها به افزایش عملکرد محدود نمی‌شود، بلکه نقش مهمی در بهبود کیفیت میوه، افزایش طول عمر اقتصادی تاکستان‌ها و کاهش هزینه‌های مدیریتی نیز دارد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که عواملی مانند عمق مؤثر خاک، بافت خاک، زهکشی مناسب، شیب زمین،

دمای فصل رشد، درجه-روز رشد، میزان بارندگی و دسترسی به منابع آب از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده موفقیت تاکستان‌ها هستند (Jones et al., 2005; Fraga et al., 2016; Poni et al., 2018; van Leeuwen et al., 2018). در سال‌های اخیر، با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش رقابت برای استفاده از منابع آب‌وخاک، استفاده از روش‌های ارزیابی تناسب اراضی برای شناسایی مناطق مناسب توسعه تاکستان‌ها مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. مطالعات جدید نیز نشان می‌دهد که تحلیل‌های مکانی مبتنی بر GIS می‌تواند در شناسایی مناطق مستعد کشت انگور و بهینه‌سازی مدیریت تاکستان‌ها نقش مؤثری ایفا کند (Santos et al., 2022; Karimi et al., 2022; Moriondo et al., 2024; Mohases Mostashari and Khosravinejad, 2025).

در ایران نیز مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات زراعی و باغی انجام‌شده است. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که عواملی مانند شوری و سدیمی بودن خاک، محدودیت‌های حاصلخیزی، عمق مؤثر خاک، مقدار آهک و گچ، شیب زمین و شرایط اقلیمی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در بسیاری از مناطق کشور هستند. به‌عنوان‌مثال، زین‌الدینی و همکاران (Zeinadini et al., 2014) در بررسی تناسب اراضی گندم در استان کرمان گزارش کردند که شوری و قلیائیت خاک، محدودیت‌های حاصلخیزی و شرایط اقلیمی از عوامل اصلی کاهش تناسب اراضی هستند. همچنین سیدمحمدی (Seyedmohammadi et al., 2017) در ارزیابی تناسب اراضی دشت مغان نشان داد که شیب، عمق مؤثر خاک، شوری و سدیمی بودن خاک از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تعیین کلاس‌های تناسب اراضی به‌شمار می‌روند.

در مطالعات مرتبط با محصولات باغی نیز استفاده از سامانه‌های ارزیابی اراضی مورد توجه قرارگرفته است. به‌عنوان نمونه، حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2018) با استفاده از سامانه ارزیابی اراضی ALES و بر اساس دستورالعمل FAO، اولویت کشت برخی درختان میوه از جمله انگور را در منطقه ملکان بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بخش قابل‌توجهی از اراضی منطقه در کلاس‌های تناسب بالا و متوسط (S1 و S2) برای کشت انگور قرار دارند، هرچند برخی محدودیت‌های خاکی و اقلیمی می‌تواند در کاهش تناسب اراضی مؤثر باشد. در مقیاس ملی نیز مسگران و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای درباره ارزیابی تناسب اراضی کشاورزی ایران نشان دادند که محدودیت‌هایی مانند شوری خاک، کمبود منابع آب و شرایط اقلیمی از مهم‌ترین عوامل کاهش تناسب اراضی کشاورزی در کشور هستند. این مطالعات اگرچه کارایی روش‌های مختلف ارزیابی تناسب اراضی را نشان داده‌اند، اما عمدتاً بر تعیین کلاس‌های تناسب متمرکز بوده و تحلیل سهم نسبی عوامل محدودکننده و کاربرد نتایج در برنامه‌ریزی فضایی توسعه باغداری کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

استان قزوین یکی از قطب‌های مهم تولید انگور و کشمش در ایران محسوب می‌شود و نقش قابل‌توجهی در تولید این محصول در کشور دارد. این استان ازنظر شرایط اقلیمی، منابع خاک و ویژگی‌های ژئومورفولوژیک دارای تنوع قابل‌توجهی است، به‌طوری که میزان بارندگی سالانه در مناطق مختلف آن از حدود ۲۱۰ تا بیش از ۵۵۰ میلی‌متر متغیر بوده و شرایط دمایی و منابع آب نیز در بخش‌های مختلف استان تفاوت چشمگیری دارد. چنین تنوعی موجب شده است که قابلیت توسعه تاکستان‌ها در سطح استان یکنواخت نباشد و برخی مناطق از پتانسیل بالاتری برای توسعه باغات انگور برخوردار باشند. مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات زراعی و باغی در ایران به‌طور گسترده انجام‌شده است، اما اغلب این پژوهش‌ها به تعیین کلاس‌های تناسب محدود بوده و تحلیل فضایی عوامل محدودکننده و بهره‌گیری از نتایج برای اولویت‌بندی توسعه باغداری کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این خلأ در استان قزوین، با وجود جایگاه آن

