



Original Article

**Identification of Suitable Areas for Cultivation of Saffron  
(*Crocus sativus* L.) Using Artificial Intelligence-Based Models in Khorasan  
Razavi Province**

**Javad Momeni Damaneh<sup>1</sup>, Jalil Ahmadi<sup>2\*</sup>, Zahra Jafarpour chekab<sup>3</sup>**

1- Ph.D. in Desertification, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, BandarAbbas, Iran.

2- PhD student of Rangeland Science, Department of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3- PhD student of Ecosystem Restoration, Department of Range and Watershed Management, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\*Corresponding author Email: [jalilahmadi@ut.ac.ir](mailto:jalilahmadi@ut.ac.ir)

Received 05 January 2023; Accepted 17 February 2024

**Extended Abstract**

**Introduction:** Saffron (*Crocus sativus* L) holds a special place in the culture and economy of various countries as one of the most valuable and expensive spices. This plant, which is resistant to drought and capable of growing in specific climatic conditions, carries significant economic importance. Its cultivation in regions with limited conditions and low water requirements is considered an excellent opportunity for sustainable agriculture in upland and water-scarce areas. In Iran, saffron is cultivated as a strategic and exportable product, especially in regions like Khorasan, Kerman, Golestan, and Markazi. The cultivation of saffron comes with challenges such as water scarcity, soil pollution, decreased genetic diversity, and climate change, especially in arid and water-scarce regions, which is a cause for concern. This research, has focused on the habitat suitability for saffron cultivation, investigated the environmental factors and their impact on the growth, yield, and quality of this product by using species distribution models. Additionally, the role of human interventions and climate changes in saffron habitat suitability and methods for increasing productivity and sustainability of saffron cultivation are discussed and examined.

**Materials and Methods:** This research was conducted in northeastern Iran, covering an area of 117,612 square kilometers. Presence data were collected using 1:25,000 topographic maps and the features available on the maps. Relying on machine learning models and utilizing 11 algorithms within the BioMod2 package, an investigation into suitable saffron habitats in Khorasan Razavi was carried out. The presence points were documented during field inspections over the 2021-2022 time period in the designated areas, resulting in a total of 59 presence points for the *C. sativus* L species. A set of 27 environmental variables, including three physiographic variables, 19 climatic variables (1950-2000), four soil-related variables, and one geological variable, were considered for model development in the current time frame. The modeling process involved using 70% of the presence points for model creation and 30% for model performance evaluation.

Additionally, to enhance modeling accuracy, five repetitions were considered. Model accuracy was assessed using the KAPPA, TSS, and ROC indices.

**Results and Discussion:** The accuracy evaluation results in the modeling indicate that the Random Forest (RF) model, with values of 88.9%, 98%, and 99.5% for KAPPA, TSS, and ROC indices, and the Ensemble Models (ESMs) model, with values of 94.7%, 98.9%, and 99.9% for the same parameters, achieved the highest accuracy for predicting suitable saffron cultivation areas. Consequently, the Random Forest and Ensemble Models were chosen as the preferred models and served as the basis for further calculations. The relative importance of environmental variables in modeling the spatial distribution of suitable saffron cultivation areas indicates that the most critical environmental factors are climatic variables (BIO8, BIO15, BIO12, and BIO1), followed by physiographic parameters (elevation above sea level), and ultimately, soil-related factors. The results show that the selected models RF and ESMs cover an area ranging from 3,195 to 6,144 square kilometers, equivalent to 2.8% to 5.5% of the regions under investigation, with a medium to high potential for saffron cultivation, displaying the most extensive geographical distribution of saffron. In summary, this study has demonstrated the high predictive capability of machine learning models for forecasting areas with similar potential for saffron cultivation, with strong performance evaluated through KAPPA, TSS, and ROC accuracy indices. The study findings suggest that the Random Forest model (RF) with a high accuracy rate of 88.9%, 98%, and 99.5% is the preferred model for this research. The results indicate that bioclimatic and topographic factors are the most influential elements in species distribution. In summary, we evaluated the performance of ensemble models in comparison to individual models using presence-absence datasets and found that ensemble models generally outperform individual models in most situations.

**Conclusion:** The analysis of habitat suitability and the use of machine learning algorithms to improve saffron cultivation in environmentally constrained areas represent an effective opportunity for achieving sustainable agriculture and increasing productivity in saffron production. This research aids managers and farmers in selecting suitable regions for saffron cultivation based on environmental conditions. Enhancing management capabilities and productivity in saffron production can contribute to increased production and the economic development of regions associated with saffron cultivation. Considering that the crisis of unemployment and drought in the east of Iran in the past 30 years has led to an increase in immigration, the consequences of this crisis can be the disruption of the population centers in the east of Iran, which has caused people to seek refuge from villages and small population centers to the outskirts of big cities. At the same time, it will lead to crippling marginalization for the big cities of the country. Marginalization around cities causes cultural and security problems, increasing drug sales and crime in cities. For this reason, according to the ecological conditions of saffron plant, this plant can be cultivated in susceptible areas, and this is very useful for the economy of small population centers.

**Conflict of Interest:** The author declare no potential conflict of interest related to this research.


**Keywords:** Arid and semi-arid regions, Geographical distribution of the species, Habitat suitability, Climate changes, Machine learning algorithm.



نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)

جلد یازدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲

شماره صفحه: ۳۲۸-۳۴۵

 <http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2024.7137.1231>

مقاله پژوهشی

## شناسایی مناطق مطلوب کشت زعفران زراعی (*Crocus sativus L.*) با استفاده از مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در استان خراسان رضوی

جواد مومنی دمنه<sup>۱</sup>، جلیل احمدی<sup>۲\*</sup>، زهرا جعفرپور چکاب<sup>۳</sup>

۱- دکتری بیابان‌زدایی، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران.

۲- دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- دانشجوی دکتری احیاء اکوسیستم، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

\*نویسنده مسئول: Email: Jalilahmadi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

### چکیده

زعفران (*Crocus sativus L.*) از خانواده زنبق و از ادویه‌های ارزشمند صنایع مختلف است. در این پژوهش با تکیه بر مدل‌های یادگیری ماشینی به بررسی زیستگاه‌های مناسب زعفران در خراسان رضوی پرداخته شد. نمونه‌برداری نقاط حضور، در بازدیدهای میدانی طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ صورت پذیرفت؛ در مجموع ۵۹ نقطه حضور برای زعفران ثبت شد. با استفاده از اطلاعات ۲۷ متغیر محیطی (۳ متغیر فیزیوگرافی و ۱۹ متغیر اقلیمی، ۴ متغیر خاک‌شناسی و ۱ متغیر زمین‌شناسی) مدل‌سازی انجام شد. بررسی مقادیر شاخص‌های ارزیابی صحت (ROC، TSS، KAPPA) نشان داد که؛ مدل جنگل تصادفی برای مناطق مستعد کشت زعفران با مقادیر به ترتیب ۸۸/۸ و ۹۸ و ۹۹/۵ درصد و مدل ترکیبی با مقادیر به ترتیب ۹۴/۷ و ۹۸/۹ و ۹۹/۹ درصد برای این پارامترها بیش‌ترین میزان صحت را داشته‌اند. در مدل‌های برگزیده جنگل تصادفی و مدل اجماعی مساحت بین ۳۱۹۵ تا ۶۱۴۴ کیلومترمربع معادل ۲/۷۴ تا ۵/۲۸ درصد از مناطق مورد بررسی پتانسیل متوسط تا خوب برای کشت زعفران است که بیش‌ترین توزیع جغرافیایی زعفران را نشان دادند. متغیرهای محیطی، میانگین دمای سالانه، مدل رقومی ارتفاع و بارش سالانه بیش‌ترین سهم را بر تغییرات توزیع زعفران دارند. براساس نتایج تحلیل تناسب زیستگاه و استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی می‌تواند به بهبود کشت و توسعه زعفران با محدودیت‌های محیطی، به عنوان یک فرصت موثر برای تحقق کشاورزی پایدار و افزایش بهره‌وری در تولید کمک کند. این پژوهش به مدیران و کشاورزان اطلاعات مهمی ارائه داده و مسیری را برای انتخاب مناطق مناسب برای کشت زعفران با توجه به شرایط محیطی فراهم آورده است.

واژه‌های کلیدی: مناطق خشک و نیمه‌خشک، توزیع جغرافیایی گونه، تناسب زیستگاه، تغییرات اقلیمی، الگوریتم یادگیری ماشینی.

