Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research

DOI: 10.22092/IJMAPR.2026.371940.3607

Vol. 42, No. 3, Page 600-618(2026)

Analysis of effective variables on the suitability of potential habitats for the medicinal plant (*Thymus vulgaris*) in the mountainous rangelands of Al-Qourat, South Khorasan Province

Narjes Hajiabadi[1], Mohammad Saghari[2] and Fatemeh Jahanishakib[3*]

1. Rangeland Science and Engineering, Medicinal and Industrial Plants Orientation, University of Birjand, Iran. 2. Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Iran.
3*. Corresponding author, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Iran, E-mail: jahanishakib@birjand.ac.ir

Received: 04/01/2026 Revised: 08/10/2026 Accepted: 08/10/2026

Abstract

Background and Objectives: Rangelands, as vital renewable resources, face escalating degradation. Cultivating native and medicinal plants constitutes a key restoration strategy that requires precise knowledge of species' ecological niches. Spatial distribution modeling, particularly with Maximum Entropy (MaxEnt), offers a powerful tool for identifying critical environmental factors and predicting potential habitats. This study aimed to model the potential habitat and identify the key environmental factors influencing the distribution of the valuable medicinal plant *Thymus vulgaris* in the mountainous rangelands of Al-Qourat, South Khorasan Province, with implications for its conservation and sustainable use.

Methodology: Species occurrence data (n = 103) were systematically gathered through comprehensive field surveys within the study area. To ensure robust model evaluation, the dataset was partitioned into a training set (n = 72) and an independent validation set (n = 31). A total of 16 environmental predictors, categorized into four distinct groups—topography (elevation, slope, and aspect), climate (mean, maximum, and minimum temperature, and annual precipitation), soil properties (EC, pH, soil depth, gypsum content, organic matter, and sand, silt, and clay fractions), and anthropogenic pressure (distance to roads and villages)—were integrated and processed using Geographic Information Systems (GIS). Habitat suitability was modeled using the Maximum Entropy (MaxEnt) algorithm (version 3.3.3k), employing 10 Bootstrap iterations, 5,000 algorithm runs, and 10,000 background points. Model performance was statistically validated via the Area Under the Receiver Operating Characteristic curve (AUC). Furthermore, the Jackknife test and percent contribution analysis were implemented to quantify relative variable importance, while response curves were generated to delineate the species' optimal tolerance thresholds across environmental gradients. Finally, the predicted habitat suitability was classified into four distinct tiers.

Results: The MaxEnt model demonstrated excellent predictive accuracy (AUC = 0.93). Based on the Jackknife test and percent contribution analysis, elevation was the most significant predictor, accounting for 82.7% of the model's explanatory power. Other influential variables included aspect (4.4%), slope (3.5%), distance to villages (2.5%), maximum temperature (2.3%), and mean temperature (2.0%), whereas distance to roads was the least impactful variable (0.4%). Response curves indicated that species presence probability increases significantly with higher elevations (optimal range: 1970–2326 m), steeper slopes, and greater distances from anthropogenic disturbances (roads and villages). Regarding edaphic requirements, *T. vulgaris* thrives in soils with low salinity (optimal EC ≈ 0.57 dS/m), near-neutral pH (optimal ≈ 7.47), and a sandy loam texture (optimal composition: approximately 56.5% sand, 32.5% silt, and 11–11.5% clay). The resulting suitability map revealed that the highest habitat potential is concentrated in the northern sectors and high-altitude regions of the Al-Qurat rangelands, providing a spatial framework for

Copyright: © 2026 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

the targeted conservation and sustainable management of this medicinal species.
Conclusion: This study confirms that *Thymus vulgaris* in the Al-Quroat rangelands is fully adapted to cold, sloping mountainous environments with well-drained, low-salinity soils. The marked sensitivity of this species' distribution to proximity to roads and human settlements indicates its high vulnerability to overexploitation and anthropogenic habitat degradation. The close agreement of these results with studies on other *Thymus* species in Iran suggests relatively consistent ecological patterns within this genus. The habitat suitability map and identified ecological indicators can serve as a valid document and practical guidance for natural resource managers and planners. It is suggested that effective steps be taken to protect the genetic resources and sustainable productivity of this valuable medicinal plant by implementing temporary protected areas in high-desirability habitats, establishing wise exploitation programs, and promoting domestic cultivation of this species in identified susceptible lands. Conducting similar studies by integrating different models and considering climate change scenarios for future projections of the species' distribution can complement the present study.

Keywords: Plant distribution, Thyme (*Thymus vulgaris*), habitat modeling, rangelands, MaxEnt, ecological requirements

تحلیل متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت رویشگاه‌های بالقوه گیاه دارویی آویشن (*Thymus vulgaris* L.) در مراتع کوهستانی القورات، استان خراسان جنوبی

نرجس حاجی‌آبادی[۱]، محمد ساغری[۲] و فاطمه جهانی‌شکیب[۳*]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی مرتع، گرایش گیاهان دارویی و صنعتی، دانشگاه بیرجند

۲- استادیار، گروه مرتع و آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند

۳*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، پست‌الکترونیک: jahanishakib@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۵/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: مراتع به عنوان یکی از مهمترین منابع طبیعی تجدیدپذیر، نقش حیاتی در پایداری محیط‌زیست و اقتصاد روستایی دارد. این عرصه‌ها در سال‌های اخیر تحت تأثیر فشارهای مختلف، روند تخریبی فزاینده‌ای را تجربه کرده‌اند. احیا و مدیریت پایدار مراتع ازطریق کشت و توسعه گیاهان بومی و دارویی، نیازمند شناخت دقیق نیازهای اکولوژیکی و الگوی پراکنش این گونه‌هاست. مدل‌سازی توزیع مکانی گونه‌ها (SDM)، به‌ویژه با استفاده از الگوریتم بیشینه بی‌نظمی (MaxEnt)، ابزاری مؤثر برای شناسایی عوامل محیطی تعیین‌کننده و پیش‌بینی مناطق مستعد پراکنش محسوب می‌شود. این پژوهش با هدف مدل‌سازی رویشگاه بالقوه و تعیین مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش گیاه دارویی ارزشمند آویشن (*Thymus vulgaris L.*) در مراتع کوهستانی القورات در مجاورت شهر بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، داده‌های حضور گونه (۱۰۳ نقطه) ازطریق پیمایش میدانی جامع در منطقه جمع‌آوری گردید. برای اعتبارسنجی مدل، این داده‌ها به دو مجموعه ۷۲ نقطه برای آموزش (Training) و ۳۱ نقطه برای اعتبارسنجی (Validation) تقسیم شدند. برای تحلیل زیستگاه، مجموعه‌ای از ۱۶ متغیر محیطی پیش‌بینی در چهار گروه اصلی تهیه گردید: گروه توپوگرافی (شامل ارتفاع، شیب و جهت)، گروه اقلیمی (شامل میانگین، حداقل و حداکثر دما و بارش سالانه)، گروه خاک (شامل هدایت الکتریکی، pH، عمق خاک، درصد گچ، ماده آلی، درصد شن، سیلت و رس) و گروه فشار انسانی (شامل فاصله از جاده و روستا). تمامی متغیرها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) رقومی‌سازی و آماده‌سازی شدند. مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم بیشینه بی‌نظمی (MaxEnt) نسخه ۳,۳,۳ انجام شد که در آن از ۱۰ تکرار Bootstrap، حداکثر ۵۰۰۰ تکرار الگوریتم و ۱۰،۰۰۰ نقطه پس‌زمینه استفاده شد. عملکرد مدل با محاسبه سطح زیر منحنی ویژگی عامل دریافت‌کننده (AUC) ارزیابی گردید. همچنین برای تعیین اهمیت نسبی متغیرها از آزمون جک‌نایف و تحلیل سهم درصدی هر متغیر استفاده شد. همچنین، منحنی‌های پاسخ برای تعیین دامنه بهینه و آستانه‌های تحمل گونه نسبت به هر متغیر ترسیم شد. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی مطلوبیت رویشگاه در چهار کلاس تهیه گردید.

نتایج: مدل ارائه‌شده از دقت و قدرت پیش‌بینی عالی برخوردار بود (AUC = 0/93). بر اساس نتایج آزمون جک‌نایف و محاسبه سهم درصدی متغیرها، ارتفاع از سطح دریا با سهم ۸۲/۷ درصد، تأثیرگذارترین متغیر در تعیین پراکنش *T. vulgaris* شناخته شد. پس از آن، متغیرهای جهت (۴/۴٪)، شیب (۵/۵٪)، فاصله از روستا (۲/۵٪)، حداکثر دما (۲/۳٪) و میانگین دما (۲٪) بیشترین نقش را در تعیین مطلوبیت داشتند؛ در حالی که فاصله از جاده با سهم ۰/۴٪، کم‌اثرترین متغیر شناسایی گردید. منحنی‌های پاسخ نشان داد که احتمال حضور گونه با افزایش ارتفاع (دامنه بهینه ۱۹۷۰ تا ۲۳۲۶ متر)، افزایش شیب و افزایش فاصله از کانون‌های انسانی (جاده و روستا) به‌طور معناداری افزایش می‌یابد. این گونه گیاهی خاک‌هایی با شوری کم (حدود ۰/۵۷ دسی‌زیمنس بر متر)، اسیدیته خنثی تا کمی قلیایی (حدود ۷/۴۷) و بافت سبک (شامل ۵۶/۵٪ شن، ۳۲/۵٪ سیلت و حدود ۱۱٪ رس) را برای رشد بهینه ترجیح می‌دهد. بر اساس

نتایج مدل، مناطق دارای بالاترین میزان مطلوبیت رویشگاه، عمدتاً در بخش‌های شمالی و ارتفاعات مرتفع حوزه مورد مطالعه متمرکز شده‌اند که نشان‌دهنده حساسیت بالای این گونه به تغییرات توپوگرافی و شرایط اقلیمی در مراتع القورات است. این یافته‌ها چارچوبی دقیق برای مدیریت و حفاظت از زیستگاه‌های بالقوه آویشن در منطقه فراهم می‌آورد.
نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش مؤید آن است که *Thymus vulgaris* در منطقه مراتع القورات، گونه‌ای کاملاً سازگار با شرایط کوهستانی سرد، شیب‌دار، با خاک‌های زهکش‌شده و فاقد شوری است. حساسیت شدید پراکنش این گونه به فاصله از جاده و سکونتگاه‌های انسانی، آسیب‌پذیری بالا در برابر بهره‌برداری بی‌رویه و تخریب انسانی را آشکار می‌کند. نقشه مطلوبیت رویشگاه و شاخص‌های اکولوژیک شناسایی‌شده، می‌تواند به عنوان سندی معتبر و راهنمایی عملی باشد. استفاده از نقشه پهنه‌بندی تهیه شده در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریت منابع طبیعی منطقه ضروریست. انجام مطالعات مشابه با تلفیق مدل‌های مختلف و در نظر گرفتن طرح‌های تغییر اقلیم برای آینده‌نگاری پراکنش گونه، می‌تواند تکمیل‌کننده این پژوهش باشد.