به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق تولید انگور کشور، بیش از سایر مناطق محسوس است و تاکنون ارزیابی جامعی که علاوه بر تعیین کلاس‌های تناسب، الگوی پراکنش محدودیت‌های خاکی و اقلیمی را در مقیاس استانی تحلیل کند، گزارش نشده است. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی تناسب اراضی آبی استان قزوین برای کشت انگور بر پایه چارچوب FAO و روش پارامتریک، شناسایی و تحلیل فضایی مهم‌ترین عوامل محدودکننده توسعه تاکستان‌ها و تعیین پهنه‌های تناسب اراضی انجام شد تا نتایج آن بتواند مبنایی علمی برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی و مدیریت پایدار منابع خاک و آب در استان فراهم کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین با مساحتی حدود ۱۵۶۲۳ کیلومترمربع در شمال غرب ایران و بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵°٤٤′ تا ۵۰°۳۶′ شمالی و طول‌های جغرافیایی ٤٨°٤٤′ تا ۵۰°۵۱′ شرقی واقع شده است. این استان ازنظر شرایط طبیعی دارای تنوع قابل‌توجهی بوده و شامل واحدهای مختلف ژئومورفولوژیک، اقلیمی و خاکی است. ارتفاع اراضی از حدود ۱۱۰۰ متر در دشت قزوین تا بیش از ٤۱۰۰ متر در ارتفاعات شمالی متغیر است. اقلیم منطقه عمدتاً نیمه‌خشک تا خشک بوده و میانگین بارندگی سالانه در بخش‌های مختلف استان بین حدود ۲۱۰ تا بیش از ۵۵۰ میلی‌متر گزارش شده است. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، بخش عمده استان در اقلیم نیمه‌خشک تا خشک قرار دارد و خاک‌های غالب منطقه عمدتاً شامل رده‌های Entisols، Inceptisols و Aridisols در نواحی دشتی و کوه‌پایه‌ای هستند که تنوع قابل‌توجهی ازنظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ایجاد کرده‌اند. اختلاف ارتفاع و شرایط توپوگرافی سبب ایجاد تغییرات مکانی قابل‌توجهی در رژیم حرارتی، طول دوره رشد و شرایط رطوبتی شده است. این تنوع محیطی، قزوین را به یکی از مهم‌ترین مناطق تولید محصولات باغی به‌ویژه انگور تبدیل کرده است. بر اساس مطالعات، قزوین یکی از قطب‌های اصلی تولید انگور و کشمش کشور محسوب می‌شود و بخش قابل‌توجهی از اقتصاد کشاورزی استان بر پایه تولیدات باغی استوار است.

گردآوری داده‌ها و آماده‌سازی پایگاه داده

این پژوهش بر پایه داده‌های حاصل از مطالعات ارزیابی منابع اراضی و مطالعات نیمه‌تفصیلی خاک دشت قزوین انجام گرفت. اطلاعات خاک شامل داده‌های حاصل از مطالعات و توصیفات مورفولوژیکی پروفیل‌های خاک و نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک بود. داده‌های خاک از نقشه‌ها و اطلاعات‌پایه خاک‌شناسی در مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ استخراج و برای واحدهای نقشه مورد استفاده قرار گرفت. برای هر واحد نقشه خاک، ویژگی‌هایی مانند عمق مؤثر خاک، بافت، درصد سنگریزه، زهکشی، هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e)، نسبت جذب سدیم (SAR)، واکنش خاک (pH)، درصد آهک معادل (CCE)، گچ، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) استخراج گردید. هم‌زمان، داده‌های ۳۰ ساله اقلیمی شامل بارندگی، دما و سایر شاخص‌های مورد نیاز از چهار ایستگاه‌های هواشناسی استان در دوره بیست‌ساله جمع‌آوری و پس از کنترل کیفی، وارد پایگاه داده شدند. به‌منظور اطمینان از یکنواختی داده‌ها، کلیه اطلاعات مکانی به سیستم مختصات واحد منتقل‌شده و پس از کنترل خطاهای توپولوژیکی، در قالب یک پایگاه داده مکانی استاندارد سازمان‌دهی شدند. همچنین داده‌های توصیفی با استفاده از شناسه واحدهای نقشه اراضی به داده‌های مکانی متصل شدند. کلیه داده‌های مکانی و توصیفی در محیط نرم‌افزار ArcGIS (نسخه ۱۰/۸) سازمان‌دهی و به‌صورت یک پایگاه داده جغرافیایی (Geodatabase) یکپارچه گردیدند.

روش‌های آزمایشگاهی و تعیین ویژگی‌های خاک

نمونه‌های خاک برداشت‌شده از افق‌های مختلف پروفیل‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک‌شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش

هیدرومتری بایکاس (Bouyoucos, 1962) تعیین گردید. واکنش خاک (pH) و هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) به‌ترتیب با استفاده از pH متر و هدایت سنج الکتریکی در عصاره اشباع اندازه‌گیری شدند (Richards, 1954). غلظت کاتیون‌های محلول شامل سدیم، کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع تعیین و نسبت جذب سدیم (SAR) بر اساس رابطه استاندارد محاسبه گردید. کربن آلی خاک با استفاده از روش والکلی و بلک (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات آمونیوم یک نرمال در pH برابر ۷ تعیین گردید (Chapman, 1965). همچنین مقدار آهک معادل کربنات کلسیم (CCE) با استفاده از روش خنثی‌سازی اسیدی (Nelson, 1982) و درصد گچ خاک به روش استون (Nelson, 1982) تعیین شد. عمق مؤثر خاک، وضعیت زهکشی و درصد سنگریزه نیز بر اساس توصیفات صحرایی پروفیل‌ها ثبت و نهایی گردید.