روند که برای بررسی پراکنش گونه‌های استفاده می‌شوند و بر تئوری نیچ اکولوژیکی (Vandermeer, 1972) استوار می‌باشند. به این معنی؛ هر عامل محیطی تأثیرگذار بر روی پراکنش گونه‌های گیاهی دارای حداقل، حداکثر و مقدار بهینه است که در ترکیب با عوامل دیگر قلمرو گونه‌ها را از هم جدا می‌سازد و یک نیچ اکولوژیکی را تشکیل می‌دهد (Damschen et al., 2006). به عبارت دیگر گونه‌ها در طی گرادیان‌های محیطی مختلفی پراکنش یافته‌اند و با شناخت این گرادیان‌ها می‌توان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش آن‌ها را بیرون کشید و رویشگاه آن‌ها را مدل‌سازی کرد (Leibold et al., 2004; Chase & Leibold, 2009). با توجه به این رویکرد می‌توان با شناسایی مناطقی با بالاترین پتانسیل تولید زعفران در استان خراسان رضوی با استفاده از این مدل‌ها اقدام به شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پتانسیل تولید زعفران در این مناطق کرد و با تعمیم دادن این عوامل به سایر نقاط استان؛ مناطقی که استعداد بالقوه پرورش طلای سرخ را دارند شناسایی و مورد بهره‌برداری قرار داد و همچنین به لحاظ اقتصادی منجر به درآمدزایی برای کشاورزان و بهره‌برداران در سایر نقاط استان شود و بستر مناسبی برای اشتغال باشد تا قسمتی از جمعیتی که در کلان شهرها به دنبال اشتغال هستند بتوانند در این مناطق به کشت و پرورش این گیاه دارویی و صنعتی بپردازند (Eskandari et al., 2022; Ghodduzi et al., 2004). علاوه بر مزایای فراوان اقتصادی و اجتماعی که معرفی مناطق مستعد پرورش زعفران دارد؛ از دیدگاه اکولوژیک نیز شناسایی این مناطق بسیار حائز اهمیت است. جلوگیری از هجوم به عرصه‌های طبیعی، تخریب گسترده و تبدیل اراضی به زمین‌های کشاورزی بدون در نظر گرفتن پتانسیل سرزمینی می‌تواند آسیب‌های جبران ناپذیری را به این عرصه‌ها بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک استان خراسان رضوی بزند. تحولات تکنولوژیکی سال‌های اخیر امکان بهبود تحلیل‌های زیست‌محیطی و اکولوژیکی را فراهم کرده و به محققان و اکولوژیست‌ها اجازه می‌دهد تا با دقت بیشتری بر روی مکانیسم‌ها و پویایی‌های اکولوژیکی گونه‌ها تمرکز کنند. با بهره‌گیری از این فناوری‌ها، می‌توان به‌طور دقیق‌تر عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه‌ها را شناسایی کرده و از این طریق

زعفران (*Crocus sativus L.*) از خانواده زنبق (*Iris*) به‌عنوان یکی از ادویه‌های گران‌قیمت و ارزشمند در صنایع غذایی، دارویی و عطرسازی، از قدیم‌الایام تا به امروز جایگاه ویژه‌ای در فرهنگ و اقتصاد کشورها دارد (Bathaie & Mousavi, 2010). این گیاه مقاوم به کم‌آبی و با توانایی رشد در شرایط آب‌وهوایی خاص، از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار است و کشت آن در مناطقی با شرایط محدود و نیاز به آب کم، به‌عنوان یک فرصت مناسب برای توسعه کشاورزی پایدار در نقاط بیابانی و کم‌آب به شمار می‌رود (Kafi, 2006). همچنین، خواص دارویی، طعم و عطر خاص زعفران، این را گیاه نیازمند توجه بیشتر محققان و کشاورزان می‌سازد. در کشور ایران، زعفران به‌عنوان یک محصول استراتژیک و صادراتی در برخی مناطق به‌ویژه در خراسان، کرمان، گلستان و مرکزی کشت می‌شود. ایران با تولید حدود ۹۰ درصد از کل زعفران جهان، به‌عنوان بزرگترین تولیدکننده و صادرکننده این گیاه شناخته می‌شود و زعفران از جمله محصولات است که به‌عنوان یک عامل مهم در تعیین نقش اقتصادی و اجتماعی مناطق روستایی و پرمشاغل محسوب می‌شود (Dehbashi et al., 2022). با این وجود، کشت زعفران همراه با چالش‌هایی از قبیل مشکلات آبی، آلودگی خاک، کاهش تنوع ژنتیکی و تغییرات اقلیمی روبرو است که به‌ویژه در نواحی خشک و کم‌آب، نگران‌کننده است (Kamyabi et al., 2014; Bayat et al., 2016). از این‌رو، ارتقاء بهره‌وری و پایداری کشت زعفران و تناسب آن با زیستگاه‌های خاص، از اولویت‌های اساسی در برنامه‌های توسعه کشاورزی کشور محسوب می‌شود (Ghanji & Khoshnoudi, 2021). با توجه به اهمیت تناسب زیستگاه برای کشت زعفران و تأثیر آن بر عملکرد و کیفیت محصول، پژوهش‌های بیشتری برای ارزیابی و بهبود تناسب زیستگاه زعفران انجام می‌شود. در این مقاله، با تأکید بر تناسب زیستگاه برای کشت زعفران، به بررسی عوامل محیطی و تأثیر آن‌ها بر رشد، عملکرد و کیفیت این محصول می‌پردازیم. همچنین، نقش مداخلات انسانی و تغییرات اقلیمی در تناسب زیستگاه زعفران و راه‌های افزایش بهره‌وری و پایداری کشت این گیاه ارزشمند مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. مدل‌های پراکنش گونه‌ای، دسته‌ی مهمی از مدل‌های اکولوژیکی به‌شمار می‌

زیستگاه‌های آن‌ها را مدل‌سازی کرد (Rahmanian et al., 2022). سیستم‌های دورسنجی، نرم‌افزارها و مدل‌های مختلف، امکان پیش‌بینی نیچ اکولوژیک گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری را فراهم کرده است. این پیشرفت‌ها منجر به ایجاد ابزارهای کارآمد و دقیق برای پیش‌بینی موقعیت‌های زیستگاهی گونه‌ها با استفاده از داده‌های حضور که از عرصه‌های طبیعی جمع‌آوری شده‌اند می‌شود (Guo et al., 2017). با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی توزیع گونه‌ای این امکان میسر می‌شود که رویشگاه‌های بالقوه و بالفعل گونه‌های مورد نظر را به‌طور دقیق‌تر و علمی‌تری پیش‌بینی کنیم (Townsend Peterson et al., 2017). این اطلاعات باعث می‌شود که بتوانیم به شکل بهینه‌تری در جهت حفظ، احیا و توسعه این مناطق اقدام نماییم. ابزارهای تحلیل آماری، از جمله مدل‌های توزیع جغرافیایی گونه‌ها (SDM's)، ابزارهایی بسیار کارآمد و اهمیت‌دار در انتقال و تجزیه و تحلیل داده‌های حضور و غیاب گونه‌ها هستند، که با کمک آن‌ها می‌توانیم اطلاعات مهم و مفیدی را بدست آوریم که به شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر زیستی و غیرزیستی در پراکنش مختلف گونه‌ها کمک می‌کند (Elith & Leathwick, 2009; Guisan & Thuiller, 2005). استفاده از این ابزارها و روش‌ها به‌عنوان یک اساس محکم در پژوهش‌های علمی و اکولوژیک، به ما این امکان را می‌دهد که به‌طور دقیق‌تر به بررسی و تحلیل مولفه‌های زیستی و محیطی مرتبط با توزیع و انتشار گونه‌ها پرداخته و بدین ترتیب، راهکارهای مناسب‌تری را برای حفظ تنوع زیستی و اکولوژی آن‌ها تدوین و اجرا نماییم (Phillips et al., 2006; Hijmans et al., 2017). تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها انجام شده است و از ابزارهای آماری و تکنیک‌های مختلفی برای این منظور استفاده شده است (Koch et al., 2022; Chaves et al., 2022). این ابزارها شامل مدل‌های یادگیری ماشینی مانند حداکثر آنتروپی (Maximum Entropy)، مدل تعمیم یافته خطی (Generalized Liner Model)، آنالیز تفکیکی انعطاف‌پذیر (Flexible Denotative Analysis)، مدل تقویت شده تعمیم یافته

(Generalized Boosting Method)، مدل تعمیم یافته افزایشی (Generalized additive Models)، آنالیز درخت طبقه‌بندی (Classification Tree)، شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network)، پاکت دامنه سطحی (Range Envelope Adaptive Regression Multivariate)، مدل رگرسیون سازشی چندمتغیره (Spline) و جنگل تصادفی (Random Forest) می‌باشند. این مدل‌ها با بررسی ارتباط خطی بین لایه‌های مختلف محیطی و اقلیمی، توزیع جغرافیایی گونه‌ها را به‌صورت دقیق‌تر و علمی‌تر پیش‌بینی می‌کنند. این رویکردها باعث توسعه بخش‌های مهمی از پژوهش‌های اکولوژیک و حفظ تنوع زیستی می‌شوند و در برنامه‌ریزی مناسب برای محیط‌های زیستی نقش‌های کلیدی را ایفا می‌کنند (Wani et al., 2022).

در مطالعات متعددی توزیع جغرافیایی گونه‌های گیاهی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی مورد بررسی قرار گرفته است. وانی و همکاران (Wani et al., 2022) به پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه گونه *Rheum webbianum* در هیمالیا تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از رویکرد مدل‌سازی اجماعی در بستر بسته بایو مود پرداختند و نشان دادند که مدل‌های مورد استفاده با شاخص‌های ارزیابی ROC<sup>۲</sup> و TSS<sup>۳</sup> به مقادیر ۰/۸۲ و ۰/۹۰ دارای صحت و عملکرد بالایی در پیش‌بینی مناطق مستعد رویشگاهی این گونه دارند همچنین در بین متغیرهای مورد بررسی BIO14، BIO8، BIO3، BIO1 و BIO15 بیشترین تأثیر را بر توزیع بالقوه این گونه گیاهی داشته‌اند. مؤمنی دمنه و همکاران (Damaneh et al., 2022) به پیش‌بینی زیستگاه پسته وحشی (*Pistachio Atlantica*) در شمال شرق ایران با استفاده از ۷ مدل ماشین بردار پرداخته و نشان دادند که مدل‌های اجماعی با بالاترین میزان شاخص‌های ارزیابی (Kappa<sup>۴</sup>، AUC<sup>۵</sup>، TSS) قدرت خوبی در پیش‌بینی زیستگاه‌های گونه پسته وحشی دارد همچنین از همان ۲۸ پارامتر زیست اقلیمی، توپوگرافی و زمین‌شناسی مورد استفاده در این تحقیق BIO2، BIO12 و شیب بیش‌ترین تأثیر را در حضور گونه پسته وحشی داشتند.