واژه‌های کلیدی: پراکنش گیاه، آویشن، مدل‌سازی رویشگاه، مراتع، MaxEnt، شرایط اکولوژیک

مقدمه

مراتع از مهم‌ترین منابع تجدیدشونده هستند که علاوه بر حفظ کیفیت محیط‌زیست و تولید گیاهان دارویی و صنعتی، به‌طور پایدار بخش مهمی از تولیدات دامی کشور را تأمین می‌نماید (Mohajer Ghaderabadi *et al*., 2025). شناخت میزان تناسب قدرت بالقوه رویشگاه‌های مرتعی از نظر برنامه‌ریزی‌های مدیریت مراتع و آبخیزها شایسته اهمیت است، بنابراین بررسی رویشگاه‌های بالقوه بسیار الزامیست (Abbasi, 2022). تغییرات اخیر در شرایط آب و هوایی باعث افزایش فشار روی بسیاری از گونه‌های گیاهی مهم شده و آنها را به آستانه انقراض رسانده است، در این راستا توجه به حفاظت گونه‌های گیاهی به موضوع بسیار مهمی تبدیل شده است (Deb *et al*., 2016). محدود شدن رویشگاه‌ها و نزول جمعیت گونه‌های دارویی به دلیل افزایش تخریب و بهره‌برداری غیر اصولی انسان در طبیعت، توجه بسیاری از محققان را به مدل‌سازی رویشگاه‌های گیاهان دارویی در مقیاس بزرگ، جلب و آن را تبدیل به یک کانون تحقیقات جدید کرده است. مرتع منشأ طبیعی و مهم گیاهان دارویی است. آگاهی، حفاظت و نوسازی رویشگاه‌های گیاهان دارویی و صنعتی مراتع، از نظر اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی دارای اعتبار است (Safaei & Sharifi Ashorabadi, 2010). مرتع‌داران با تأکید بر محافظت و استفاده پایدار از این ثروت ملی، در چارچوب راهبرد برنامه‌ریزی استفاده چندمنظوره از مراتع، آشنایی و محاسبه رویشگاه‌های شایسته این گیاهان را به عنوان شایستگی مرتع در دستور کار قرار داده‌اند (Safaeian *et al*., 2009). در بهبود زندگی روزمره مردم محلی تولیدات فرعی مراتع ازجمله گیاهان دارویی به عنوان یک خاستگاه غذایی و درآمد مکمل، نقش اساسی و سهم آشکاری دارد. ازاین‌رو، در برآورد ارزش مرتع، این ارزش‌ها لازم است به عنوان جزئی از ارزش عام محسوب شوند (Yari *et al*., 2019). گیاهان دارویی روییده شده در بستر اکوسیستم‌های مرتعی علاوه بر کاربردشان در بهداشت و سلامت جامعه، دارای کارکردهای مختلفی ازجمله حفاظت خاک، ممانعت از فرسایش، ترسیب کربن و غیره هستند. استقرار و سلامت اکوسیستم‌های طبیعی به تنوع گونه‌های گیاهی وابسته است. ازاین‌رو، انتخاب و آشنایی با عواملی که تنوع گونه‌های گیاهی را سامان‌دهی می‌کنند و بر آن اثر مثبت یا منفی دارند ارزش زیادی در اکولوژی دارد (Heidari *et al*., 2013). آگاهی از پویایی و پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی یک راهبرد مهم برای حفاظت از تنوع زیستی است (Mahmoudi *et al*., 2022). محل رویش گیاهان، بستر اصلی تنوع گونه‌های گیاهی به‌شمار می‌آیند. بنابراین بررسی رویشگاه‌ها یکی از اساسی‌ترین مطالعات در اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود (Mehrabanian *et al*., 2007). ظهور و بروز هر گونه گیاهی تحت تأثیر عوامل محیطی و روابط بین گونه‌ای است. یک یا چند عامل محیطی افزون‌ترین اثر را در

استقرار یک گونه گیاهی دارند. هم اکنون با مدل‌هایی می‌توان این عوامل را معلوم کرده و کنش آن را با متغیرهای محیطی و گونه‌های همراه بررسی نمود. در برنامه‌ریزی مدل‌های محیط‌زیستی و مدیریتی، شناخت رابطه بین عوامل محیطی و پراکندگی گونه‌های گیاهی اثر بسزایی دارد (Austin, 2002؛ Ferrier *et al*., 2002). با اینکه پراکنش جغرافیایی هرگونه تحت تأثیر عواملی مانند قدرت پراکنش، رقابت بین گونه‌ای و آشیان اکولوژیکی آن قرار دارد، مدل‌های پراکنش گونه‌ای عمدتاً بر عوامل محیطی تمرکز دارند (Hirzel *et al*., 2002).

یکی از روش‌های مهم در این زمینه، مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی است که از شاخص‌های مناسب برای ارزیابی مطلوبیت زیستگاه برای یک گونه خاص و تشخیص روابط متغیرهای مختلف محیط‌زیستی استفاده می‌کند (Mahmoudi *et al*., 2022). بر پایه مدل‌سازی، همراه با پیشرفت روش‌های آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تدوین نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی وارد میدان علم بوم‌شناختی گیاهی شده است. الگوهای مطلوبیت زیستگاه، عناصر محیط‌زیستی تأثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه گونه را آشکار و مطلوبیت هر بخش از سرزمین را برای گونه معین می‌کند. دستیابی به مدل‌ها، عموماً بر پایه این نظریه است که عوامل محیطی، پراکندگی پوشش گیاهی را نظارت می‌کنند. نتایج این طرح‌ها کمک بسیاری در معین کردن اولویت‌های حفاظتی و افزایش کارآمد برنامه‌ریزی‌های حفاظتی می‌کند که در قالب نقشه‌های مطلوبیت رویشگاه نشان داده می‌شوند (Guisan & Zimmermann, 2000).

امروزه گیاهان دارویی با توجه به نقش بی‌بدیل آنها در بهداشت، سلامت و اقتصاد، کانون توجه مراکز علمی و پژوهشی جهان هستند. یکی از چالش‌های اصلی در بهره‌برداری پایدار از این منابع، شناخت دقیق الگوی پراکنش جغرافیایی و عوامل مؤثر بر استقرار آنهاست. در این راستا، مدل‌سازی مکانی پراکنش گونه‌ها (SDM) به‌ویژه با استفاده از الگوریتم بیشینه بی‌نظمی (MaxEnt)، به‌عنوان ابزاری قدرتمند و کاربردی برای شناسایی رویشگاه‌های بالقوه، پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی و تدوین راهبردهای مدیریتی ظهور یافته است. بنابراین می‌توان با نگاهی کاربردی و تحلیلی، سیر تکامل و دستاوردهای مطالعات داخلی و خارجی در این حوزه را مرور کرد تا چارچوب و ضرورت این پژوهش را تبیین نماید. مطالعات اولیه مانند تحقیق بر روی آویشن (Zare Chahouki & Abbasi, 2015) و آنغوزه (Poushidehro, 2017) بر تعیین مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی (مانند بارش سالیانه و دما) و توپوگرافی (شیب) در مقیاس استانی متمرکز بوده‌اند و کارایی نسبی بالایی را در تعیین رویشگاه‌های مطلوب نشان داده‌اند. به‌تدریج، دامنه متغیرهای وارد شده به مدل گسترش یافت تا اینکه مطالعاتی مانند تحقیق روی وشا (Zare, 2021) و آویشن کوهی (Ghaffari *et al*., 2021) به‌طور مشخص ویژگی‌های خاک (مانند بافت، مواد آلی، پتاسیم) را به عنوان عوامل تعیین‌کننده مکمل عوامل اقلیمی معرفی نمودند.

همچنین، تنوع گونه‌های مورد مطالعه از درختان مانند سرخدار (Sarhangzadeh & Elmi, 2020) تا گیاهان علفی مرتعی مانند گون (Momeni Damaneh *et al*., 2021) گسترده شد. حتی روند اخیر در تحقیقات داخلی، بر پیش‌بینی آینده پراکنش گونه‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم متمرکز شده است. مطالعات روی گل گاوزبان ایرانی (Khajouei Nasab *et al*., 2021) و سنبل‌الطیب (Shabani *et al*., 2023) به وضوح نشان می‌دهند که رویشگاه‌های مطلوب بسیاری از گیاهان دارویی در دهه‌های آینده کاهش چشمگیری خواهد یافت و پراکنش آنها به عرض‌های جغرافیایی بالاتر یا ارتفاعات بیشتر منتقل می‌شود. این یافته‌های هشداردهنده، لزوم اقدام فوری را برای حفاظت و اهلی‌سازی آشکار می‌کند.