تعیین واحدهای نقشه اراضی

به‌منظور انجام ارزیابی تناسب اراضی، ابتدا نقشه‌های رقومی خاک، شیب، ارتفاع و واحدهای ژئومورفولوژی در محیط GIS یکپارچه شدند. سپس با استفاده از عملیات همپوشانی واحدهای اراضی (Land Mapping Units; LMUs) ایجاد گردیدند. هر واحد اراضی معرف محدوده‌ای با ویژگی‌های نسبتاً یکنواخت ازنظر خاک، توپوگرافی و شرایط محیطی بوده و به‌عنوان واحد پایه ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. به‌این‌ترتیب، تمامی ویژگی‌های مورد نیاز شامل خصوصیات خاک، شرایط اقلیمی و عوامل توپوگرافی برای هر واحد اراضی به‌صورت یکپارچه استخراج و مبنای محاسبه شاخص تناسب اراضی قرار گرفت. اطلاعات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین ویژگی‌های اقلیمی مربوط به هر واحد اراضی استخراج و برای مراحل بعدی تحلیل آماده‌سازی شد.

ارزیابی تناسب اراضی برای کشت انگور

ارزیابی تناسب اراضی برای کشت انگور (*Vitis vinifera* L.) بر اساس چارچوب ارزیابی اراضی فائو (FAO, 1976) و روش پارامتریک ریشه دوم (Square Root Method) ارائه شده توسط سیس و همکاران (Sys et al., 1993) انجام شد. روش پارامتریک ریشه دوم به‌دلیل در نظر گرفتن هم‌زمان اثر متقابل عوامل محیطی و تأکید بر نقش عامل محدودکننده، یکی از متداول‌ترین روش‌های ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات زراعی و باغی به‌شمار می‌رود و در مطالعات متعدد ارزیابی اراضی مورد استفاده قرارگرفته است. نیازهای اکولوژیک انگور از منابع معتبر و دستورالعمل‌های مؤسسه تحقیقات خاک و آب استخراج و با ویژگی‌های هر واحد اراضی مقایسه شد. حدود آستانه و معیارهای امتیازدهی هر یک از ویژگی‌های مورد ارزیابی بر اساس جداول ارائه شده توسط سیس و همکاران (Sys et al., 1993) چارچوب FAO و دستورالعمل‌های مؤسسه تحقیقات خاک و آب تعیین شد. پارامترهای مورد ارزیابی شامل عوامل اقلیمی: دما، بارندگی، طول دوره رشد و خطر یخبندان، عوامل توپوگرافی: شیب و ارتفاع و عوامل خاکی: عمق مؤثر، بافت، زهکشی، سنگریزه، شوری، سدیمی بودن، آهک، گچ و واکنش خاک و حاصلخیزی بودند. برای هر ویژگی، امتیازی بین صفر تا صد بر اساس میزان انطباق با نیازهای رویشی انگور اختصاص یافت. سپس شاخص تناسب اراضی (LSI) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

رابطه ۱

$$LSI = R_{min} \times \sqrt{[(A/100) \times (B/100) \times (C/100) \times \ldots \times (N/100)]}$$

در این رابطه، R_{min} نشان‌دهنده حداقل امتیاز اختصاص‌یافته به عوامل ارزیابی و A تا N نشان‌دهنده امتیاز سایر ویژگی‌های مؤثر هستند. در این روش، عاملی که کمترین امتیاز را دریافت می‌کند، به‌عنوان عامل محدودکننده اصلی، بیشترین تأثیر را بر شاخص نهایی تناسب دارد، بنابراین حتی در شرایطی که سایر ویژگی‌ها

از وضعیت مطلوبی برخوردار باشند، وجود یک محدودیت شدید می‌تواند کلاس تناسب اراضی را کاهش دهد. این ویژگی سبب شده است که روش پارامتریک ریشه دوم برای ارزیابی محصولاتی مانند انگور که به برخی ویژگی‌های خاک و اقلیم حساس هستند، از کارایی مناسبی برخوردار باشد. در این روش ضمن حفظ اثر عامل محدودکننده، تأثیر متقابل سایر پارامترها را در شاخص نهایی منعکس می‌کند. بر اساس مقدار شاخص نهایی، اراضی در چهار کلاس تناسب شامل بسیار مناسب (S1)، نسبتاً مناسب (S2)، تناسب بحرانی (S3) و نامناسب (N) بر اساس دستورالعمل سیس و همکاران (Sys et al., 1993) طبقه‌بندی شدند.