<sup>4</sup> Bioclimatic

<sup>5</sup> Cohens Kappa

<sup>6</sup> Area Under the Curve

<sup>1</sup> Species Distribution Models

<sup>2</sup> Receiver Operating Characteristic

<sup>3</sup> True Skill Statistic

باغ‌های زعفران خود اتخاذ کنند همچنین مدل‌های پیش‌بینی یادگیری ماشین به‌عنوان ابزاری قدرتمند در بهبود بهره‌وری و مدیریت بهینه منابع طبیعی مرتبط با کشت زعفران اهمیت دارند و می‌توانند به رشد اقتصادی و اجتماعی در این منطقه کمک کرده و ضامن امنیت اقتصادی بسیاری از بهره‌برداران در شرایط خاص آب‌وهوایی باشد.

### مواد و روش‌ها

تحقیق پیش رو در جغرافیای استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران با مساحتی به وسعت ۱۱۶۴۸۶ کیلومتر مربع انجام شده است. موقعیت جغرافیایی آن نسبت به سیستم متریک (UTM) بین طول‌های ۴۲۳۷۰۹۱ تا ۳۷۵۲۶۵۴ و عرض ۸۸۸۳۴۱ تا ۳۹۸۳۷۲ قرار گرفته است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در ناحیه رویشی ایرانی - تورانی واقع شده و به سبب وسعت زیاد از نظر شرایط طبیعی بسیار متنوع و هر یک از نواحی مختلف آن دارای ویژگی‌های اکولوژیکی خاصی است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه کل استان دارای اقلیم خشک سرد و در برخی نقاط دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. به‌طور کلی اقلیم استان خراسان رضوی خشک و نیمه‌خشک سرد است. متوسط بارش استان ۲۰۹/۸ میلی‌متر محاسبه شده که توزیع بارش استان یکنواخت نبوده و به‌طور کلی مقدار آن از شمال به جنوب استان کاهش می‌یابد. کم‌ترین میزان بارش ۱۱۶/۲ و بیش‌ترین مقدار ۳۱۲/۸ میلی‌متر برآورد گردیده است. از نظر دمایی نیز حداقل دمای استان ۱۲/۲ و حداکثر آن در طی دوره آماری ۱۸/۲ و میانگین دمای سالانه استان نیز ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد است (Damaneh et al., 2022).

### تعیین نقاط حضور گونه

داده‌های مناطق حضور با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و عوارض موجود در نقشه مانند راه‌ها، خط‌الرأس‌ها و رودخانه‌ها تهیه شد. پس از مراجعه به عرصه با پیمایش در منطقه رویشگاه‌های مفید و قابل بهره‌برداری (مناطق به‌عنوان وقوع در نظر گرفته شوند که علاوه بر غالبیت گونه حداقل یک محدوده به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع را تحت پوشش قرار دهند) (نقاط حضور) و مناطق غیرمفید (عدم حضور) مشخص می‌گردد. سپس نمونه‌برداری نقاط حضور، در باز دیدهای میدانی طی دوره

زراع چاهوکی و عباسی (Zare Chahouki & abbasi, 2018) با استفاده از مدل آنترویی حداکثر (MaxEnt) در مراتع چاه ترش یزد رویشگاه گونه دارویی ریواس (*Rhume ribes L.*) را پیش‌بینی کرده بیان کردند که دقت طبقه‌بندی مدل با استفاده از AUC مقدار ۰/۹۵ به دست آمده (سطح خوب) و ضریب کاپا از بررسی میزان تطابق نقشه پیش‌بینی با واقعیت زمینی نیز مقدار ۰/۹۲ بدست آمده که نشان‌دهنده این است که مدلسازی در سطح عالی انجام شده است. محققان دیگری نیز در نقاط مختلف ایران و جهان از جمله مومنی و همکاران (Momeni Damaneh et al., 2023)، زارع چاهوکی و ناصری حصار (Zare Chahouki & Naseri, 2018)، مومنی و همکاران (Momeni Hesar, 2018)، زرکامی و همکاران (Damaneh et al., 2022)، مومنی و همکاران (Zarkami et al., 2022)، رحمانیان و همکاران (Momeni Damaneh et al., 2021)، شاهدوست و همکاران (Rahmanian et al., 2021)، حلبیان و همکاران (Shahdost., 2021)، شهیدی و همکاران (Shahidi et al., 2021)، کوزه‌گران و همکاران (Kouzegaran et al., 2019)، کارگر و همکاران (Kargar et al., 2018) نیز با استفاده از مدل‌های ماشین‌بردار اقدام به پیش‌بینی رویشگاه‌های بالقوه گونه‌های گیاهی مختلف کرده‌اند.

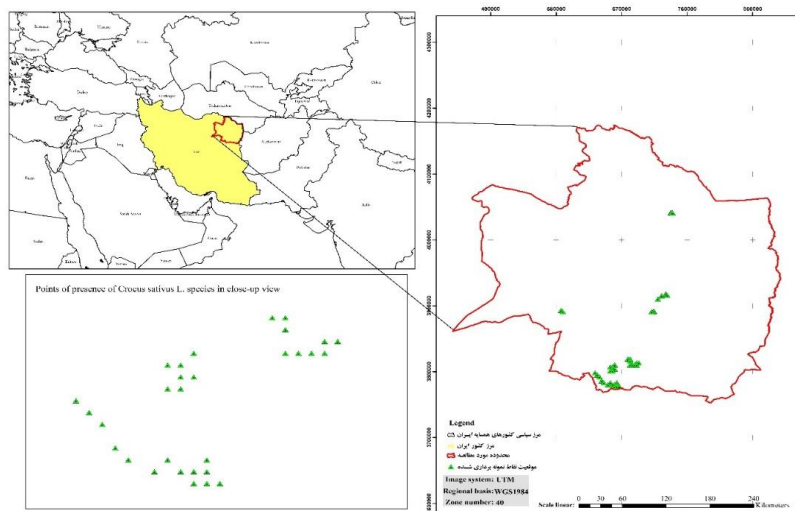
نتایج حاصل از این پژوهش شامل نقشه‌های دقیق و به‌روز و مساحت‌های مناطق بالقوه از مناطق مطلوب کشت زعفران زراعی در استان خراسان رضوی است که به‌عنوان یک ابزار کمکی مفید برای نهادها، سازمان‌های ذی‌ربط و بهره‌برداران در جهت تصمیم‌گیری‌های منطقه‌ای برای کشاورزی و برنامه‌ریزی‌های زراعی در این استان به کار گرفته می‌شود. جلوگیری از تخریب عرصه‌های طبیعی که فاقد پتانسیل لازم برای کشت زعفران است نیز از مزایای استفاده از این روش‌ها است. بااطلاع از مناطق مستعد برای کشت زعفران، نهادها و سازمان‌های زیربنایی می‌توانند سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه را بر اساس داده‌های علمی و معتبر ارائه دهند. همچنین، این پژوهش می‌تواند در ارتقای بهره‌وری و بهبود تولید زعفران در مناطق مختلف استان مؤثر باشد. بهره‌برداران زعفران هم با دسترسی به اطلاعات محیطی و اقلیمی دقیق‌تر، می‌توانند تصمیماتی هوشمندانه‌تر در مورد انتخاب مکان‌های کشت، زمان‌بندی کاشت و مدیریت بهتر

طبیعی خراسان تهیه شدند. از آنجایی که همه‌ی لایه‌های اطلاعات ورودی مدل باید زمین مرجع، سیستم مختصات و مقیاس یکسان داشته باشند آماده‌سازی و پردازش اولیه لایه‌های اطلاعاتی با بهره‌گیری از نرم‌افزار Idrisi Selva انجام شد و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی و همسان‌سازی لایه‌ها با اندازه پیکسل ۱۰۰۰\*۱۰۰۰ متر در نرم‌افزار Idrisi Selva با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (۰/۸)، متغیرهایی که دارای همبستگی ۸۰ و کمتر از ۸۰ درصد بودند (Momeni Damaneh et al., 2023; Damaneh et al., 2022)، انتخاب شدند (شکل ۲) و در نهایت برای گونه *C. sativus L.*، ۱۵ پارامتر محیطی به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی برگزیده شدند (شکل ۲- الف، ب، ج) و با فرمت Grid به همراه نقاط حضور گونه مورد نظر برای انجام مدل‌سازی در نرم‌افزار R فراخوانی شد. سپس با استفاده از مدل‌های بسته بایومد ۲ که شامل مدل‌های GLM، GBM، CTA، ANN، SRE، FDA، MARS، RF و MaxEnt در تعیین روابط بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی در شرق و شمال شرق ایران در زمان حال پیش‌بینی گردید. ارزیابی صحت مدل‌ها با استفاده از مقادیر شاخص‌های TSS، KAPPA و ROC که شاخص‌های مطرح و پرکاربرد در مورد تعیین و شناسایی مناطق هم‌پتانسیل‌اند مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. لازم به ذکر است آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی توسط نرم‌افزار Idrisi Selva صورت گرفته است (جدول ۱).

زمانی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ از مناطق معرفی شده صورت پذیرفت؛ که در مجموع ۵۹ نقطه حضور برای گونه *C. sativus L.* ثبت گردید (شکل ۱). نقاط حضور در نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری پیاده‌سازی شد. سپس به‌منظور جلوگیری از خودهمبستگی مکانی و کاهش خطای نمونه‌برداری از هر منطقه زراعی یک نقطه حضور به دست آمد که پس از ورود نقاط به نرم‌افزار، در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه مورد استفاده قرار گرفت (Momeni Damaneh et al., 2022).