مطالعاتی مانند تحقیق بر روی زیره سیاه (Abbasi *et al*., 2023) به صراحت بر کاربردی‌سازی نتایج برای اهلی‌سازی، کشت و توسعه تجاری این گیاهان تأکید دارند. همچنین محققان در پژوهشی پیش‌بینی کردند که تغییر اقلیم، *Achillea eriophora* را به عنوان یک گونه دارویی اندمیک ایران، به سمت ارتفاعات بالاتر و عرض‌های شمالی سوق خواهد داد، هرچند کاهش معنی‌دار رویشگاه در محدوده فعلی آن پیش‌بینی می‌شود (Noedoost *et al*., 2024). به‌تازگی،

مطالعه‌ای بر روی گونه دارویی *Astragalus adscendens* در استان لرستان تأیید کرد که بارندگی زمستانه و شیب، عوامل غالب در کنترل پراکنش این گونه در مراتع کوهستانی هستند و شرایط بهینه در ارتفاعات ۲۴۰۰ تا ۲۷۰۰ متر و شیب‌های ۳۰ تا ۴۰ درصد مشاهده می‌شود (Sadeghi & Matinfar. 2025).

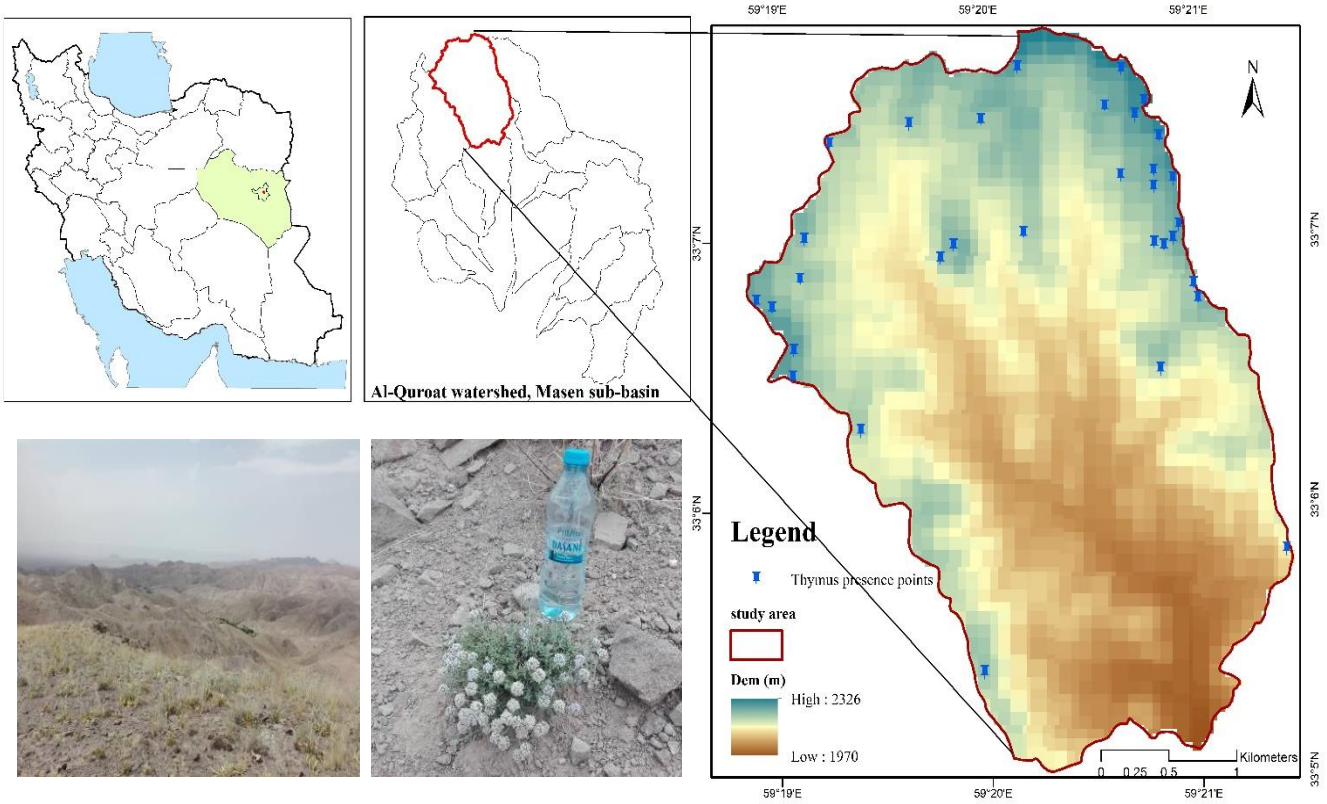
مطالعات بین‌المللی نیز مسیر مشابهی را با تأکید بیشتر بر حفاظت از گونه‌های در معرض تهدید و تحلیل در مقیاس‌های وسیع طی کرده‌اند. پژوهش‌ها روی گونه‌های درخطر انقراض مانند *Homonoia riparia* در چین (Yi *et al*., 2016) و *Lilium polyphyllum* در هیمالیا (Dhyani *et al*., 2021) نشان داده‌اند که مدل‌سازی مکانی می‌تواند زیستگاه‌های باقیمانده و بالقوه را برای اجرای برنامه‌های نجات و احیا شناسایی کند. مطالعاتی که با پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در مقیاس قاره‌ای انجام شده، مانند پژوهش بر روی گلرنگ (Wei *et al*., 2018) و خردل غده‌ای (Li *et al*., 2019) در چین، تغییرات مکانی گسترده و جابه‌جایی کانون‌های پراکنش را تحت طرح‌های مختلف پیش‌بینی کرده‌اند. این نتایج برای تدوین سیاست‌های کلان کشاورزی و حفظ ذخایر ژنتیکی حیاتی هستند. همچنین در تحقیق دیگری (Ali *et al*., 2023)، لایه‌های اطلاعاتی گسترده‌تری مانند شاخص‌های سنجش از دور (NDVI) و تغییرات کاربری اراضی وارد مدل‌سازی رویشگاه *Monotheca buxifolia* شده است. نتایج آن با افزایش دقت در پیش‌بینی‌ها همراه بوده و فشارهای انسانی را به عنوان عاملی مؤثر در کنار عوامل طبیعی آشکار کرده است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که مدل MaxEnt ابزاری کارآمد برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های دارویی در ایران تحت تأثیر عوامل محیطی و تغییر اقلیم است (Hosseini *et al*., 2025؛ Khajoei Nasab & Zeraatkar, 2025). با وجود این پژوهش‌ها، تا کنون مطالعه‌ای در مورد مطلوبیت رویشگاهی آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) در مراتع کوهستانی القورات انجام نشده است.

گیاه آویشن یکی از جنس‌های مهم خانواده نعناع است که دارای حدود ۲۱۵ گونه می‌باشد. این جنس در ایران، ۱۴ گونه گیاه معطر و چندساله دارد. افزون بر ایران، در آناتولی، ماورای قفقاز، قفقاز، عراق، ترکمنستان و تالش نیز می‌روید. بخش‌های مورد استفاده آویشن دربردارنده گل‌ها، برگ‌ها و سرشاخه‌ها است (Honari & Pourabouli, 2018) و دارای ساختار بوته‌ای و چندساله می‌باشد. اسانس آویشن آنتی‌بیوتیک بسیار قوی بوده و مونوترپن‌های موجود در این گیاه نیز دارای اثرهای ضدتشنجی، ضد التهاب و ضدسرفه هستند. مهم‌ترین ترکیبات آویشن تیمول، کارواکرول، پاراسیمن و تیوکاریوفیلن می‌باشد (Asle Mohammadi *et al*., 2021). آویشن محتوی ۰/۸ تا ۲/۶ درصد (معمولاً یک درصد) اسانس که قسمت اعظم آن را فنل‌ها، هیدروکربن‌های مونوترپنی و الکل‌ها تشکیل می‌دهند. جزء اصلی ترکیبات فنلی در گیاه آویشن تیمول است. از اسانس گیاه در نوشیدنی‌ها و صنایع دارویی، بهداشتی و آرایشی و از برگ گیاه آویشن در فراورده‌های غذایی استفاده متنوعی می‌شود. اسانس آویشن ازجمله ده اسانس معروف می‌باشد که جایگاه ویژه‌ای در تجارت جهانی دارد (Naghdi Badi & Makizadeh Tafti, 2003). گیاه آویشن بخوبی به شرایط گرم و خشک سازگاری داشته و به‌طور وسیعی در نواحی نیمه‌خشک پراکنده است. آویشن گیاهی نوردوست بوده و در خاک‌های فقیر و قلیایی قادر به رشد است. نسبت به خشکی مقاوم بوده و تا دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد زیر صفر را تحمل می‌کند. تکثیر در این گیاه به وسیله بذر و قلمه‌های ساقه و ریشه انجام می‌شود و به‌صورت وحشی بر روی صخره‌ها تا ارتفاع ۲۵۰۰ متری از سطح دریا وجود دارد.

این پژوهش با هدف تعیین مطلوبیت مکانی رویشگاه‌های بالقوه گیاه دارویی آویشن (*Thymus vulgaris*) در مراتع کوهستانی القورات انجام شده است. با انجام این تحلیل و استفاده از روش بیشینه بی‌نظمی، نه تنها عوامل اکولوژیک کلیدی برای گیاه دارویی آویشن شناسایی می‌شود، بلکه نقاط حساس مشترک برای حفاظت و مناطق مستعد توسعه کشت تعیین خواهد شد. این خروجی‌ها می‌تواند به عنوان سند علمی معتبری در اختیار مدیران منابع طبیعی، مراکز تحقیقات کشاورزی و سرمایه‌گذاران بخش گیاهان دارویی قرار گیرد تا به سمت مدیریت هوشمند و پایدار این سرمایه‌های ملی حرکت نماید.

مواد و روش‌ها

شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعه و تصویر گونه دارویی آویشن *Thymus Vulgaris* در مراتع القورات در مجاورت شهرستان بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی را نشان می‌دهد. خراسان جنوبی یکی از مهم‌ترین قطب‌های تولید گیاهان دارویی کشور و جهان است. این استان دارای گونه‌های متنوع و با ارزش دارویی فراوان است (Poushidehro, 2017).