تعیین و پهنه‌بندی عوامل محدودکننده تناسب اراضی

پس از تعیین کلاس‌های تناسب اراضی، عوامل محدود کننده توسعه تاکستان‌ها در سطح استان شناسایی شدند. در هر واحد اراضی، عاملی که کمترین امتیاز را کسب کرده بود به‌عنوان عامل محدودکننده غالب در نظر گرفته شد و در صورت یکسان بودن حداقل امتیاز چند ویژگی، تمامی آن‌ها به‌عنوان عوامل محدودکننده همزمان ثبت شدند. سپس سهم هر یک از محدودیت‌ها شامل شوری، سدیمی بودن، عمق کم خاک، بافت نامناسب، محدودیت‌های زهکشی، آهک بالا، گچ، حاصلخیزی، شیب و شرایط اقلیمی در کاهش شاخص تناسب، همراه با مساحت و درصد اراضی تحت تأثیر آن‌ها، محاسبه گردید. درنهایت، نقشه پراکنش هر یک از عوامل محدودکننده در محیط GIS تهیه شد.

اولویت‌بندی اراضی مناسب برای توسعه تاکستان‌ها

به‌منظور تعیین پهنه‌های اولویت‌دار توسعه تاکستان‌ها، نتایج ارزیابی تناسب اراضی با اطلاعات مربوط به عوامل محدودکننده و ویژگی‌های توپوگرافی تلفیق شد. در این مرحله، اراضی واقع در کلاس‌های S1 و S2 به‌عنوان پهنه‌های مستعد توسعه در نظر گرفته شدند و بر اساس کلاس نهایی تناسب اراضی و با توجه به نوع و شدت عوامل محدودکننده شناسایی‌شده، اولویت توسعه آن‌ها تعیین گردید. درنهایت، نقشه پهنه‌بندی و پراکنش مکانی اراضی دارای قابلیت توسعه تاکستان‌ها در محیط GIS تهیه و مناطق دارای بیشترین ظرفیت برای توسعه پایدار باغداری انگور مشخص شدند.

اعتبارسنجی مدل تناسب اراضی

به‌منظور ارزیابی قابلیت اعتماد نتایج، نقشه تناسب اراضی با پراکنش فعلی تاکستان‌های استان مقایسه شد. نقشه باغ‌ها موجود در محیط GIS با نقشه کلاس‌های تناسب همپوشانی گردید و درصد تاکستان‌های واقع در هر کلاس محاسبه شد. میزان انطباق بین پراکنش فعلی باغ‌ها و نتایج مدل، به‌عنوان شاخصی از دقت ارزیابی (Percentage Agreement) مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص از نسبت مساحت تاکستان‌های موجود واقع در کلاس‌های مناسب‌تر S1 و S2 به کل مساحت تاکستان‌های موجود به دست آمد (رابطه ۲).

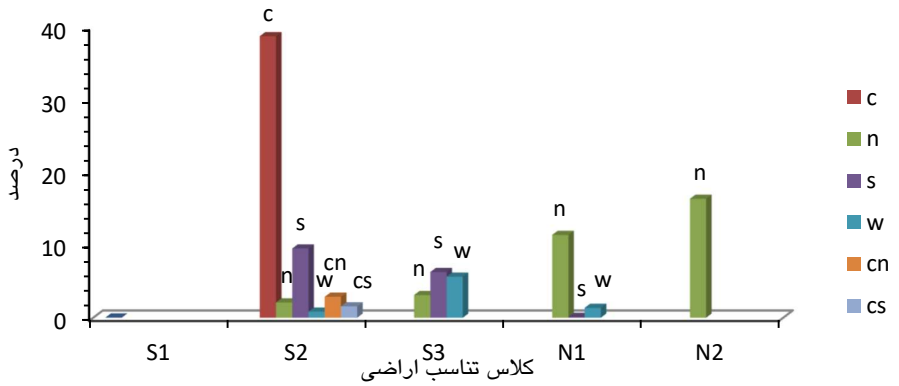
$$PA = [(As_1 + As_2) / A_v] \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن، PA درصد انطباق، As_1 و AS_2 به‌ترتیب مساحت تاکستان‌های موجود در کلاس‌های S1 و S2 و A_V کل مساحت تاکستان‌های موجود در محدوده مورد مطالعه است. مقدار بالاتر این شاخص نشان‌دهنده انطباق بیشتر پراکنش فعلی تاکستان‌ها با پهنه‌های دارای تناسب بالاتر است و به‌عنوان معیاری برای ارزیابی میزان همخوانی نتایج مدل تناسب اراضی با وضعیت موجود تاکستان‌ها مورداستفاده قرار گرفت.