### تعیین متغیرهای محیطی

با بررسی مطالعات انجام‌شده و با در نظر داشتن نوع گونه‌های مورد بررسی و منابع اطلاعاتی پایه موجود در سطح منطقه تعداد ۲۷ متغیر مهم و مؤثر در پراکنش گونه زعفران شناسایی شد و اقدام به تهیه لایه‌های این متغیرها از منابع مختلف گردید. با استفاده از اطلاعات موجود، ۲۷ متغیر محیطی شامل ۳ متغیر فیزیوگرافیکی و ۱۹ متغیر اقلیمی (۱۹۵۰-۲۰۰۰)، چهار متغیر خاک‌شناسی و یک متغیر زمین‌شناسی برای تولید مدل در زمان حال در نظر گرفته شد. در این مطالعه، متغیرهای فیزیوگرافیکی و ژئومورفولوژیکی از سایت [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov) تهیه گردید. متغیرهای اقلیمی از بانک داده WorldClim با مقیاس دو و نیم دقیقه تهیه شدند. متغیرهای خاک‌شناسی و زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ به‌ترتیب از سازمان زمین‌شناسی ایران و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه و پراکنش نقاط حضور گونه در استان خراسان رضوی و ایران.  
**Fig 1. The geographical location of the studied area and the distribution of species presence points in the east and northeast of Iran.**

جدول ۱. فهرست متغیرهای پیش‌بینی مورد استفاده در مدل‌سازی زیستگاه گونه زعفران زراعی.

Table 1. The environmental predictors considered to model the habitat of *C. sativus L.*

متغیرهای Bioclimatic	پارامتر اقلیمی لاتین	پارامتر اقلیمی فارسی	روابط (۱ الی ۱۵)
BIO1	Annual Mean Temperature (°C)	دمای متوسط سالانه	$\frac{T_{mean1} + T_{mean2} + \dots + T_{mean12}}{12}$
BIO2	Mean Diurnal Range (°C)	گستره متوسط روزانه دما	$\frac{Range_1(T_{max} - T_{min}) + Range_2 + \dots + Range_{12}}{12}$
BIO3	Isothermality (°C)	هم‌دمایی	$\frac{Mean\ Diurnal\ Range}{Temperature\ Annual\ Range}$
BIO4	Temperature Seasonality (°C)	دمای فصلی	$\sqrt{\frac{\sum T_{meanx} - \bar{T}}{12 - 1}}$
BIO5	Maximum temperature of the warmest month (°C)	دمای بیشینه گرم‌ترین فصل سال	دمای گرم‌ترین ماه
BIO6	Minimum Temperature of the Coldest Month (°C)	دمای کمینه سردترین ماه سال	دمای سردترین ماه
BIO7	Temperature Annual Range (°C)	گستره دمای سالانه	$T^x$ دمای گرم‌ترین ماه - $T^x$ دمای سردترین ماه
BIO8	Mean Temperature of the Wettest Quarter (°C)	دمای متوسط مرطوب‌ترین فصل سال	$\frac{T_{mean1} + T_{mean2} + T_{mean3}}{3}$
BIO9	Mean Temperature of the Driest Quarter (°C)	دمای متوسط خشک‌ترین فصل سال	$\frac{T_{mean1} + T_{mean2} + T_{mean3}}{3}$
BIO10	Mean Temperature of the Warmest Quarter (°C)	دمای متوسط گرم‌ترین فصل سال	$\frac{T_{mean1} + T_{mean2} + T_{mean3}}{3}$
BIO11	Mean Temperature of the Coldest Quarter (°C)	دمای متوسط سردترین فصل سال	$\frac{T_{mean1} + T_{mean2} + T_{mean3}}{3}$
BIO12	Annual Precipitation (mm)	بارندگی سالانه	$\frac{P_1 + P_2 + \dots + P_{12}}{12}$
BIO13	Precipitation of the Wettest Month (mm)	بارندگی مرطوب‌ترین ماه سال	بارندگی مرطوب‌ترین ماه سال
BIO14	Precipitation of the Driest Month (mm)	بارندگی خشک‌ترین ماه سال	بارندگی خشک‌ترین ماه سال
BIO15	Precipitation Seasonality (mm)	بارندگی فصلی	$\sqrt{\frac{\sum P_x - \bar{P}}{12 - 1}}$
BIO16	Precipitation of the Wettest Quarter (mm)	بارندگی مرطوب‌ترین فصل سال	$\frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$
BIO17	Precipitation of the Driest Quarter (mm)	بارندگی خشک‌ترین فصل سال	$\frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$
BIO18	Precipitation of the Warmest Quarter (mm)	بارندگی گرم ترین فصل سال	$\frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$



متغیرهای Bioclimatic	پارامتر اقلیمی لاتین	پارامتر اقلیمی فارسی	روابط (۱ الی ۱۵)
BIO19	Precipitation of the Coldest Quarter (mm)	بارندگی سردترین فصل سال	$\frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$
DEM		مدل رقمی ارتفاع	
SLOP		شیب	
ASPECT		جهت شیب	
SOIL HIDRO	گروه‌های هیدرولوژیک خاک		A,B,C,D
SOILLAND	اجزاء واحد اراضی		۴۷ اجزا اراضی به صورت عمده در استان خراسان رضوی موجود است
SOILOSTAN	نوع خاک (شن یا رس)		۵ نوع خاک (بدون خاک، سبک، متوسط، سنگین، خیلی سنگین) در استان خراسان رضوی موجود است
LANDUSE	کاربری اراضی		۲۶ کاربری عمده در استان خراسان رضوی موجود است
GEOLOGY	زمین‌شناسی		۶۲۶ سازند زمین‌شناسی در استان خراسان رضوی موجود است

ادامه جدول ۱

### مدل‌سازی پراکنش گونه

در پژوهش حاضر، برای مدل‌سازی پراکنش گونه زعفران از ده الگوریتم موجود در بسته نرم‌افزاری بایومد (Thuiller et al., 2009) و همچنین به‌منظور تولید نقاط عدم حضور از بسته نرم‌افزاری بایومد استفاده گردید (جدول ۲). در روند مدل‌سازی از ۷۰ درصد نقاط حضور گونه برای تولید مدل‌ها و از ۳۰ درصد نقاط حضور به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها استفاده شد. همچنین برای افزایش دقت مدل‌سازی، تعداد تکرارها ۵ در نظر گرفته شد.

### ارزیابی مدل

صحت مدل‌ها با توجه به انواع مختلف مدل‌ها با استفاده از سه ضریب آماری محاسبه شد. روش اول بررسی میزان ROC است. نمودار مشخصه عملکرد (ROC) روشی گرافیکی است که توانایی یک مدل برای پیش‌بینی نقاط حضور و عدم حضور گونه‌ها را بر اساس متغیرهای محیطی مرتبط ارزیابی می‌کند (Fielding & Bell, 1997).

روش دوم، محاسبه میزان TSS است (رابطه ۱۶) این روش زمانی کاربرد دارد که از مدل‌های حضور و عدم حضور استفاده می‌شود. TSS را می‌توان به‌عنوان شاهدهی برای تفسیر پدیده‌های اکولوژیکی واقعی عنوان کرد. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که میزان ROC با میزان TSS

همبستگی بالایی دارد؛ بنابراین، در مطالعاتی که نتایج آن به‌صورت نقشه حضور و عدم حضور است، TSS می‌تواند جایگزین مناسبی برای ROC باشد (Walther et al., 2002). کاپای کوهن (۱۷) قرارداد را بین دو ارزیاب که هر کدام N مورد را در C طبقه متقابلاً آنحصاری مرتب کرده‌اند اندازه‌گیری می‌کند. اولین استفاده از آمار شبیه به کاپا مربوط به گالتون و اسمیتون است (Smeeton, 1985; Galton, 1892). ROC. Kappa و TSS کمتر از ۰/۵ نشان‌دهنده عملکرد مدل‌سازی نامناسب، بین ۰/۵-۰/۶/۵ تناسب خیلی ضعیف، بین ۰/۶-۰/۷ تناسب ضعیف، بین ۰/۷-۰/۸/۷ تناسب متوسط، بین ۰/۸-۰/۹/۸ تناسب خوب و ۰/۹-۱ نشانگر تناسب بالا (مطلوب) مدل‌سازی است (Yi et al., 2016; Swets, 1988).

در ادامه برای دستیابی به یک نگرش جغرافیایی از مناطقی که دارای شرایط اقلیمی و محیطی مناسب برای گونه مورد مطالعه هستند، نقشه‌های زیستگاه مطلوب به‌صورت گسسته و پیوسته به تصویر کشیده شده است (شکل ۵).