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعه (استان خراسان جنوبی، دهستان القورات، حوزه آبخیز القورات، زیرحوزه ماسن) و گونه آویشن

Figure 1. Location of the study area (South Khorasan province, Al-Quroat Rural district, Al-Quroat watershed, Masen sub-basin) and thyme species

جمع‌آوری داده‌های حضور گونه در عملیات میدانی

به منظور مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه گونه آویشن (*Thymus vulgaris*)، داده‌های حضور گونه از طریق پیمایش میدانی در فصل رویشی (خرداد و تیرماه ۱۴۰۳) در سطح کل مراتع کوهستانی القورات جمع‌آوری گردید. روش کار بدین صورت بود که پژوهشگر با پیمایش سیستماتیک در طبقات مختلف ارتفاعی، جهات جغرافیایی و شیب‌های متفاوت، در هر نقطه‌ای که حداقل یک پایه بالغ از گونه آویشن مشاهده شد، مختصات جغرافیایی آن را با دستگاه GPS دستی (مدل Garmin eTrex 30x، با دقت موقعیت‌یابی ۳ متر) ثبت نمود. به منظور جلوگیری از خودهمبستگی فضایی (Spatial autocorrelation) و کاهش خطر بیش‌برازش (Overfitting) مدل، رعایت فاصله منطقی در نظر گرفته شد. همچنین با طراحی مسیرهای پیمایشی از نقاط مختلف محدوده (شمال، جنوب، شرق و غرب)، تلاش گردید نقاط حضور به صورت نسبتاً یکنواخت در سراسر منطقه پراکنده شوند. در

مجموع، ۱۰۳ نقطه حضور ثبت گردید که پراکندگی مکانی گونه آویشن (*Thymus vulgaris*) را در شکل ۱ نشان داده است. یادآوری می‌شود که مدل MaxEnt یک مدل مبتنی بر حضور است و برخلاف مدل‌هایی مانند ENFA، GLM یا GAM، به داده‌های عدم حضور نیاز ندارد. نقاط پس‌زمینه به‌طور تصادفی بوسیله نرم‌افزار از کل منطقه مطالعه انتخاب می‌شوند. ازاین‌رو، در این پژوهش از ثبت نقاط عدم حضور صرف‌نظر گردید.

متغیرهای محیطی و روش تهیه آنها

متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکندگی گونه دلخواه شامل ویژگی‌های توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع)، بارش، دما و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (بافت خاک، میزان ماده آلی، عناصر خاک، شوری و اسیدیته) مورد مطالعه قرار گرفت. برای تهیه تعدادی از نقشه‌های متغیرها از شیوه‌های درون‌یابی IDW استفاده شد. داده‌های نقشه‌ای متغیرهای اجتماعی- اکولوژیک ازطریق محاسبه فاصله از عوارض جاده‌ها و روستاها آماده‌سازی گردید. متغیرهای ارتفاع، شیب و جهت نیز به کمک مدل رقومی ارتفاعی بدست آمد در شکل ۲ نقشه متغیرهای محیطی برای ۱۶ متغیر آورده شده است. هفت متغیر مربوط به خاک که شامل EC، PH، عمق خاک، درصد رس، درصد شن، درصد سیلت و درصد گچ است و سه متغیر مربوط به شکل زمین که شامل ارتفاع، شیب و جهت است و چهار متغیر مربوط به متغیرهای اقلیمی که شامل میانگین دما، حداقل و حداکثر دما و بارش می‌باشد و دو متغیر مربوط به متغیرهای اجتماعی- اکولوژیک شامل فاصله از روستا و فاصله از جاده است، می‌شود.

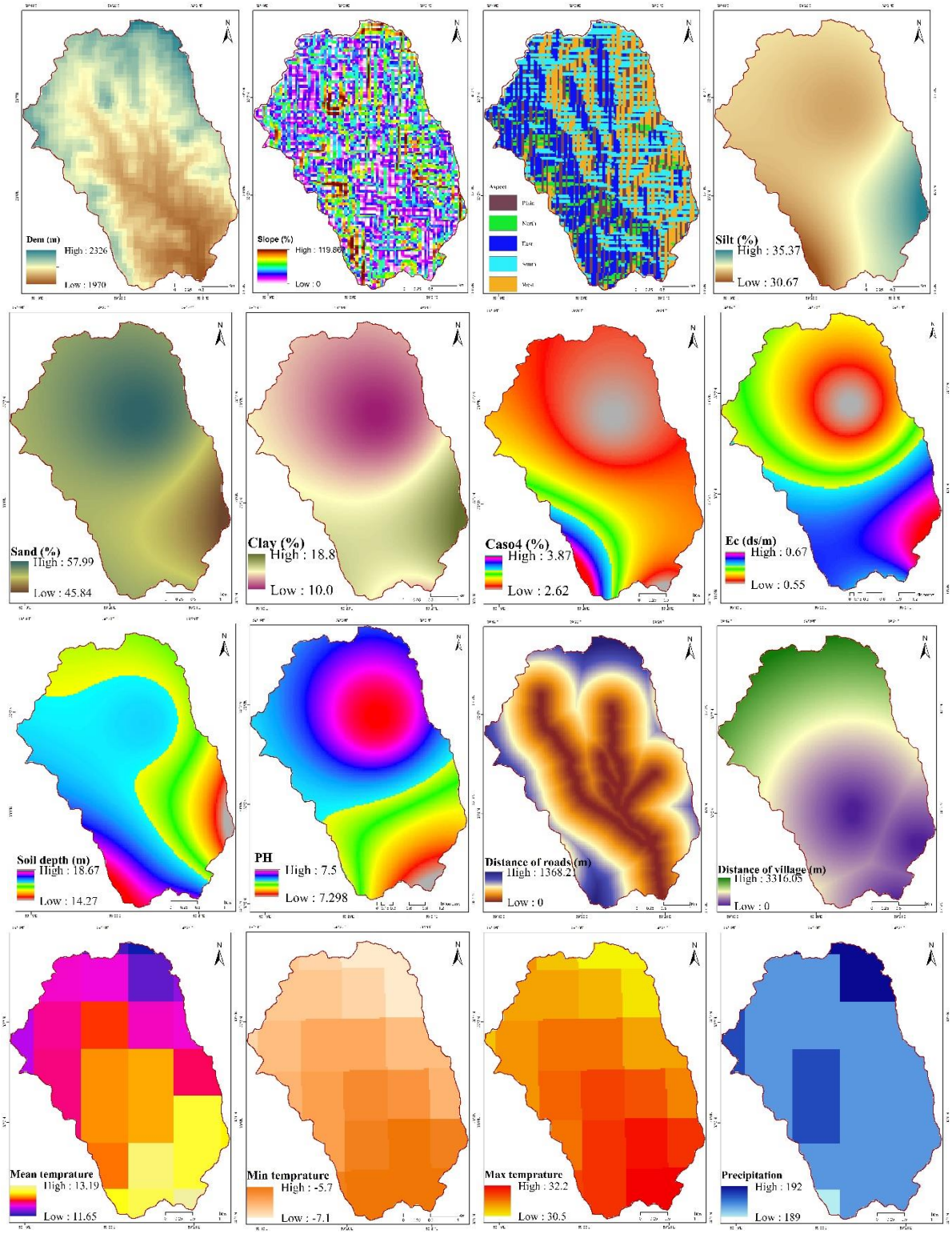
مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه با MaxEnt

مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار MaxEnt نسخه ۳,۳,۳k (Phillips *et al*., 2006) انجام شد. از مجموع ۱۰۳ نقطه حضور، ۷۰ درصد (۷۲ نقطه) به صورت تصادفی برای آموزش مدل و ۳۰ درصد (۳۱ نقطه) برای صحت‌سنجی اختصاص یافت. تنظیمات مدل به صورت پیش‌فرض با اعمال ۱۰ تکرار از نوع Bootstrap و حداکثر ۵۰۰۰ تکرار الگوریتم انتخاب گردید. نقاط پس‌زمینه به تعداد ۱۰،۰۰۰ نقطه به صورت تصادفی بوسیله نرم‌افزار از کل منطقه مطالعه انتخاب شد.

برای تعیین اهمیت نسبی هر متغیر محیطی در پیش‌بینی مدل، از آزمون جک‌نایف (Jackknife) استفاده شد. در این روش، یکبار هر متغیر به تنهایی وارد مدل می‌شود و یکبار نیز مدل بدون آن متغیر اجرا می‌گردد. با مقایسه مقدار بهره (Gain)در حالت‌های مختلف، مشخص می‌شود که هر متغیر چه میزان اطلاعات منحصربه‌فرد به مدل اضافه می‌کند. همچنین نمودارهای پاسخ (Response curves) برای هر متغیر ترسیم گردید که رابطه بین مقدار متغیر و احتمال حضور گونه را نشان می‌دهد.

عملکرد مدل با استفاده از شاخص سطح زیر منحنی (AUC)برگرفته از منحنی ROC (Receiver Operating Characteristic) ارزیابی شد (Fielding & Bell, 1997). مقادیر AUC بین ۰/۵ تا ۰/۷ نشان‌دهنده عملکرد ضعیف، ۰/۷ تا ۰/۸ متوسط، ۰/۸ تا ۰/۹ خوب و بالاتر از ۰/۹ عالی در نظر گرفته می‌شود.