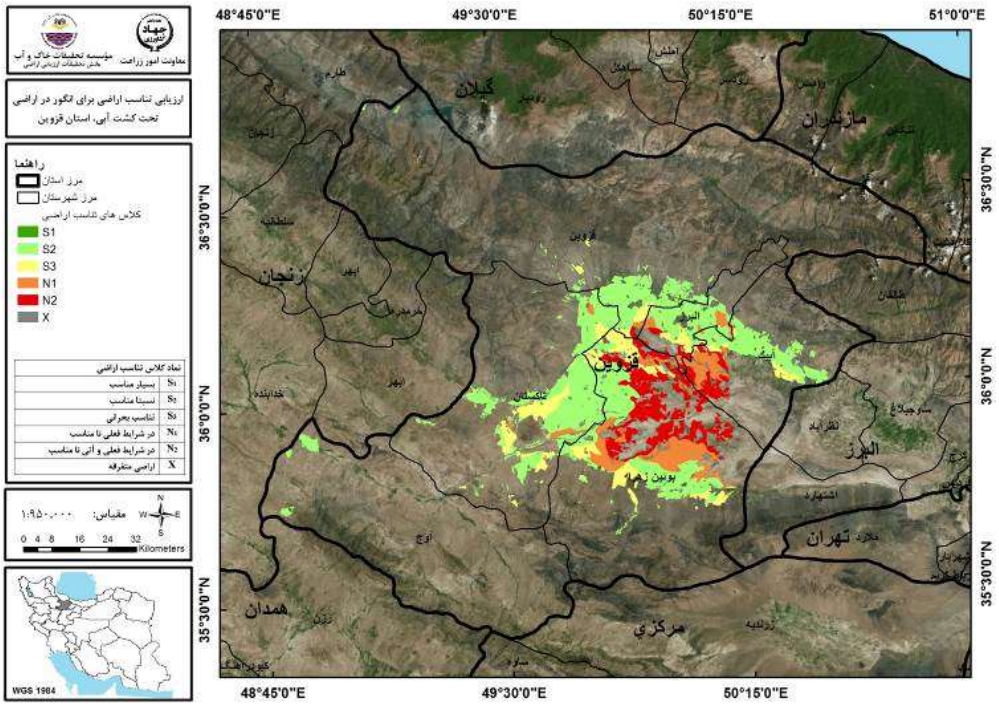
نتایج

نتایج ارزیابی تناسب اراضی برای کشت انگور نشان داد که کلاس تناسب اقلیمی S2 و مقدار شاخص اقلیمی ٦٥ می‌باشد. عامل محدودیت متوسط دما در مراحل جوانه‌زنی و رشد شاخه‌ها می‌باشد. نتایج ارزیابی تناسب اراضی برای کشت انگور نشان می‌دهد در حدود ١٤٠ هزار هکتار معادل ٥٥ درصد دارای تناسب متوسط (S2) و ٣٨ هزار هکتار (حدود ١٥ درصد) دارای تناسب کم (S3) می‌باشند. اراضی نامناسب نیز در کلاس تناسب N1 به وسعت ٣٢ هزار هکتار (حدود ١٣ درصد) و کلاس

تناسب N2 به وسعت ٤١ هزار هکتار (تقریباً ١٦ درصد) قرارگرفته‌اند. نمودار درصد و مساحت تحت کلاس‌های تناسب اراضی برای انگور در شکل ۱ و جدول ۲ ارائه شده است. بر پایه این نمودار، محدودکننده‌ترین خصوصیات اراضی در کلاس تناسب متوسط (S2)، ویژگی‌های اقلیمی، شوری و قلیائیت، خصوصیات فیزیکی خاک‌ها و زهکشی است، که محدودکننده‌ترین عامل در این کلاس عامل اقلیم می‌باشد. در کلاس تناسب S3 نیز خصوصیات فیزیکی خاک‌ها، شوری و قلیاییت، زهکشی محدودکننده است. مهم‌ترین عوامل محدودکننده در رده نامناسب شوری و قلیائیت خاک‌ها، خصوصیات فیزیکی خاک‌ها و زهکشی است. نقشه پراکنش کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت انگور در شکل دو ارائه‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد اراضی نامناسب برای کشت انگور نیز غالباً در بویین‌زهرا و آبیک واقع شده است.



شکل۱- درصد مساحت اراضی آبی مورد مطالعه به تفکیک تحت کلاس‌های مختلف تناسب اراضی برای انگور



شکل۲- گسترش جغرافیایی اراضی آبی مطالعه شده به تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی برای انگور

جدول ۱- مساحت و درصد اراضی به تفکیک کلاس‌ها و تحت کلاس‌های اراضی برای انگور

رده تناسب	مساحت رده	درصد مساحت رده	کلاس	مساحت کلاس	درصد مساحت کلاس	تحت کلاس تناسب	مساحت تحت کلاس (هکتار)	درصد مساحت تحت کلاس
اراضی مناسب (S)	۱۷۸۴۷۷/۶۸	۷۰/۷۵	S1	۷۲/۷۵	۰/۰۳	S1	۷۲/۷۵	۰/۰۳
			S2	۱۴۰۴۰۰/۲۹	۵۵/۶۶	S2 c	۹۷۷۵۰/۸۱	۳۸/۷۵
						S2 cn	۷۲۷۶/۹۲	۲/۸۸
						S2 cs	۳۹۳۲/۹۲	۱/۵۶
						S2 n	۵۳۰۶/۹۶	۲/۱۰
						S2 s	۲۴۰۴۰/۸۱	۹/۵۳
						S2 w	۲۰۹۱/۸۶	۰/۸۳
			S3	۳۸۰۰۴/۶۴	۱۵/۰۷	S3 n	۷۸۷۷/۶۳	۳/۱۲
						S3 s	۱۵۸۷۷/۷۹	۶/۲۹
						S3 w	۱۴۲۴۹/۲۲	۵/۶۵
اراضی نامناسب (N)	۷۳۷۷۸/۹۱	۲۹/۲۵	N1	۳۲۴۷۱/۹۷	۱۲/۸۷	N1 n	۲۸۷۶۳/۰۹	۱۱/۴۰
						N1 s	۲۸۱/۸۶	۰/۱۱
						N1 w	۳۴۲۷/۰۲	۱/۳۶
			N2	۴۱۳۰۶/۹۴	۱۶/۳۷	N2 n	۴۱۳۰۶/۹۴	۱۶/۳۷
جمع	۲۵۲۲۵۶/۵۹	۱۰۰	–	۲۵۲۲۵۶/۵۹	۱۰۰	–	۲۵۲۲۵۶/۵۹	۱۰۰
X	–	–	–	۲۵۷۹/۵۸	–	اراضی متفرقه (X)	۲۵۷۹/۵۸	–
				جمع کل			۲۵۴۸۳۶/۱۷	۱۰۰