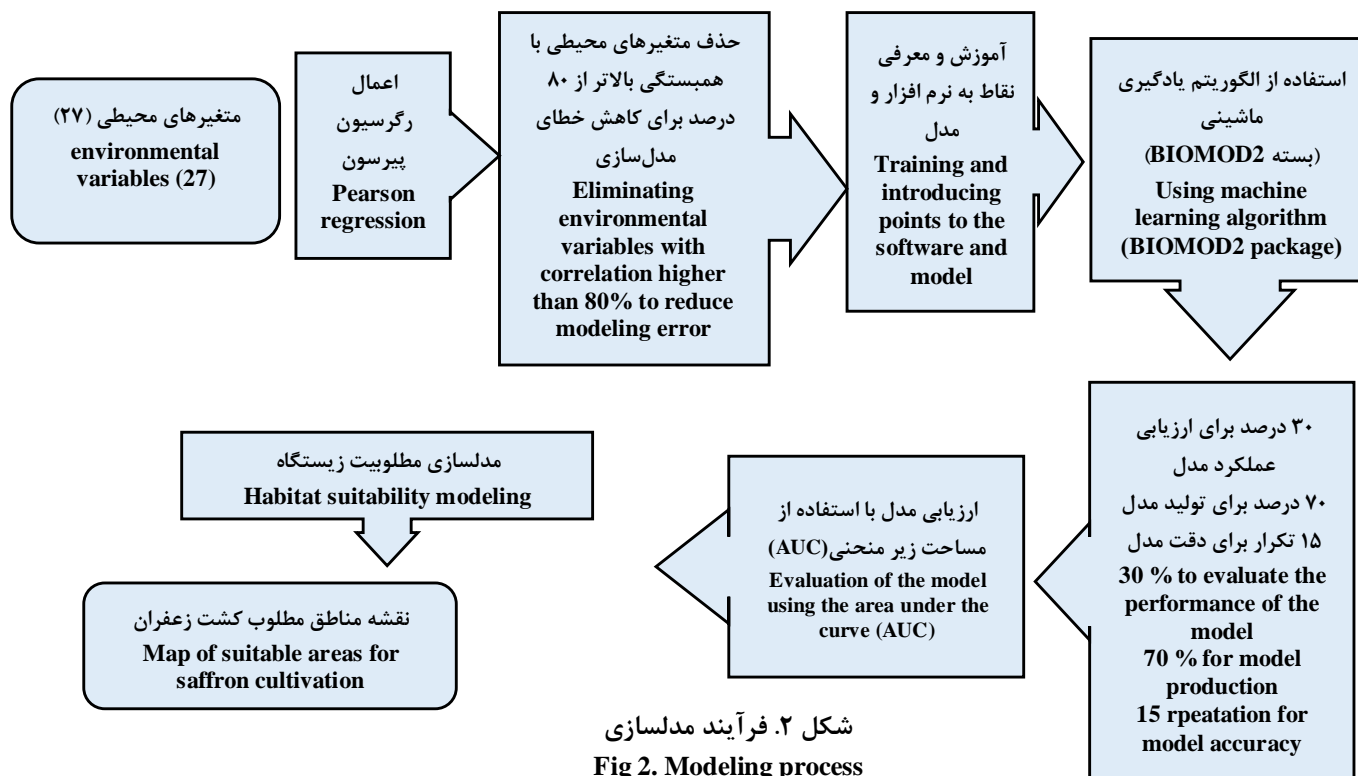
نقشه زیستگاه مطلوب به‌دست‌آمده به‌وسیله مدل‌های مطلوبیت زیستگاه از ۰ تا ۱۰۰۰ بیان می‌شوند. صفر برای کمترین احتمال و ۱۰۰۰ برای بیش‌ترین احتمال است. برای درک بهتر پراکنش، نقشه در نرم‌افزار Arc GIS 10.5 با استفاده از روش Natural Breaks یا الگوریتم

Jenks طبقه‌بندی و به چهار طبقه شامل زیستگاه‌های نامطلوب بین ۰ تا ۲۵۰، زیستگاه با مطلوبیت کم بین ۲۵۰ تا ۵۰۰، زیستگاه با مطلوبیت متوسط بین ۵۰۰ تا ۷۵۰ و زیستگاه‌های مطلوب بین ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ تهیه شد (جدول ۴).

جدول ۲. فهرست مدل‌های استفاده‌شده از بسته نرم‌افزاری بایومد ۲.

Table 2. List of used models from BIOMOD 2 software package.

مخفف Abbreviation	نام کامل Full name
GLM	مدل تعمیم‌یافته خطی Generalized Liner Model
GBM	مدل تقویت‌شده تعمیم‌یافته Generalized Boosting Method
CTA	آنالیز درخت طبقه‌بندی Classification Tree Analysis
ANN	شبکه عصبی مصنوعی Artificial Neural Network
SRE	پاکت دامنه سطحی Surface Range Envelope
FDA	آنالیز تفکیکی انعطاف‌پذیر Flexible Denotative Analysis
MARS	مدل رگرسیون سازشی چندمتغیره Adaptive Regression Spline Multivariate
RF	جنگل تصادفی Random Forest
Ensemble Models	مدلهای اجماعی Ensemble Models
MaxEnt	حداکثر آنتروپی Maximum entropy model



شکل ۲. فرآیند مدل‌سازی  
Fig 2. Modeling process

<sup>2</sup> True- Negative Rate

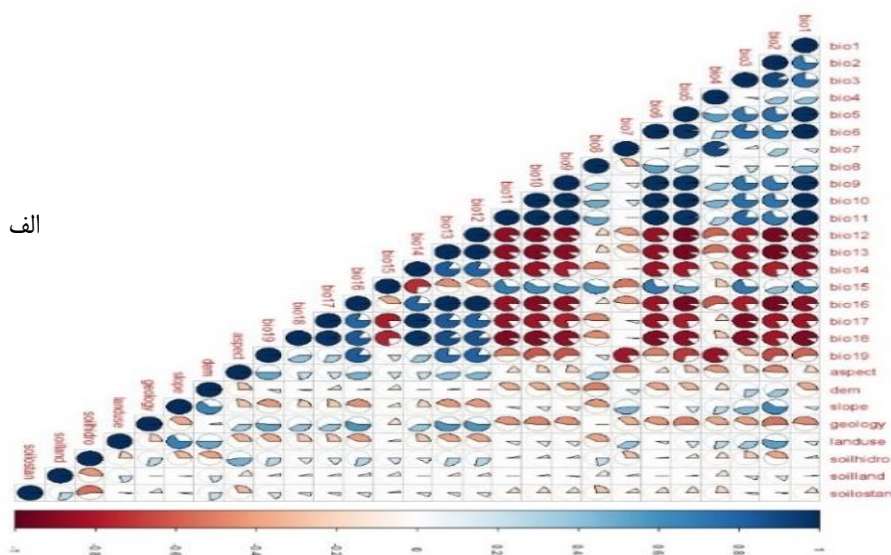
<sup>1</sup> True Positive Rate

### نتایج و بحث

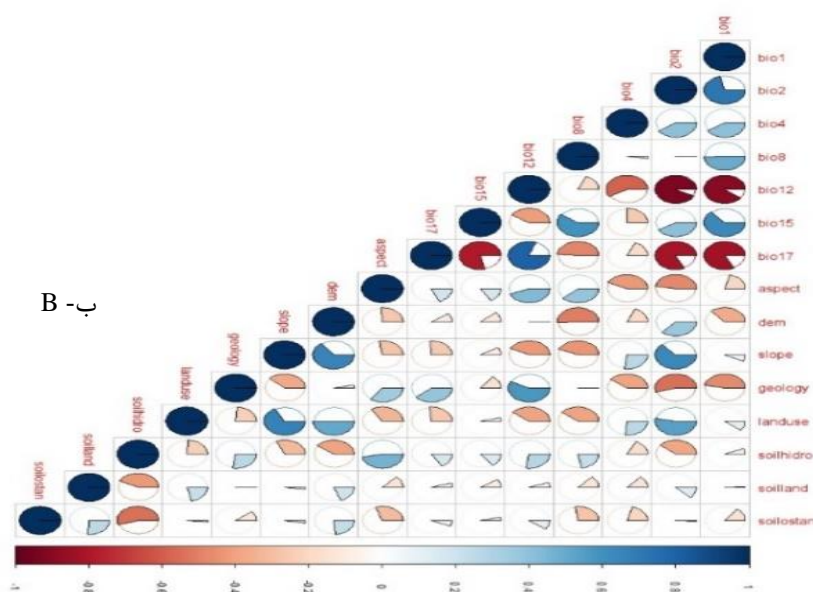
آزمون همبستگی پیرسون برای متغیرها متغیرهای پیش‌بینی با همبستگی ۸۰ درصد (شکل ۳ الف-ب-ج). همبستگی منفی با رنگ قرمز و همبستگی‌های مثبت با رنگ آبی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ کلیه متغیرهای محیطی که کمتر از ۸۰ درصد با یکدیگر همبستگی داشتند برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گیاه زعفران جهت استفاده در مدل‌سازی آماده شدند. مقادیر شاخص KAPPA، TSS و ROC که شاخص‌های مطرح و پر کاربرد در مورد تعیین و شناسایی مناطق هم‌پتانسیل هستند در جدول ۳ ارائه گردیده است که روند مدل‌سازی در اکثر مدل‌های بکار رفته در این