نقشه پیوسته مطلوبیت (با مقادیر ۰ تا ۱) خروجی مدل بیشینه بی‌نظمی، با استفاده از آستانه به چهار طبقه مطلوبیت بسیار کم (۰-۰/۲)، کم (۰/۲-۰/۴)، متوسط (۰/۴-۰/۶) و بالا (۰/۶-۱) تقسیم شد. نقشه نهایی، رویشگاه‌های بالقوه گیاه دارویی آویشن را در منطقه القورات نشان می‌دهد که می‌تواند در برنامه‌های حفاظت و احیا مراتع مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

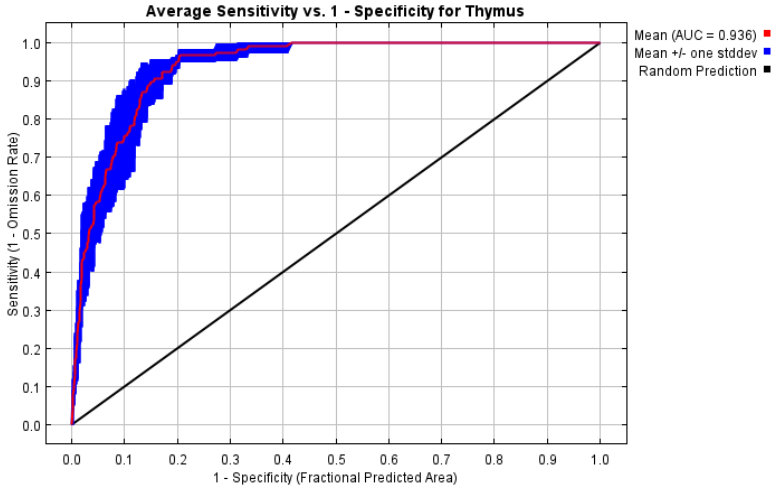


شکل ۲- نقشه متغیرهای محیط‌زیستی منطقه مورد مطالعه (استان خراسان جنوبی، دهستان القورات، حوزه آبخیز القورات، زیرحوزه ماسن)

Figure 2. Map of environmental variables of the study area (South Khorasan province, Al-Quroat Rural district, Al-Quroat watershed, Masen sub-basin)

نتایج

براساس نتایج تحقیق، مقدار AUC مدل MaxEnt برای شبیه‌سازی رویشگاه گیاه دارویی مرتعی آویشن ۰/۹۳ بدست آمد. این مقدار به‌طور قابل توجهی بالاتر از مقدار AUC پیش‌بینی تصادفی (۰/۵) بود که حکایت از نتایج پیش‌بینی عالی و قابل اعتمادبودن نتایج مدل MaxEnt برای شبیه‌سازی پراکنش رویشگاه‌های بالقوه گیاه دارویی *Thymus Vulgaris* در منطقه مورد مطالعه دارد. در شکل ۳ منحنی ROC و میانگین AUC مدل برای پراکنش آویشن در مراتع کوهستانی القورات نشان داده شده است.

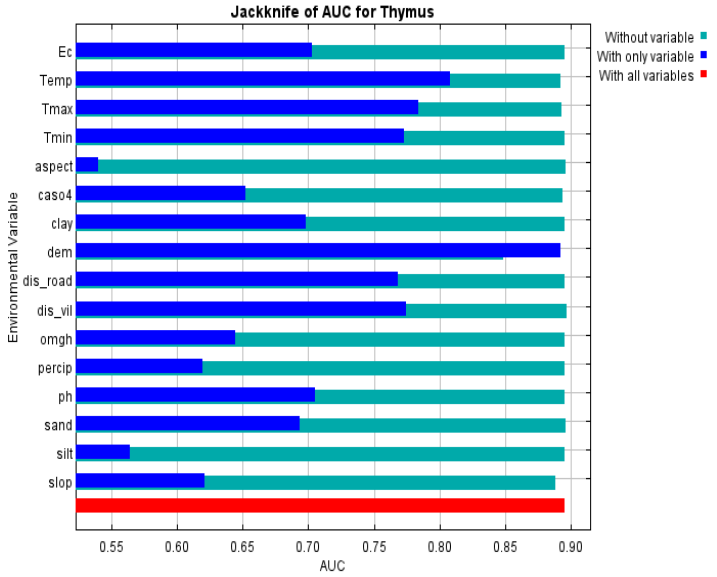


شکل ۳- منحنی ویژگی عامل دریافت‌کننده (ROC) و میانگین سطح زیر منحنی (AUC) مدل برای پراکنش آویشن (*Thymus vulgaris* در مراتع کوهستانی القورات)

Figure 3. Receiver operating characteristic (ROC) curve and mean area under the curve (AUC) of the model for *Thymus vulgaris* distribution in Al-Qurat mountain rangelands

همچنین در این تحقیق، متغیرهای پیش‌بینی از طریق انجام آزمون Jackknife موجود در مدل MaxEnt، با هم مقایسه شده و حساس‌ترین آنها شناسایی گردید (شکل ۴). متغیر ارتفاع حاوی بیشترین AUC بود. همچنین نتایج آزمون Jackknife نشان داد که متغیرهای دیگر مانند میانگین درجه حرارت، حداکثر دما، فاصله از روستا، حداقل دما و فاصله از جاده به‌ترتیب دارای بیشترین تأثیر در پیش‌بینی گیاه دارویی *Thymus Vulgaris* هستند؛ به‌عبارتی، در پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه مورد نظر متغیرهای حساس‌تری به‌شمار می‌روند. از آزمون جک‌نایف برای رسیدن به یک برآورد آماری دقیق از اهمیت متغیرها استفاده می‌شود.

منحنی‌های پاسخ مطلوبیت رویشگاه *Thymus Vulgaris* به متغیرهای پیش‌بین در شکل ۵ به تصویر کشیده شده است. منحنی‌های پاسخ نشان‌دهنده اثر متغیرها روی احتمال توزیع گونه هستند و اینکه هر متغیر به چه شیوه‌ای بر پراکنش گونه تأثیرگذار بوده است. منحنی‌ها حکایت از آن دارد که با افزایش میزان ارتفاع، شیب، فاصله از روستا و فاصله از جاده احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد. سایه‌های آبی رنگ اطراف این منحنی نشان‌دهنده تعداد تکرار است و هرچه این سایه‌های آبی قطرش بیشتر باشد نشان‌دهنده عدم قطعیت است و هرچه کمتر قطعیت بیشتر است.



شکل ۴- اهمیت متغیرهای محیطی با استفاده از آزمون جک‌نایف برای مدل پراکنش آویشن (***Thymus vulgaris***) در منطقه القورات

Figure 4. Jackknife test of environmental variable importance for the distribution model of *Thymus vulgaris* in Al-Qurat region

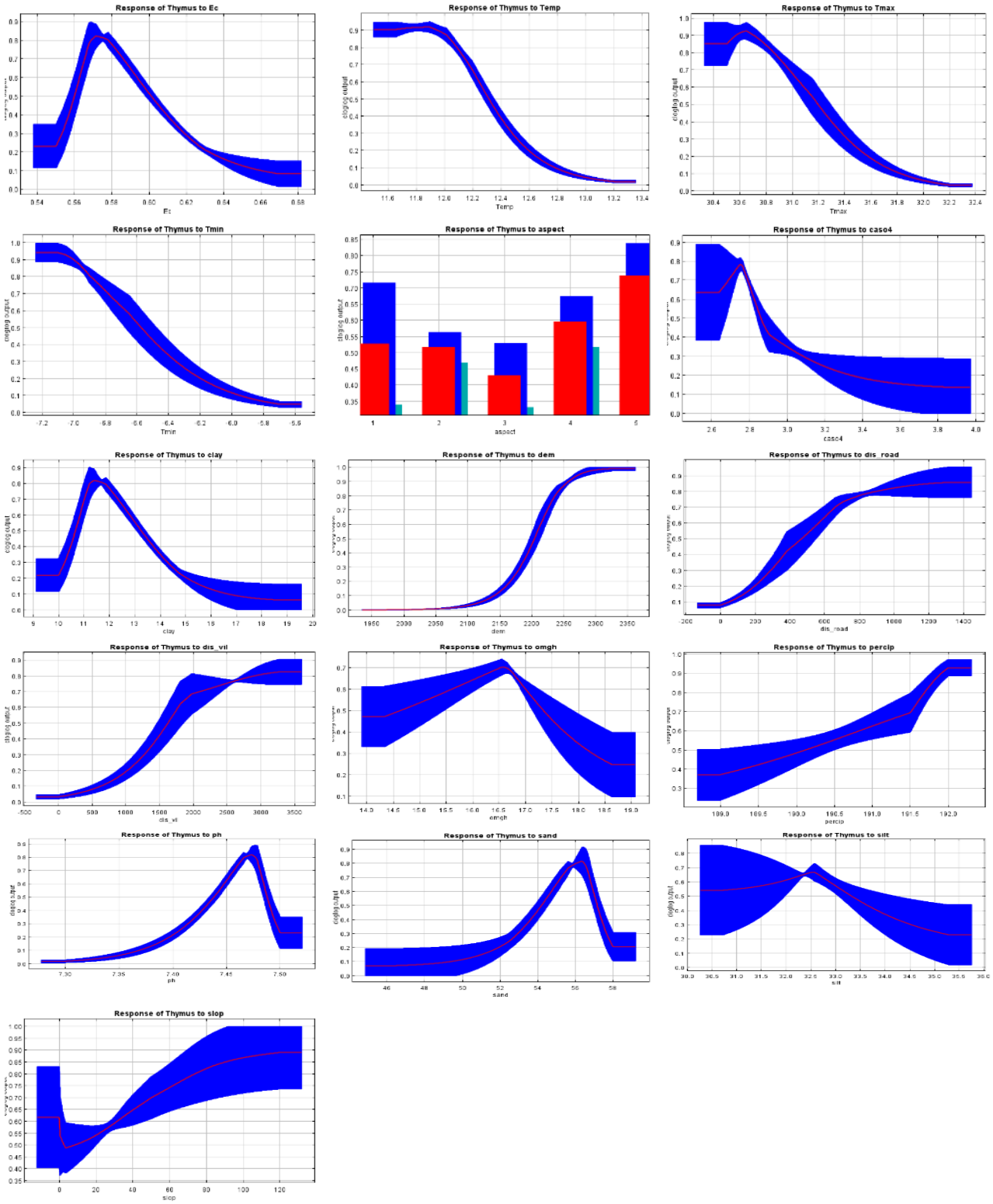
سهم بیشتر، اهمیت بیشتر آن متغیر خاص بر پیش‌بینی وقوع آن گونه است که در اینجا بیشترین سهم پیش‌بینی را در توزیع رویشگاه آویشن ارتفاع با درصد ۸۲/۷ دارد. در جدول ۱ مشارکت متغیرها و سهم هریک در توسعه مدل آورده شده است.