بحث

نتایج ارزیابی تناسب اراضی نشان داد که استان قزوین از ظرفیت قابل‌توجهی برای توسعه تاکستان‌ها برخوردار است، به‌طوری که بیش از ۷۰ درصد اراضی مورد مطالعه در رده اراضی مناسب (S) برای کشت انگور قرار گرفتند. بااین‌حال، ساختار توزیع کلاس‌های تناسب بیانگر آن است که این ظرفیت عمدتاً در قالب اراضی با تناسب متوسط (S2) ظهور یافته و اراضی کاملاً مطلوب سهم بسیار ناچیزی دارند. به‌طوری که تنها ۷۲/۷۵ هکتار، معادل ۰/۰۳ درصد از کل اراضی ارزیابی‌شده، در کلاس S1 قرار گرفت. این الگو نشان می‌دهد که تقریباً هیچ بخشی از منطقه موردمطالعه به‌طور کامل با نیازهای اکولوژیک انگور انطباق ندارد و حتی در مناسب‌ترین واحدهای اراضی نیز حداقل یک عامل محدودکننده وجود دارد. چنین وضعیتی در بسیاری از مناطق نیمه‌خشک مشاهده می‌شود، زیرا محدودیت‌های اقلیمی و خاکی به‌ندرت امکان دستیابی به شرایط کاملاً ایده‌آل را فراهم می‌کنند، بنابراین توسعه تاکستان‌ها در استان قزوین بیش از آنکه مبتنی بر وجود اراضی بدون محدودیت باشد، وابسته به مدیریت و کاهش اثر عوامل محدودکننده است.

غلبه کلاس S2 با بیش از ۵۵ درصد از کل اراضی نیز مؤید این موضوع است. اراضی این کلاس دارای محدودیت‌های متوسط هستند و در صورت اعمال مدیریت مناسب می‌توانند عملکرد اقتصادی قابل قبولی داشته باشند. درواقع، گستردگی اراضی S2 بیانگر آن است که استان قزوین از پتانسیل بالایی برای توسعه باغات انگور برخوردار است، اما تحقق این ظرفیت نیازمند بهبود مدیریت خاک، آب و شرایط محیطی است. ازاین‌رو، راهبرد توسعه تاکستان‌ها در استان باید بر ارتقای کیفیت اراضی S2 متمرکز باشد، زیرا تبدیل بخشی از این اراضی به شرایط تولیدی پایدار ازنظر اقتصادی و اجرایی بسیار امکان‌پذیرتر از توسعه باغات در اراضی دارای محدودیت شدید خواهد بود.

بررسی زیرکلاس‌های تناسب نشان داد که عامل اقلیم مهم‌ترین محدودیت مؤثر بر تناسب اراضی برای کشت انگور است. غالب بودن زیر کلاس S2c با وسعت حدود ۹۸ هزار هکتار نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی بیش از سایر عوامل در کاهش درجه تناسب اراضی نقش

داشته‌اند. شاخص اقلیمی ٦٥ و قرارگیری منطقه در کلاس اقلیمی S2 بیانگر آن است که اگرچه شرایط اقلیمی امکان تولید اقتصادی انگور را فراهم می‌کند، اما محدودیت‌های حرارتی به‌ویژه در مراحل جوانه‌زنی و رشد اولیه شاخه‌ها مانع دستیابی به شرایط بهینه می‌شوند. فنولوژی انگور به‌شدت تحت تأثیر دما قرار دارد و آستانه‌های حرارتی و نیاز سرمایی، زمان باز شدن جوانه‌ها و شروع رشد شاخه‌ها را کنترل می‌کنند (Keller., 2020) همچنین، تغییرات دمای دوره خواب و اوایل بهار می‌تواند زمان باز شدن جوانه‌ها را تغییر داده و خطر آسیب ناشی از دماهای پایین در مراحل اولیه رشد را تحت تأثیر قرار دهد (Campos-Arguedas et al., 2026). اهمیت این یافته ازآن‌جهت است که بسیاری از برنامه‌های توسعه باغی عمدتاً بر اصلاح ویژگی‌های خاک متمرکز هستند، درحالی‌که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد حتی در صورت رفع محدودیت‌های خاکی، محدودیت‌های اقلیمی همچنان می‌توانند عامل اصلی کاهش پتانسیل تولید باشند. بنابراین در برنامه‌ریزی توسعه تاکستان‌های استان، انتخاب ارقام متناسب با شرایط حرارتی منطقه و توجه به روندهای تغییر اقلیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