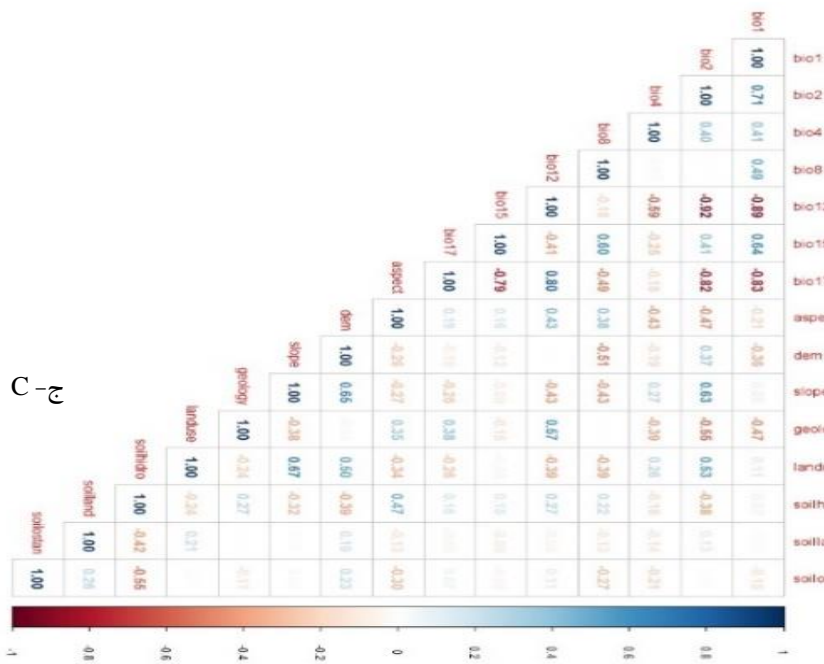
پژوهش، مدل‌ها در سطح تناسب خوب و متوسط اجرا شده‌اند. بررسی مقادیر هر سه شاخص ارزیابی صحت در مدل‌سازی نشان داد که؛ مدل جنگل تصادفی (RF) برای مناطق مستعد کشت زعفران با مقادیر به ترتیب ۸۸/۸ و ۹۸ و ۹۹/۵ درصد و مدل ترکیبی با مقادیر به ترتیب ۹۴/۷ و ۹۸/۹ و ۹۹/۹ درصد برای پارامترهای KAPPA، TSS و ROC بیش‌ترین میزان صحت را داشته‌اند. بنابراین با توجه به نتایج و مقادیر جدول ۳، مدل جنگل تصادفی (RF) و مدل اجماعی (ESMs) برای تعیین مناطق مستعد کشت زعفران به‌عنوان مدل‌های برگزیده، مبنای محاسبات بعدی قرار خواهد گرفت. در مجموع مدل تجمیعی و مدل‌های برگزیده در نهایت ارائه نتایج خواهد شد.

الف - A



ب - B





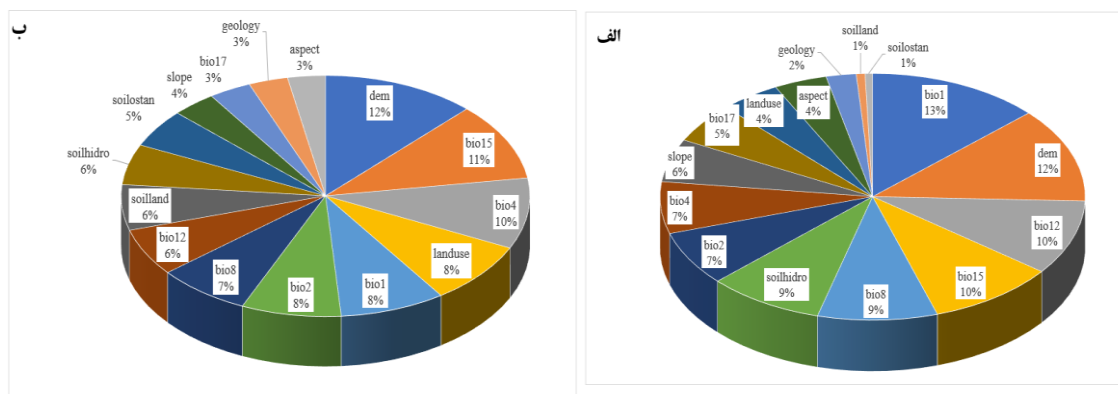
شکل ۳. آزمون همبستگی پیرسون برای متغیرها متغیرهای پیش‌بینی با همبستگی ۸۰ درصد (الف-ب-ج). همبستگی منفی با رنگ قرمز و همبستگی‌های مثبت با رنگ آبی نشان داده شده است. رنگ و اندازه دایره نشان دهنده بزرگی ضرایب همبستگی است.

Fig 3. Pearson's correlations test of the 80 percent predictors (a-b-c). Negative correlations are shown in red, while positive correlations are shown in blue. The intensity of the color and circle's size stand for the magnitude of the correlation coefficients.

جدول ۳. ارزیابی صحت در مدل‌سازی مکان‌های مستعد زعفران.

Table 3. Assessing accuracy in modeling saffron susceptible sites.

ESMs	MAXENT. Phillips	RF	MARS	FDA	SRE	ANN	CTA	GAM	GBM	GLM	پارامتر صحت
0.947	0.720	0.888	0.823	0.787	0.714	0.809	0.803	0.657	0.849	0.818	KAPPA
0.989	0.908	0.980	0.973	0.967	0.807	0.937	0.817	0.940	0.921	0.970	TSS
0.999	0.954	0.995	0.991	0.986	0.903	0.981	0.914	0.970	0.991	0.989	ROC

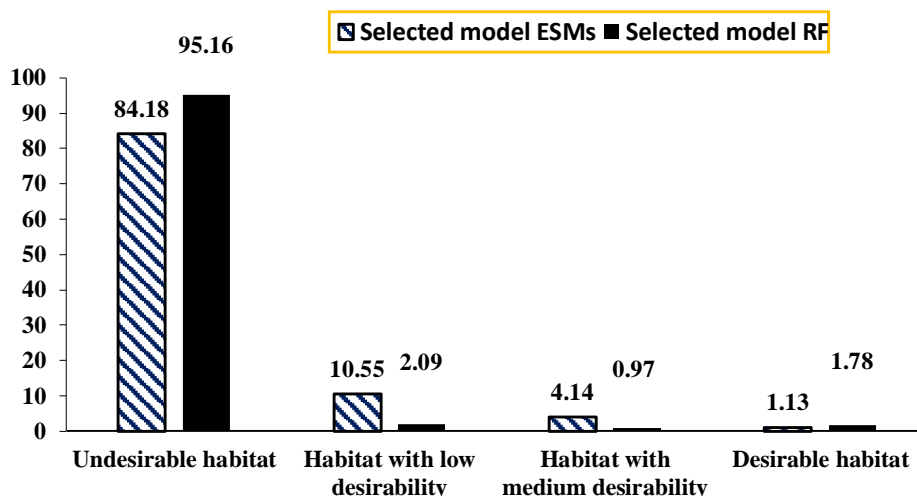


شکل ۴. درصد اهمیت نسبی پارامترهای محیطی اثرگذار در مناطق مستعد کشت زعفران، الف: مدل برگزیده جنگل تصادفی ب: مدل تجمیعی.

Fig 4. The relative importance of environmental variables in the modeling of saffron prone locations. A: Random Forest model. B: Ensemble Model.

کیلومتر مربع معادل ۲/۷۴ تا ۵/۲۸ درصد از مناطق مورد بررسی پتانسیل متوسط تا خوب برای کشت زعفران است که بیش‌ترین توزیع جغرافیایی زعفران را نشان دادند (شکل ۵). در مجموع با توجه به نمودار شکل ۵ می‌توان بیان نمود که سطح منطقه مورد مطالعه در صورت عدم برنامه‌ریزی مناسب و جدی شاهد کاهش کشت زعفران در منطقه خواهیم بود. که این امر باعث افزایش مهاجرت و افزایش بیکاری و از بین رفتن صنایع و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه خواهد شد (سازمان آمار ایران).

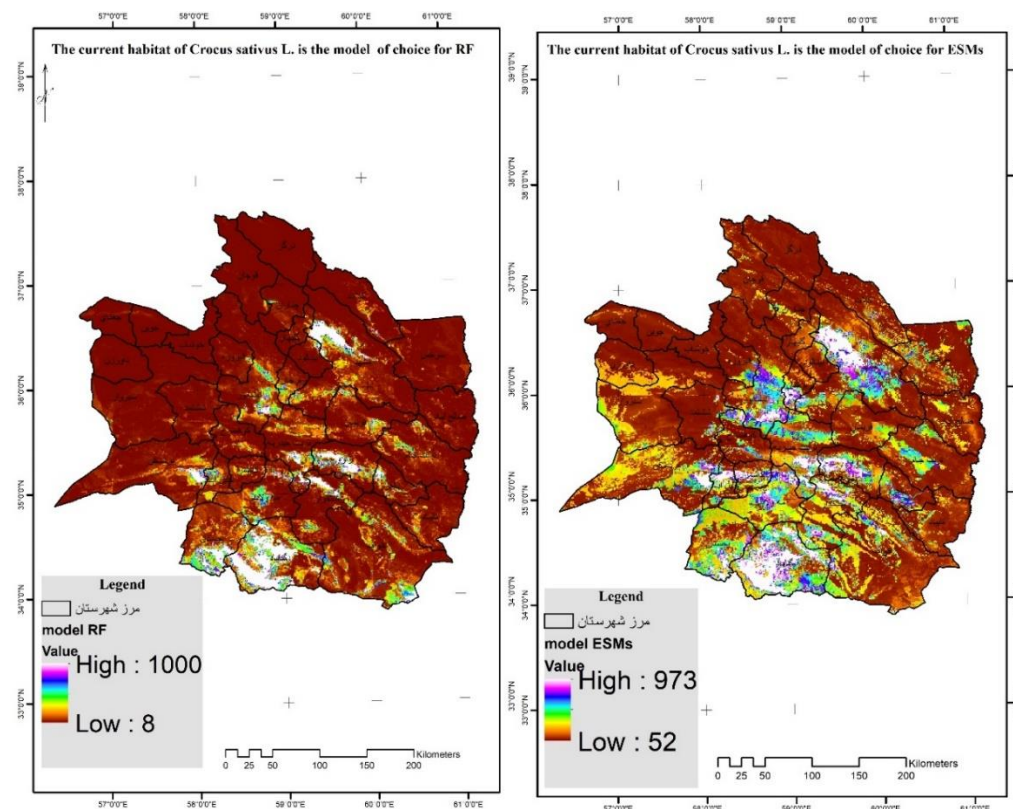
درصد اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در مدل‌سازی پراکنش مناطق مستعد کشت زعفران نشان می‌دهد که مهم‌ترین عوامل محیطی شامل عوامل اقلیمی (BIO1، BIO12، BIO15، BIO8) و بعد پارامترهای فیزیوگرافیکی (ارتفاع از سطح دریا) و در نهایت عوامل خاک‌شناسی اهمیت قابل‌توجهی در پراکنش جغرافیایی زعفران داشتند (شکل ۴ - الف و ب).  
باتوجه به جدول ۴ نتایج این بخش نشان داد در مدل‌های برگزیده RF و ESMS مساحت بین ۳۱۹۵ تا ۶۱۴۴