جدول ۱- مشارکت متغیرها و سهم هریک در توسعه مدل

Table 1. Contribution of variables and their share in model development

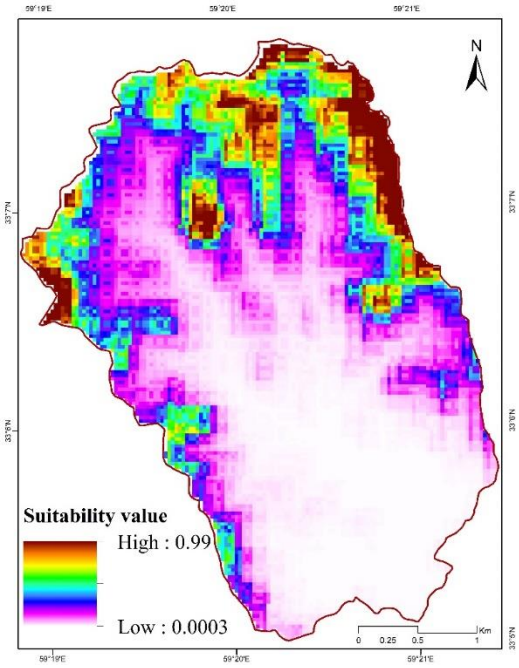
Variable	Distance from road	pH	minimum temperature	Sand	Mean temperature	Maximum temperature	Distance from village	Slope	Aspect	Height
Percentage	0.4	0.5	0.5	0.7	2	2.3	2.5	3.5	4.4	82.7
Variable contribution	0.9	0	1.7	4.2	0.7	1.1	1.2	1.4	1.8	85.9

نمایش مطلوبیت مکانی بالقوه رویشگاه‌های گونه دارویی آویشن در مراتع القورات در کلاس‌های چهارگانه دارای مطلوبیت بالا رنگ آبی، مطلوبیت متوسط رنگ سبز، مطلوبیت کم رنگ زرد و بدون مطلوبیت رنگ قهوه‌ای طبقه‌بندی شد، به‌طوری‌که مقادیر بالای آستانه، بیانگر مناطق مطلوب و مناطق شمال در ارتفاعات میزان پراکنش بالاست و مقادیر پایین و مرکز بیانگر مناطق نامطلوب و پراکنش کم به دلیل اینکه فاصله از روستا کم است و مردم دسترسی و برداشت بیشتری داشته‌اند.



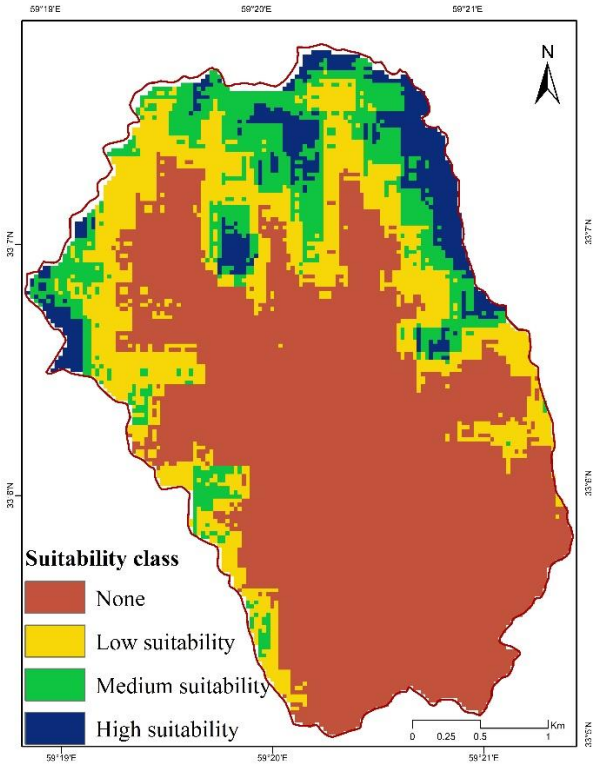
شکل ۵- منحنی‌های پاسخ گونه آویشن (***Thymus vulgaris***) به متغیرهای محیطی در مراتع کوهستانی القورات

Figure 5. Response curves of *Thymus vulgaris* to environmental variables in Al-Qurat mountain rangelands



شکل ۶- مطلوبیت بالقوه رویشگاه‌های گونه دارویی آویشن در مراتع القورات

Figure 6. Potential suitability of *Thymus vulgaris* habitats in Al-Qurat rangelands



شکل ۷- نقشه نهایی پهنه‌بندی شده مطلوبیت رویشگاه آویشن در مراتع القورات

Figure 7. Final zoning map of *Thymus vulgaris* habitat suitability in Al-Qurat rangelands

نتایج حاصل از مدل‌سازی MaxEnt نشان داد که حضور گونه آویشن (*Thymus vulgaris*) در منطقه القورات با تعدادی از متغیرهای محیطی رابطه نزدیک و معنی‌داری دارد. خلاصه دامنه و محدوده مطلوب هریک از متغیرهای مؤثر در جدول (۲) ارائه شده است. به‌طورکلی، الگوی پاسخ گونه به متغیرهای محیطی به سه دسته قابل تقسیم است.

۱- متغیرهای با الگوی بهینه (افزایش تا حد آستانه سپس کاهش): شامل شوری، گچ، رس، سیلت، شن و عمق خاک. در این متغیرها، گونه در یک بازه مشخص بیشترین حضور را دارد و فراتر از آن کاهش می‌یابد.

۲- متغیرهای با الگوی مستقیم (افزایش حضور با افزایش متغیر): شامل ارتفاع، بارندگی، فاصله از جاده و فاصله از روستا. این نتایج نشان می‌دهد که گونه از ارتفاعات پایین‌تر، مناطق نزدیک به جاده و روستا دوری می‌کند. همچنین واکنش گونه در منطقه مطالعه به بارندگی بیشتر، احتمال حضور بالاتر است.

۳- متغیرهای با تحمل حداکثری مشخص: شامل دمای حداقل (۷/۱- درجه سانتی‌گراد) و حداکثر (۳۲/۲ درجه سانتی گراد) که آستانه‌های فیزیولوژیک تحمل گونه را نشان می‌دهند.

جدول ۲- دامنه و محدوده مطلوب متغیرهای محیطی مؤثر بر حضور گونه *Thymus vulgaris* در مراتع القورات

Table 2. Range and optimal limits of environmental variables affecting the presence of *Thymus vulgaris* in Al-Qurat rangelands

Variable	Observed range of presence	Optimal limit (high suitability)
EC (dS.m-1)	0.55 - 0.67	~0.57
Mean temperature (°C)	11.6 - 13.2	~11.6
Maximum temperature (°C)	30.5 -32.2	32.2 (tolerance limit)
Minimum temperature (°C)	(-7.1) – (-5.8)	-7.1 (tolerance limit)
$CaSO_4$ (%)	2.6 - 2.75	~2.75
Distance to village (m)	Absent near villages	3275
Altitude (m)	1970 - 2326	Increasing trend
Distance to road (m)	Minimal near roads	1312
Precipitation (mm)	189 - 192	Increasing trend
pH	7.29 - 7.50	7.47
Sand (%)	46 - 58	56.5
Silt (%)	30.7 - 35.2	32.5
Clay (%)	~10 - 11.5	~11.5
Soil depth (cm)	14.3 - 18.6	16.6
Slope (%)	10 - 90	90

بحث

این مطالعه به بررسی نیازهای اکولوژیکی و پراکنش گونه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) در مراتع القورات پرداخت. نتایج حاصل از تحلیل منحنی‌های پاسخ گونه نشان‌دهنده دامنه‌های بهینه و مرزهای تحمل این گونه نسبت به متغیرهای محیطی است که در ادامه به بحث گذاشته می‌شود.

یافته‌ها نشان داد که حضور *T. vulgaris* در دامنه شوری (EC)۰/۵۵ تا ۰/۶۷ دسی‌زیمنس بر متر قابل مشاهده است، با اوج حضور در حدود ۰/۵۷ دسی‌زیمنس بر متر. این محدوده نسبتاً باریک، نشان‌دهنده حساسیت این گونه به تغییرات شوری است. در مقایسه با سایر گونه‌های آویشن، مطالعاتی مانند تحقیق در استان کردستان (Hasani & Bhernik, 2013)، دامنه وسیع‌تری (۰/۳۱ تا ۰/۸۷ دسی‌زیمنس بر متر) را گزارش کرده‌اند که می‌تواند ناشی از تفاوت در ژنوتیپ‌ها یا شرایط خاص منطقه‌ای باشد. با این حال، همسو با یافته‌های تحقیق روی *Agropyron intermedium* (Abbasi *et al*., 2022)، افزایش شوری فراتر از حد بهینه، تأثیر منفی بر حضور گونه دارد که تأییدکننده نقش محدودکننده شوری است. نتایج Amiri و همکاران (۲۰۱۳) نیز که بر کاهش معنی‌دار رشد ساقه و ریشه *T. vulgaris* تحت تنش شوری دلالت دارد، سازوکار احتمالی این محدودیت را توجیه می‌کند.

میانگین دمای بهینه برای حضور این گونه در منطقه مورد مطالعه حدود ۱۱/۶ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. این نتیجه با یافته‌های تحقیق در استان کردستان (Hasani & Bhernik, 2013) که بیشترین پراکنش گونه‌های آویشن را در محدوده دمایی ۱۰ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد و در اقلیم‌های مدیترانه‌ای فراسرد گزارش کردند، همخوانی نزدیکی دارد. این تطابق نشان می‌دهد که *T. vulgaris* نیز مانند سایر گونه‌های این جنس، به شرایط خنک تا سرد سازگار شده است. از سویی، ارتباط مستقیم و مثبتی بین افزایش ارتفاع و حضور گونه مشاهده شد، به‌طوری‌که پراکنش آن عمدتاً در محدوده ۱۹۷۰ تا ۲۳۲۶ متر از سطح دریا متمرکز بود. این یافته با نتایج بیشتر پژوهش‌های مشابه بر روی گونه‌های مختلف آویشن و گیاهان مرتعی کوهستانی مطابقت دارد. برای نمونه، تحقیقاتی (Zare Chahouki & Abbasi, 2015; Jamshidi *et al*., 2006) بر رویشگاه مطلوب *Thymus kotschyanus* را در ارتفاعات بالای ۲۰۰۰ متر دانسته‌اند که نشان‌دهنده مقاومت این جنس به شرایط سرد ارتفاعات است. مطالعات روی گونه‌های دیگر مانند *Carum carvi* (Abbasi *et al*., 2023) و *Perovskia abrotanoides* (Riazinia *et al*., 2021) نیز بر اهمیت ارتفاع به عنوان یکی از مؤثرترین عوامل تعیین‌کننده پراکنش تأکید دارند. منحنی پاسخ افزایشی گونه به ارتفاع در این تحقیق، مشابه یافته‌های Larti و همکاران (۲۰۱۳) برای *T. kotschyanus* است.