پس از عامل اقلیم، شوری و قلیائیت خاک مهم‌ترین عامل محدودکننده تناسب اراضی بودند. حضور گسترده زیرکلاس‌های مرتبط با شوری در کلاس‌های S2، S3 و N بیانگر تأثیر چشمگیر این عامل بر قابلیت اراضی استان است. این نتیجه با شرایط حاکم بر دشت قزوین سازگاری دارد، زیرا اقلیم خشک، تبخیر بالا و استفاده طولانی‌مدت از منابع آب آبیاری با کیفیت متوسط تا ضعیف موجب تجمع تدریجی املاح در ناحیه ریشه شده است. افزایش هدایت الکتریکی خاک و بالا بودن نسبت جذب سدیم سبب کاهش جذب آب، اختلال در تعادل عناصر غذایی و کاهش رشد رویشی تاک می‌شود (Mustapha et al., 2025). علاوه بر این، سدیمی شدن خاک در بلندمدت با تخریب ساختمان خاک، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و افت هدایت هیدرولیکی همراه است که می‌تواند پایداری تولید را با مخاطره مواجه کند. ازاین‌رو، مدیریت شوری و قلیائیت باید به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی توسعه پایدار تاکستان‌ها در استان در نظر گرفته شود.

در کنار شوری، محدودیت‌های فیزیکی خاک نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش تناسب اراضی داشته‌اند. سهم بالای زیرکلاس‌های مرتبط با محدودیت‌های فیزیکی در کلاس‌های S3 و N نشان می‌دهد که عواملی نظیر عمق کم خاک، وجود لایه‌های محدودکننده، بافت نامناسب و شرایط زهکشی نامطلوب از مهم‌ترین عوامل کاهش قابلیت تولید اراضی هستند. این محدودیت‌ها از طریق محدود کردن توسعه سیستم ریشه‌ای، کاهش ظرفیت ذخیره آب و اختلال در تهویه خاک، رشد و عملکرد تاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اهمیت این موضوع در شرایط اقلیم نیمه‌خشک استان قزوین دوچندان است، زیرا هرگونه محدودیت در ذخیره و انتقال آب می‌تواند اثر تنش‌های محیطی را تشدید کند.

بررسی الگوی مکانی کلاس‌های تناسب نیز الگوی مشخصی از توزیع محدودیت‌ها را آشکار ساخت. تمرکز اراضی نامناسب در شهرستان‌های بویین‌زهرا و آبیک نشان می‌دهد که شرایط ژئومورفولوژیکی و هیدروپدولوژیکی این مناطق نقش مهمی در شکل‌گیری محدودیت‌های اراضی داشته است. قرارگیری در بخش‌های پایین‌دست دشت، تجمع تدریجی املاح محلول و در برخی مناطق وجود سطح ایستابی نسبتاً کم‌عمق موجب تشدید فرآیندهای شور و سدیمی شدن خاک شده است. همچنین محدودیت‌های زهکشی در برخی واحدهای اراضی شرایط را برای تجمع نمک در ناحیه ریشه فراهم کرده است، بنابراین توسعه تاکستان‌ها در این مناطق بدون اجرای اقدامات اصلاحی نظیر بهبود زهکشی، آبشویی نمک‌ها و مدیریت دقیق آب آبیاری با ریسک بالایی همراه خواهد بود. در مقابل، پراکنش گسترده اراضی S2 در سایر بخش‌های استان نشان می‌دهد که

بخش قابل توجهی از اراضی قزوین ظرفیت مناسبی برای توسعه هدفمند باغات انگور دارند.

یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات انجام‌شده در سایر مناطق نیمه‌خشک ایران همخوانی دارد. پژوهش‌های انجام‌شده در مناطق مختلف کشور نشان داده‌اند که محدودیت‌های اقلیمی، شوری خاک و ویژگی‌های فیزیکی خاک از مهم‌ترین عوامل کاهش تناسب اراضی برای کشت انگور هستند. با این حال، نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که نقش محدودیت‌های اقلیمی در استان قزوین برجسته‌تر از بسیاری از مناطق انگورخیز کشور است. این موضوع بیانگر آن است که در برنامه‌ریزی توسعه باغات استان، توجه به شرایط حرارتی و روندهای احتمالی تغییر اقلیم باید در کنار مدیریت خاک و آب مورد توجه قرار گیرد. همچنین نتایج مطالعات بین‌المللی در مناطق مدیترانه‌ای نیز اهمیت عوامل اقلیمی، شوری خاک و زهکشی را در تعیین موفقیت تاکستان‌ها تأیید کرده‌اند که همسویی نتایج این پژوهش با یافته‌های جهانی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که توسعه پایدار تاکستان‌ها در استان قزوین بیش از آنکه نیازمند گسترش سطح زیرکشت باشد، مستلزم مدیریت محدودیت‌های موجود در اراضی دارای تناسب متوسط است. کنترل شوری و قلیائیت، بهبود شرایط زهکشی، اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک، انتخاب ارقام متحمل به تنش‌های محیطی و لحاظ کردن سناریوهای تغییر اقلیم می‌تواند نقش مهمی در افزایش بهره‌وری و پایداری تولید انگور در استان ایفا کند. از این‌رو، راهبردهای توسعه باغداری در استان باید بر افزایش کارایی اراضی موجود و بهره‌برداری پایدار از منابع خاک و آب استوار باشد.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچگونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

REFERENCES

Akinci, H., Özalp, A. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture, 97*, 71–82. https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.006

Baja, S., Chapman, D. M., & Dragovich, D. (2021). A conceptual model for defining and assessing land management units using a fuzzy multi-criteria decision-making approach in a GIS environment. *Environmental Management, 67*(1), 1–16.