شکل ۵- نمودار روند تغییرات مساحت مناطق هم‌پتانسیل کشت زعفران در مدل‌سازی خراسان رضوی  
Figure 5- Diagram of the prone areas to saffron cultivation in Razavi Khorasan modeling

جدول ۴- مساحت و درصد مناطق مستعد زعفران در مدل‌سازی استان خراسان رضوی  
Table 4- The area and percentage of saffron prone areas in the modeling of Razavi Khorasan province

Habitat	Selected model ESMS		Selected model RF	
	(Km <sup>2</sup> ) Area	(%) Area	(Km <sup>2</sup> ) Area	(%) Area
زیستگاه	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (%)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (%)
Undesirable habitat	98035	84/18	110848	95/16
زیستگاه با نامناسب				
Habitat with low desirability	12285	10/55	2439	2/09
زیستگاه با تناسب کم				
Habitat with medium desirability	4823	4/14	1124	0/97
زیستگاه با تناسب متوسط				
Desirable habitat	1321	1/13	2071	1/78
زیستگاه مناسب				



شکل ۶. نقشه مطلوبیت کشت زعفران در مدل‌سازی استان خراسان رضوی با مدل RF و ESMS  
**Fig 6. Habitat suitability map of saffron species cultivation in Khorasan-Razavi province modeling with RF & ESMS model.**

نتیجه باتوجه به اینکه مدل‌های ماشین بردار پرکاربردترین مدل در مطالعات توزیع هم‌پتانسیل بالقوه است (Golestaneh et al., 2012) دور از انتظار نبود؛ اما باتوجه به ویژگی‌های خاص منطقه مورد تحقیق و عدم مطالعه توزیع مناطق هم‌پتانسیل کشت زعفران با این وسعت و پارامتر محیطی ضرورت بررسی آن جدی بود. همچنین نتایج نشان می‌دهد در ارزیابی صحت مدل‌های مورد استفاده مدل جنگل تصادفی (RF) برای کشت زعفران با صحت بالا به ترتیب ۸۸/۹ و ۹۸ و ۹۹/۵ درصد به عنوان مدل برگزیده در این پژوهش مبنای محاسبات قرار گرفته است. مومنی و همکاران (Momeni et al., 2022) بیان کردند که مدل جنگل تصادفی یک روش کارآمد برای مدل‌سازی پیش‌بینی است. همچنین یافته‌های این مطالعه نشان داد که عوامل متعددی از جمله پیش‌بینی‌کننده‌های زیست اقلیمی و توپوگرافی، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌ها هستند (Liang et al., 2018; Ghareghan et al., 2020; Momeni et al., 2021; Wang et al., 2021). در میان ۲۷ متغیر

یک الگوریتم<sup>۱</sup> HS مبتنی بر یازده مدل از جمله GLM، FDA، SRE، ANN، CTA، GAM، GBM، RF، MARS و MaxEnt و ESMS برای ارزیابی پیش‌بینی وجود و کیفیت زیستگاه بالقوه *C. sativus L.* توسعه داده شد. این مدل‌ها باتوجه به نتایج ارزیابی شاخص‌های ROC، TSS، KAPPA و برجسته هستند. در بین مدل‌های جداگانه، RF و ESMS بالاترین دقت را داشتند. این نتیجه مطابق با مطالعات قبلی است که مدل RF بهترین عملکرد را در بین سایر روش‌های داده‌کاوی نشان داد و رابطه معناداری بین توزیع گونه‌های گیاهی/جانوری و متغیرهای محیطی داشت (Momeni et al., 2023; Damaneh et al., 2022). بنا بر نتایج تحقیق حاضر، توانایی مدل‌های ماشین بردار برای پیش‌بینی مناطق هم‌پتانسیل کشت زعفران بر اساس مقادیر شاخص‌های صحت TSS، KAPPA و ROC در سطح عالی ارزیابی شده و می‌تواند برای آگاهی از ویژگی‌های محیطی آن کارکرد مؤثری داشته باشد. این

<sup>1</sup> Habitat Suitability



### نتیجه‌گیری

مطابق نتایج به‌دست‌آمده به ترتیب عوامل زیست‌اقليمی، ارتفاع و فاکتورهای خاک‌شناسی بر زیستگاه مطلوب زعفران اثر گذارند؛ هرچند دخالت معنی‌دار در فاکتورهای زیست‌اقليمی از عهده بشر کنونی خارج است؛ اما می‌تواند در مورد ارتفاع و تغییراتی در فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک تصمیم‌گیری کند و اثرگذار باشد؛ علاوه بر این مشخص شده است که مدل‌سازی فردی RF و مدل اجماعی ESM در تعیین توزیع زیستگاه برای گونه‌های مختلف بسیار مؤثر هستند؛ بنابراین استفاده از نتایج مدل‌های مذکور علاوه بر اینکه می‌تواند اطلاعات کلیدی در مورد شرایط مطلوب اکولوژیکی برای زیست‌گونه *C. sativus L.* در منطقه مورد مطالعه فراهم کند که می‌تواند برای محافظت از زیستگاه‌های مستعد از خطرات بالقوه آینده و تأثیرات تغییرات آب و هوایی استفاده شود. با توجه به بحران‌های اقلیمی و آبی‌سالیان اخیر بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک مانند شرق کشور توجه مدیران و برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران حوزه منابع طبیعی به علوم پیشرو در حیطه مدل‌سازی و منابع طبیعی می‌تواند ضمن با مکانیابی و موقعیت‌سنجی مکان‌های مستعد کشت زعفران ضمن ایجاد فضای مناسب برای کشت و بهره‌برداری زعفران بعنوان یک گیاه ارزشمند تجاری می‌توانند به کمتر شدن بحران بیکاری و معضلات اقتصادی و اجتماعی کمک کنند ضمن اینکه بصورت مستقیم و غیر مستقیم از هدر رفت هزینه‌های مربوط به کشت در مناطق نا مساعد جلوگیری کرده و همچنین باعث حفظ منابع طبیعی برای آیندگان خواهند شد. به همین جهت با توجه به شرایط اکولوژیکی گیاه زعفران می‌توان این گیاه را در مناطق مستعد پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها کشت نموده و این امر برای اقتصاد مراکز جمعیتی کوچک بسیار مفید خواهد بود.

انتخاب شده برای ساخت مدل در این مطالعه، میانگین دمای سالانه (1 BIO)، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و بارش سالانه (12 BIO) بیشترین سهم را در اکثر SDM های فردی دارند، که نشان می‌دهد این عوامل ممکن است بیشترین تأثیر را بر تغییرات توزیع مناسب *C. sativus L.* دارند که مطابق با یافته‌های مطالعات قبلی است (Lembrechts et al., 2019; Ye et al., 2022). یک مدل‌ساز باید از تکیه بر یک مدل واحد برای افزایش دقت مدل‌سازی و کاهش تعصب به یک مدل خاص اجتناب کند (Breiner et al., 2015). ما عملکرد پیش‌بینی مدل‌های توزیع گونه‌های گروهی را با مدل‌های فردی مقایسه کردیم. مدل اجماعی (ESM) بهتر از هر مدل فردی عمل کرد. به‌طور خلاصه، ما عملکرد پیش‌بینی مدل‌های گروهی را در مقایسه با مدل‌های فردی با استفاده از مجموعه داده حضور-غیاب آزمایش کردیم و متوجه شدیم که مدل‌های تجمعی بهتر از مدل‌های فردی در بیشتر موقعیت‌ها عمل می‌کنند. کلانتر و همکاران (Kalantar et al., 2020) نشان دادند که دقت و اطمینان ESM به دلیل مشارکت هر مدل در مجموع بهبود یافته است. این موضوع با مطالعات قبلی مطابقت دارد (Hao et al., 2020; Seni Elder, 2010). با این حال، این در تضاد با سایر مطالعاتی است که بیان می‌کنند مدل‌های فردی نیز بهتر از مدل‌های تجمعی عمل می‌کنند (Crimmins et al., 2013). مدل‌های ترکیبی معایب مدل‌های تک را کاهش می‌دهد و مزایای آن‌ها را افزایش می‌دهد (Kalantar et al., 2020). بنابراین، اعتبارسنجی و مقایسه مدل‌های فردی نشان داد که RF بهترین نتایج را ارائه می‌دهد، اما ESMs های دقیق‌تری نسبت به مدل‌های فردی تولید می‌کنند (Breiner et al., 2015).

### منابع

- Bathaie, S. Z., & Mousavi, S. Z. (2010). New applications and mechanisms of action of saffron and its important ingredients. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(8), 761-786.
- Bayat, M., Amir Niya, R., Taj Bakhsh, M., & Tanyvlach, B. (2016). Genetic Diversity of Saffron (*Crocus sativus L.*) using iPBS and SSR Molecular Markers. *Journal of Saffron Research*, 4(1), 103-119. [In Persian].
- Breiner, F. T., Guisan, A., Bergamini, A., & Nobis, M. P. (2015). Overcoming limitations of modelling rare species by using ensembles of small models. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(10), 1210-1218.