بیشترین حضور گونه در اراضی شیبدار ثبت شد. این نتیجه با گزارش‌های متعددی که شیب‌های تند را برای رویشگاه‌های آویشن ترجیحی می‌دانند، همسو است. به‌طور مشخص، تحقیقات انجام شده (Ghaffari *et al*., 2021; Zare Chahouki & Abbasi, 2015) برای *T. kotschyanus* شیب‌های ۳۵ تا ۵۵ درصد را بهینه گزارش کرده‌اند. این ترجیح می‌تواند ناشی از زهکش بهتر، کاهش رقابت با گونه‌های مهاجم، یا شرایط میکروکلیماتیک خاص این عرصه‌ها باشد. در مورد بارش، منحنی پاسخ گونه نشان داد که حضور *T. vulgaris* با افزایش بارندگی در دامنه ۱۸۹ تا ۱۹۲ میلی‌متر، افزایش می‌یابد. این روند مثبت در تحقیقات دیگر (Shabani *et al*., 2023) روی سنبل‌الطیب و روی آویشن تالشی (Asadi, 2022) نیز مشاهده شده است. اگرچه دامنه بارندگی بهینه در این مطالعه نسبت به برخی گزارش‌ها (مانند ۴۰۰–۵۰۰ میلی‌متر در کردستان توسط Hasani و Bhernik (۲۰۱۳) پایین‌تر است، اما جهت کلی رابطه (مثبت) مشابه است و تفاوت مقادیر می‌تواند بیانگر سازگاری اکوتیپ منطقه‌ای مورد مطالعه با شرایط نیمه‌خشک باشد. با توجه به دامنه تغییرات نسبتاً محدود این متغیر در منطقه مطالعه (بین ۱۸۹ تا ۱۹۲ میلی‌متر در سال)، منحنی پاسخ مدل نشان‌دهنده یک رابطه صعودی بین میزان بارندگی و احتمال حضور گونه است. این یافته حکایت از آن دارد که در این دامنه اقلیمی خاص، گونه با افزایش دریافت رطوبت، استقرار بهتری دارد. با این

حال، از آنجا که مدل فراتر از دامنه داده‌های موجود را تجربه نکرده است، نمی‌توان حکم کلی در مورد ترجیح گونه به بارندگی زیاد یا کم صادر کرد. در عوض، باید نتیجه گرفت که در شرایط بوم‌شناختی مراتع القورات، بارندگی بیشتر (در دامنه ۱۸۹ تا ۱۹۲ میلی‌متر) به عنوان یک عامل مثبت برای حضور گونه عمل می‌کند. این الگو با سازگاری گونه‌های کوهستانی با شرایط مرطوب‌تر در ارتفاعات منطبق است (Khajoei Nasab & Zeraatkar, 2025).

همچنین در مورد فاصله از عوامل انسانی، نتایج حکایت از افزایش حضور گونه با فاصله گرفتن از روستا و جاده داشت. این الگو مطابق با انتظار و نشان‌دهنده حساسیت گونه به تخریب و چرای مفرط در نزدیکی سکونتگاه‌ها و راه‌های دسترسی است. مطالعه‌ای (Ghaffari *et al.*, 2021) نیز سکونتگاه‌های انسانی را به عنوان یک عامل تهدید برای *T. kotschyanus* معرفی کرده‌اند. گونه مورد مطالعه در خاک‌هایی با اسیدیته (pH) خنثی تا کمی قلیایی (۷٫۲۹ تا ۷٫۵) با اوج حضور در ۷٫۴۷ و عمق نسبتاً کم (۱۴٫۳ تا ۱۸٫۶ سانتی‌متر با بهینه ۱۶٫۶ سانتی‌متر) حضور داشت. این نتایج با یافته‌های مطالعه برای *T. carmanicus* (Safaei & Sharifi Ashorabadi, 2010) در خاک‌های کم‌عمق و نیز گزارش برای *T. kotschyanus* (Zare Chahouki & Abbasi, 2015) در خاک‌های با اسیدیته ۷٫۵ تا ۸ همخوانی دارد. اگرچه مطالعه‌ای موجود است که دامنه قلیایی‌تری (۷٫۰۷ تا ۸٫۲) را گزارش کرده‌اند (Hasani & Bhernik, 2013)، اما اشتراک همه مطالعات در تمایل گونه‌های آویشن به خاک‌های با pH خنثی تا قلیایی و اغلب کم‌عمق است. از نظر بافت خاک، بیشترین پراکنش در بافت لوم شنی (۵۶٫۵٪ شن، ۳۲٫۵٪ سیلت، ۱۰–۱۱٫۵٪ رس) مشاهده شد. این بافت سبک با زهکش خوب، مورد تأیید مطالعاتی مانند (Asadi, 2022; Zare Chahouki & Abbasi, 2015) است که بر ترجیح گونه‌های آویشن به بافت‌های سبک (شنی لومی یا با رس کمتر از ۱۵٪) تأکید دارند. همچنین، حضور گچ ($CaSO_4$) در محدوده ۲٫۶ تا ۲٫۷۵ درصد تأثیر مثبت نشان داد که ممکن است مرتبط با بهبود ساختمان خاک یا تأمین کلسیم و گوگرد باشد.

به‌طورکلی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که *Thymus vulgaris L.* در مراتع القورات، گونه‌ای سازگار با ارتفاعات بالا، شیب‌های تند، خاک‌های سبک با زهکش خوب، شوری پایین، دمای خنک و بارندگی محدود است. تطابق قابل‌توجه یافته‌ها با پژوهش‌های انجام‌شده بر روی سایر گونه‌های هم‌جنس (*Thymus spp.*) در نقاط مختلف ایران، حکایت از وجود الگوهای اکولوژیک نسبتاً مشترک در این جنس دارد. با این حال، تفاوت‌های جزئی در دامنه بهینه پارامترها (مانند شوری و بارندگی) احتمالاً ناشی از سازگاری‌های اکوتیپی و شرایط خاص هر رویشگاه می‌باشد. شناسایی این دامنه‌های اکولوژیک، نقشه راه ارزشمندی برای برنامه‌های حفاظت، احیا و کشت گسترده این گیاه دارویی باارزش فراهم می‌کند.

نتیجه‌گیری

مدل MaxEnt توانایی مطلوبی در پیش‌بینی رویشگاه‌های بالقوه *Thymus vulgaris* در مراتع کوهستانی القورات نشان داد. یافته‌ها حکایت از آن دارد که پراکنش این گونه عمدتاً توسط عوامل توپوگرافی (ارتفاع بالای ۱۹۷۰ متر و شیب ۳۰ تا ۴۰ درجه)، ویژگی‌های خاک (بافت سبک، شوری پایین و pHخنثی تا کمی قلیایی) و فاصله از منابع انسانی (بیش از ۱۳۰۰ متر از جاده و ۳۲۰۰ متر از روستا) کنترل می‌شود. این الگو نشان‌دهنده سازگاری گونه با شرایط سرد کوهستانی و حساسیت بالای آن به تخریب‌های انسانی است.

در مجموع، یافته‌های این تحقیق گویای آن است که حفاظت از رویشگاه‌های طبیعی این گیاه دارویی با ارزش، مستلزم توجه ویژه به این عوامل و کنترل بهره‌برداری‌های بی‌رویه، به‌ویژه در عرصه‌های با دسترسی آسان است. براساس نتایج، استفاده از مدل MaxEnt برای شناسایی رویشگاه‌های بالقوه و بررسی نیازهای اکولوژیکی سایر گونه‌های مرتعی (به‌ویژه گیاهان دارویی) در مناطق مختلف جغرافیایی پیشنهاد می‌شود. انجام مطالعات مشابه بر روی این گونه و سایر گونه‌های مهم مرتعی با به‌کارگیری مدل‌های دیگر مانند Generalized Linear Models (GLM)،

Generalized Additive Models یا Random Forest (RF) (GAM)، مقایسه کارایی آن‌ها با مدل Maxent پیشنهاد می‌شود. همچنین در نظر گرفتن طرح‌های تغییر اقلیم برای آینده‌نگاری پراکنش گونه مشابه پژوهش مانند (Hosseini *et al.*, 2025; Khajoei Nasab & Zeraatkar, 2025) طرح‌های تغییر اقلیم (RCPs یا SSPs) می‌تواند کمک شایانی به تدوین نقشه‌های ملی پراکنش و ارزیابی خطر گونه‌های دارویی و مرتعی ارزشمند بکند.