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal, 54*(5), 464–465. https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x

Campos-Arguedas, F., et al. (2026). Cold hardiness dynamics predict budbreak and associated low-temperature threats in grapevine. *New Phytologist*.

Chapman, H. D. (1965). Cation-exchange capacity. In C. A. Black (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (pp. 891–901). American Society of Agronomy. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c6

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1976). *A framework for land evaluation* (FAO Soils Bulletin No. 32). FAO.

Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2016). Future climate projections for viticulture in Europe using multi-model ensembles. *Climate Research, 67*, 1–19.

Hosseini, S. M., Ayoubi, S., & Jalalian, A. (2018). Land suitability evaluation for selected fruit crops using ALES and GIS in Malekan region, Iran. *Journal of Soil and Water Conservation, 25*(3), 215–228. (In Persian with English abstract).

Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change, 73*(3), 319–343.

Karimi, F., Jafari, R., & Alavipanah, S. K. (2022). Land suitability assessment for vineyard development using fuzzy-AHP and GIS (case study: Southwest Iran). *Environmental Monitoring and Assessment, 194*, 412. https://doi.org/10.1007/s10661-022-09876-x

Keller, M. (2020). *The science of grapevines: Anatomy and physiology* (3rd ed.). Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2017-0-04744-4

Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning, 62*(1), 3–65. https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002

Mesgaran, M. B., Madani, K., Hashemi, H., & Azadi, P. (2017). Iran's Land Suitability for Agriculture. Scientific Reports, 7, 7670.

Mohases Mostashari, M., & Khosravinejad, A. (2025). Integrated management of nutrition in vineyards: Sustainable solutions to increase productivity and product quality. *Extension Grape Magazine, 6*(2), 63–70. (In Persian with English abstract)

Moriondo, M., Leolini, L., & Bindi, M. (2024). Climate change impacts and adaptation strategies in Mediterranean viticulture: A spatial assessment. *Agricultural and Forest Meteorology, 348*, 109847.

Mustapha, A., Hakeem, A., Li, S., Mustafa, G., Elatafi, E., Fang, J., & Zhou, C. (2025). Grapevine rootstocks and salt stress tolerance: Mechanisms, omics insights, and implications for sustainable viticulture. *International Journal of Plant Biology, 16*(4), 129. https://doi.org/10.3390/ijpb16040129

Nelson, R. E. (1982). Carbonate and gypsum. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (2nd ed., pp. 181–197). American Society of Agronomy. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c11

Nguyen, T. T., Pham, V. M., & Le, T. H. (2023). Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for sustainable agricultural land suitability assessment. *Sustainability, 15*(15), 11234. https://doi.org/10.3390/su151511234

Poni, S., Bernizzoni, F., & Civardi, S. (2018). The effects of climate and soil conditions on grapevine performance and berry composition. *OENO One, 52*(1), 1–15.

Rabia, A. H., & Terribile, F. (2013). Introducing a new parametric concept for land suitability assessment. *Computers and Electronics in Agriculture, 93*, 26–38. https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.01.005

Richards, L. A. (Ed.). (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (USDA Agriculture Handbook No. 60). United States Department of Agriculture.

Rossiter, D. G. (1996). A theoretical framework for land evaluation. *Geoderma, 72*(3–4), 165–190.

Santos, J. A., Fraga, H., & Malheiro, A. C. (2022). Spatial modelling of climate suitability for grapevine under climate change scenarios. *Science of the Total Environment, 806*, 150687. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150687

Seyedmohammadi, J., Jafarzadeh, A. A., Sarmadian, F., Shahbazi, F., & Ghorbani, M. M. (2018). Application of ELECTRE TRI and parametric methods for land suitability evaluation of a part of Dasht-e-Moghan for maize cultivation under sprinkler irrigation. *Journal of Water and Soil Science, 28*(2), 121–137. (In Persian with English abstract).

Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J., & Beernaert, F. (1993). *Land evaluation. Part III: Crop requirements*. Agricultural Publications No. 7. General Administration for Development Cooperation.

van Leeuwen, C., Roby, J. P., & de Rességuier, L. (2018). Soil-related terroir factors: A review. *OENO One, 52*(2), 173–188. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2018.52.2.2208

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science, 37*(1), 29–38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Zeinadini, A., Khademi, H., & Jalalian, A. (2014). Land suitability evaluation for wheat production using parametric methods in Kerman Province. *Journal of Soil Research, 28*(2), 145–160. (In Persian with English abstract).

Zolekar, R. B., & Bhagat, V. S. (2015). Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone using remote sensing and GIS. *Computers and Electronics in Agriculture, 118*, 300–321. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.001