- Chase, J. M., & Leibold, M. A. (2009). Ecological niches: linking classical and contemporary approaches. University of Chicago Press.
- Chaves, P. P., Ruokolainen, K., & Tuomisto, H. (2022). Impact of spatial configuration of training data on the performance of Amazonian tree species distribution models. *Forest Ecology and Management*, 504.
- Crimmins, S.M., Dobrowski, S.Z., Mynsberge, A.R. (2013). Evaluating ensemble forecasts of plant species distributions under climate change. *Ecol. Model.* 266, 126–130.
- Damaneh, J. M., Ahmadi, J., Rahmanian, S., Sadeghi, S. M. M., Nasiri, V., & Borz, S. A. (2022). Prediction of wild pistachio ecological niche using machine learning models. *Ecological Informatics*, 72, 101907.
- Damschen, E. I., Haddad, N. M., Orrock, J. L., Tewksbury, J. J., & Levey, D. J. (2006). Corridors increase plant species richness at large scales. *Science*, 313(5791), 1284-1286.
- Dehbashi, M., Rajaei, A., & KardanMoghadam, H. (2022). Locating and recognizing of Saffron Flowers using Image Processing. *Saffron Agronomy and Technology*, 10(3), 227-260. [In Persian].
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 40,677-697.
- Eskandari, M., Zeinadini, a., Navidi, M.N., & Salmanpour, A. (2022). Evaluating topsiis method in prioritizing lands for saffron cultivation. *Journal of water and soil (agricultural sciences and technology)*, 36(2), 237-249. [In Persian].
- Fielding, A. H., & Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental conservation*, 24(1), 38-49.
- Galton, F. (1892). Finger prints (No. 57490-57492). Macmillan and Company.
- Ghanji, M., & Khoshnoudi Far, Z. (2022). Analysis of factors affecting the willingness to accept saffron cultivation (Case study: Farmers of Farahan, Markazi Province). *Saffron promotion magazine*, 3(1), 1-7. [In Persian].
- Ghareghan, F., Ghanbarian, G., Pourghasemi, H. R., & Safaeian, R. (2020). Prediction of habitat suitability of *Morina persica* L. species using artificial intelligence techniques. *Ecological Indicators*, 112,106096.
- Ghodduisi, H. B., Koocheki, A., Varidi, M., & Bolandi, M. (2003). Seventy years of research on saferon (*Crocus sativus* L.) in Iran: a review. *Iranian journal of field crops research*, 1(2), 217-247. [In Persian].
- Golestaneh, S.R., Karampour, F, & Farrar, N. (2012). Introduction of the destructive agents affecting wild almond (*Amygdalus scoparia*) forests in koh-siah dashti area in bushehr province. *Forest and range protection research*, 10(2), 153-164. [In Persian].
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*, 8(9), 993-1009.
- Guo, Y., Li, X., Zhao, Z., Wei, H., Gao, B., & Gu, W. (2017). Prediction of the potential geographic distribution of the ectomycorrhizal mushroom *Tricholoma matsutake* under multiple climate change scenarios. *Scientific reports*,7(1),46221.
- 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. doi: 10.22077/jsr.2021.3487.1134. [In Persian].
- Hao, T., Elith, J., Lahoz-Monfort, J. J., & Guillera-Arroita, G. (2020). Testing whether ensemble modelling is advantageous for maximising predictive performance of species distribution models. *Ecography*, 43(4), 549-558.
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., & Elith, J. (2017). dismo: Species distribution modeling. *R package version*, 1(4), 1-1.
- Kafi, M. (Ed.). (2006). Saffron (*Crocus sativus*): production and processing. Science Publishers.
- Kalantar, B., Ueda, N., Saeidi, V., Ahmadi, K., Halin, A. A., & Shabani, F. (2020). Landslide susceptibility mapping: Machine and ensemble learning based on remote sensing big data. *Remote Sensing*,12(11),1737.
- Kamyabi, S., Habibi nokhandan, M, & Rouhi, A. (2014). Effect of climatic factors affecting saffron using analytic hierarchy process (AHP), (case study roshtkhar region, Iran). *Saffron agronomy and technology*, 2(1), 75-90. [In Persian].
- Kargar, M., Jafarian, Z., Tamartash, R., & Alavi, S. J. (2018). Comparison of non-parametric and parametric species distribution models (SDM) in determining the habitat of dominant rangeland species (case study: Khetteh Riz Rangelands). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25(3). [In Persian].
- Koch, O., de Avila, A. L., Heinen, H., & Albrecht, A. T. (2022). Retreat of Major European Tree Species Distribution under Climate Change—Minor Natives to the Rescue?, *Sustainability*, 14(9),5213.
- Kouzegaran, S., Mousavi Baygi, M., Sanaeinejad, H., & Behdani, M. A. (2013). Identification relevant areas for saffron cultivation according to precipitation and relative humidity in South Khorasan using GIS. *Journal of Saffron Research*, 1(2), 85-96. doi: 10.22077/jsr.2013.436. [In Persian].
- Leibold, M. A., Holyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chase, J. M., Hoopes, M. F., ... & Gonzalez, A. (2004). The



- metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology letters*, 7(7), 601-613.
- Lembrechts, J. J., Lenoir, J., Roth, N., Hattab, T., Milbau, A., Haider, S., ... & Nijs, I. (2019). Comparing temperature data sources for use in species distribution models: From in-situ logging to remote sensing. *Global Ecology and Biogeography*, 28(11), 1578-1596.
- Liang, Y., Duveneck, M. J., Gustafson, E. J., Serra-Diaz, J. M., & Thompson, J. R. (2018). How disturbance, competition, and dispersal interact to prevent tree range boundaries from keeping pace with climate change. *Global Change Biology*, 24(1).
- Momeni Damaneh, J., Esmaeilpour, Y., Gholami, H., & Farashi, A. (2022). Prediction of potential habitats of *Astracantha gossypina* (Fisch.) Using the maximum entropy model in regional scale. *PEC 2022*; 9 (19) :217-236. [In Persian].
- Momeni Damaneh, J., Esmaeilpour, Y., Gholami, H., & Farashi, A. (2021). Properly predict the growth of (*Ferula assa-foetida* L.) in northeastern Iran using the maximum entropy model. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(3), 578-592. [In Persian].
- Momeni Damaneh, J., Tajbakhsh, S. M., Ahmadi, J., & Safdari, A. A. (2022). Comparison of species distribution models in determining the habitat landscape of *Pistacia vera* L. specie in Razavi Khorasan province. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(4), 77-92. [In Persian].
- Momeni Damaneh, J., Tajbakhsh, S. M., Ahmadi, J., & safdari, A. A. (2023). Determining The Areas Prone to The Growth of *Rhume ribes* L. Specie in Razavi Khorasan Province Using Vector Machine Models. *Water and Soil Management and Modelling*, doi: 10.22098/mmws.2023.12726.1276. [In Persian].
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Rahmanian, S., Pourghasemi, H. R., Pouyan, S., & Karami, S. (2021). Habitat potential modelling and mapping of *Teucrium polium* using machine learning techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-21.
- Rahmanian, S., Pouyan, S., Karami, S., & Pourghasemi, H. R. (2022). Predictive habitat suitability models for *Teucrium polium* L. using boosted regression trees. In *Computers in Earth and Environmental Sciences* (pp. 245-254). Elsevier.
- Seni, G., & Elder, J. (2010). Ensemble methods in data mining: improving accuracy through combining predictions. Morgan & Claypool Publishers.
- Shahdost, Z. (2021). Feasibility study of saffron cultivation from farmers' viewpoint in villages of Arsanjan County. *Journal of Saffron Research*, 9(1), 61-78. doi: 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. doi: 10.22077/jsr.2017.626.1024. [In Persian].
- Smeeton, N. C. (1985). Early history of the kappa statistic. *Biometrics*, 41, 795.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369-373.
- Townsend Peterson, A., Papeş, M., & Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 30(4), 550-560.
- Vandermeer, J. H. (1972). Niche theory. *Annual review of Ecology and Systematics*, 3(1), 107-132.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., ... & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389-395.
- Wang, D. J., Wei, H. Y., Zhang, X. H., Fang, Y. Q., & Gu, W. (2021). Habitat suitability modeling based on remote sensing to realize time synchronization of species and environmental variables. *Journal of Plant Ecology*, 14(2), 241-256.
- Wani, I. A., Khan, S., Verma, S., Al-Misned, F. A., Shafik, H. M., & El-Serehy, H. A. (2022). Predicting habitat suitability and niche dynamics of *Dactylorhiza hatagirea* and *Rheum webbianum* in the Himalaya under projected climate change. *Scientific Reports*, 12(1), 13205.
- Ye, X., Zhang, M., Yang, Q., Ye, L., Liu, Y., Zhang, G., ... & Liu, B. (2022). Prediction of suitable distribution of a critically endangered plant *Glyptostrobus pensilis*. *Forests*, 13(2), 257.
- Zare chahouki, M. A., & Abbasi, M. (2018). Habitat prediction model medicinal species of *Rheum ribes* L. with maximum entropy model in chahtorsh rangeland of the Yazd province. *Journal of range and watershed management (Iranian journal of natural resources)*, 71(2), 379-391. [In Persian].

Zare Chahouki, M.A., & Naseri Hesar, N. (2018). Habitat distribution modeling of some plant species using logistic regression in the semi-arid rangelands (Case study: Eshtehard rangelands). *Journal of plant research (Iranian journal of biology)*, 31(1), 93-100. [In Persian].

Zarkami, R., Ahmadi, M., & Abedini, A. (2021). Modelling habitat preferences of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in some wetlands of Guilan province. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 34(2), 449-466. [In Persian].

---

#### COPYRIGHTS

© 2023-2024 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

---