References

- Abbasi, M., Zare Chahouki, M.A. and Bagheri, H., 2022. *Agropyron intermedium* species distribution modeling sites with maximum entropy method species (case study: Rangeland of Taleghan Miany). Journal of Range and Watershed Management, 75(3): 363-376. https://doi.org/10.22059/jrwm.2021.305516.1515
- Abbasi, M., Jafari, M. and Payervand, V., 2023. Investigation of ecological factors affecting the establishment of *Carum carvi* L. and preparation of its habitat suitability map in Alamout Sharghi region. Plant Ecosystem Conservation, 11(22): 1-17. https://pec.gonbad.ac.ir/article-1-843-en.html
- Ali, F., Khan, N., Mahmood Khan, A., Ali, K. and Abbas, F., 2023. Species distribution modelling of *Monotheca buxifolia* (Falc.) A.DC: Present distribution and impacts of potential climate change. Heliyon, 9(2): e13588. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13588
- Amiri, H., Khosravi, V. and Lari Yazdi, H., 2013. Investigating the effect of salinity on physiological and biochemical characteristics of thyme (*Thymus vulgaris* L.). The first national conference on salinity stress in plants and strategies for agricultural development in saline conditions, Iran. https://civilica.com/doc/275498//
- Asadi, M.A., 2022. Investigation of ecological characteristics and rangeland cultivation of the medicinal species *Thymus trautvetteri* (case study: Rangelands of the Gudali Selakh region of Bojnourd). Journal of Plant Ecophysiology, 14(1): 47-61. https://journals.iau.ir/article_699651.html
- Asle Mohammadi, Z., Mohammadkhani, N. and Servati, M., 2021. Effect of iron and zinc foliar application on some biochemical traits of thymus (*Thymus vulgaris* L.) plant under nitrogen deficiency. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 34(3): 576-592. https://plant.ijbio.ir/article_1739.html?lang=en
- Austin, M., 2002. Spatial prediction of species distribution: An interface between ecological theory and statistical modelling. Ecological Modelling, 157(2-3): 101-118. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00205-3
- Deb, P., Choudhury, M.R., Singha, H., Chakdar, B. and Medhi, M., 2016. Predicting the probable distribution and threat of invasive *Mikania micrantha* Kunth. in a protected tropical grassland. Ecological Engineering, 97: 23-31. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.016
- Dhyani, A., Kadaverugu, R., Nautiyal, B.P. and Nautiyal, M.C., 2021. Predicting the potential distribution of a critically endangered medicinal plant *Lilium polyphyllum* in the Indian Western Himalayan region. Regional Environmental Change, 21(2): 30. https://doi.org/10.1007/s10113-021-01755-5
- Ferrier, S., Drielsma, M., Manion, G. and Watson, G., 2002. Extended statistical approaches to modelling spatial pattern in biodiversity in northeast New South Wales. I. Species-level modelling. Biodiversity and Conservation, 11(12): 2279-2307. https://doi.org/10.1023/A:1021302930424
- Fielding, A.H. and 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. https://doi.org/10.1017/S0376892997000088
- Mohajer Ghaderabadi, S., Azimi, M., Piri Sahragard, H. and Riyazinia, V., 2025. Predicting the potential habitat distribution of *Orchis maculata* L. via a maximum entropy model in the eastern rangelands of Golestan province, Journal of Rangeland, 91(3): 283-297. http://rangelandsrm.ir/article-1-1307-fa.html
- Ghaffari, S., Ghorbani, A., Moameri, M., Mostafazadeh, R., Bidarlord, M. and Kakeh Memi, A., 2021. Habitat potential modeling of *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. in the northern of Ardabil Province rangelands. Journal of Rangeland, 15(2): 195-213. http://rangelandsrm.ir/article-1-1032-en.html
- Guisan, A. and Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling, 135(2-3): 147-186. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9
- Hasani, J. and Bhernik, Z., 2013. Ecological requirements of *Thymus* species in different habitats of Kurdistan province. Eco-Phytochemical Journal of Medicinal Plants, 1(3): 22-34. https://sid.ir/paper/247784/en
- Heidari, M., Pourbabaei, H. and Ismailzadeh, O., 2013. The effects of habitat characteristics and human

destructions on understory plant species biodiversity and soil in the Zagros forest ecosystem. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 28(3): 546-561. https://plant.ijbio.ir/article_567.html
- Hirzel, A.H., Hausser, J., Chessel, D. and Perrin, N., 2002. Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? Ecology, 83(7): 2027-2036. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2027:ENFAHT]2.0.CO;2
- Honari, N. and Pourabouli, I., 2018. The effect of hydroalcoholic extract of *Thymus caramanicus* on serum testosterone and testis antioxidant enzyme levels in streptozotocin-induced diabetic rats: An experimental study. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences, 17(11): 1017-1030. https://journal.rums.ac.ir/article-1-4089-fa.html
- Hosseini, N., Mostafavi, H. and Ghorbanpour, M., 2025. Forecasting the future distribution of *Zataria multiflora* in Iran affected by climate change: A MaxEnt approach. Integrated Environmental Assessment and Management, 21(4): 771-783. https://doi: 10.1093/inteam/vjaf043
- Jamshidi, A.M., Aminzadeh, M., Azarnivand, H. and Abedi, M., 2006. Effect of altitude on quality and quantity of essential oil of *Thymus kotschyanus* (Damavand–Tar). Journal of Medicinal Plants, 5(18): 17-22. https://jmp.ir/article-1-667-en.html
- Khajouei Nasab, F., Mehrabian, A.R. and Nemati Parshekoh, A., 2021. Predicting the effect of climate change on the distribution of *Echium amoenum* and *Echium italicum* in Iran. Applied Ecology, 10(4): 1-21. https://doi.org/10.47176/ijae.10.4.12555
- Khajoei Nasab, F.K. and Zeraatkar, A., 2025. Assessing the impact of global warming on the distributions of *Allium stipitatum* and *Kelussia odoratissima* in the Central Zagros using a MaxEnt model. PlOS One, 20(4): https://doi:10.1371/Journal.Pone.0321167
- Larti, M., Ghasempour, S., Sharifi Ashorabadi, E. and Alizadeh, B., 2013. The study of some ecological characteristics of *Thymus kotschyanus* Boiss. and *Thymus pubescens* Boiss. in West Azerbaijan. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 29(2): 412-424. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2865
- Li, H., Liu, X., Wang, J., Xing, L. and Fu, Y., 2019. MaxEnt effects on the potential planting area of tuber mustard in China. The Journal of Agricultural Science, 157(5): 375-381. https://doi.org/10.1017/S0021859619000575
- Mahmoudi, S., Ahmadi, K., Zohrevandi, M. and Karami, A., 2022. Modeling of Iranian oak distribution in the southwest of Iran based on the presence-based approach maximum entropy (MaxEnt). Forest Research and Development, 8(2): 113-131. 20.1001.1.24763551.1401.8.2.1.1
- Mehrabanian, A.R., Abdoli, A., Mostafavi, H., Salman Mahini, A.R., Ahmadzadeh, F. and Ebrahimi, M., 2007. A physiognomical overview of plant habitats in Qom province. Environmental Sciences Journal, 5(1): 81-96. https://envs.sbu.ac.ir/article_94275.html
- Momeni Damaneh, J., Ismailpour, Y., Gholami, H. and Farashi, A., 2021. Prediction of potential habitats of *Astracantha gossypina* (Fisch.) Using the maximum entropy model at the regional scale. Plant Ecosystem Conservation, 9(19): 236-250. http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-737-fa.html
- Naghdi Badi, H.A. and Makizadeh Tafti, M., 2003. Review of common Thyme. Journal of Medicinal Plants, 2(7): 1-12. https://sid.ir/paper/15564/en
- Noedoost, F., Behroozian, M., Karami, S. and Joharchi, M.R., 2024. Potential impacts of climate change on the geographic distribution of *Achillea eriophora* DC., a medicinal species endemic to Iran in southwestern Asia. Ecology and Evolution, 14(4): e11241. https://doi.org/10.1002/ece3.11241
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190(3-4): 231-259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Poushidehro, M., 2017. Evaluation of the habitat of the medicinal plant *Ferula assa-foetida* in South Khorasan province using the maximum entropy modeling method. Master's thesis, University of Natural Resources and Environmental Sciences, Birjand, Iran. https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/76de9f518a479ae24cf7092b9b3ddc96
- Riazinia, V., Azimi, M.S., Sepehri, A., Kariminejad, N. and Campetella, G., 2021. Application of photogrammetric drone method to determine the habitat suitability of *Perovskia abrotanoidse* Karel. using MaxEnt model. Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 36(6): 947-957. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.351825.2862
- Sadeghi, H. and Matinfar, H., 2025. Influence of environmental factors on the distribution pattern of *Astragalus adscendens* in Lorestan province using the MaxEnt model. Physical Geography Research, 57(4): 85-106. https://doi:10.22059/jphgr.2026.406273.1007908
- Safaei, L. and Sharifi Ashorabadi, E., 2010. Ecological study of the medicinal species Kermani thyme (*Thymus carmanicus*) in the Khansar region of Isfahan. National Conference on Medicinal Plants,

Sari, Iran https://civilica.com/doc/342435/
- Safaeian, R., Arzani, H., Azarnivand, H. and Safaeian, N., 2009. Role of medicinal plants in critical rangeland management. Iranian Journal of Natural Resources, 61(3): 513-524. https://journals.ut.ac.ir/article_27899.html
- Sarhangzadeh, J. and Elmi, M.R., 2020. Application of maximum entropy in prediction of common yew (*Taxus baccata* L.) potential habitats in the *Arasbaran biosphere* reserve. Iranian Journal of Forest, 12(3): 359-375. https://www.ijf-isaforestry.ir/article_120292.html)
- Shabani, N., Khoshbakht, M. and Hasani, A., 2023. Predicting the effect of climate change on distribution of valerian (*Valeriana sisymbriifolia*) species using MaxEnt model in Isfahan province. Integrated Watershed Management, 3(2): 80-98. https://sid.ir/paper/1114232/en
- Wei, B., Wang, R., Hou, K., Wang, X. and Wu, W., 2018. Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using Maxent model under climate change in China. Global Ecology and Conservation, 16: e00477. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00477
- Yari, R., Gholami, A. and Rafiei, H., 2019. Identification and determination of the potential of medicinal, industrial, and edible plants in the summer rangelands of Chaharbagh, Golestan province. Rangeland Journal, 13(3): 350-367. 20.1001.1.20080891.1398.13.3.1.6
- Yi, Y.J., Cheng, X., Yang, Z.F. and Zhang, S.H., 2016. Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*Homonoia riparia* Lour.) in Yunnan, China. Ecological Engineering, 92: 260-269. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.010
- Zare Chahouki, M.A. and Abbasi, M., 2015. Habitat suitability modeling for *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. using ecological-niche factor analysis (case study: Rangeland of middle Taleghan). Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 32(4): 561-573. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.107129
- Zare, M., 2021. Spatial distribution prediction modeling of the plant species *Dorema ammoniacum* habitat. Ph.D. thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/6aa967cf7677f3967350e3a3c8f56673