Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas, Volume 6, Issue 24, (2026), 131-146.

Lorestan University

Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas

journal homepage: http://www.gsma.lu.ac.ir
Online ISSN: 2717-2325

Research Paper

Modeling the current distribution of Persian oak (Quercus brantii) in the central Zagros using the MaxEnt model

Mahbubeh Omidi ghaleh Mohammadi[1], Taghi Tavousi[2] ✉, Mahmoud Khosravi[3], Mohsen Hamidianpour[4], Ali Asghar Naghipour[5]

1. Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. Email: omidim444@yahoo.com
2. Corresponding author, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. Email: t.tavousi@gep.usb.ac.ir
3. Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. Email: khosravi@gep.usb.ac.ir
4. Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. Email: mhamidianpour@gep.usb.ac.ir
5. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email: aa.naghipour@sku.ac.irniversitykord

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 02 June 2025;
Received in revised form: 07 August 2025;
Accepted: 08 September 2025
Available online: 01 February 2026

Keywords:
species distribution modeling, bioclimatic variables, geographic distribution, conservation

ABSTRACT

Objective. This study was conducted with the aim of identifying the environmental factors affecting the current distribution of this species and determining the extent of suitable habitat**.**

Method: The Maximum Entropy (MaxEnt) model was applied using 322 presence records collected from four provinces in the study area. Daily climatic data from 20 synoptic stations (2000–2023) were used to derive 19 bioclimatic variables. Physiographic factors (elevation, slope, and aspect) and land use/land cover data were included as predictor variables. Model performance was evaluated using the Area Under the Curve (AUC) index**.**

Results: The model showed high predictive accuracy (AUC = 0.926). Elevation, slope, precipitation of the driest month (Bio14), and temperature seasonality (Bio4) were the most influential variables. Suitable habitats were mainly located at elevations of 1000–2300 m, slopes of 5–27°, northern aspects, and annual precipitation between 400 and 1100 mm. About 11.12% of the area was classified as highly suitable habitat**.**

Conclusions: The results indicate a strong dependence of the Persian oak on semi-humid climatic conditions and specific topographic features

Cite this article: Omidi ghaleh Mohammadi, M., Tavousi, T., Khosravi, M., Hamidianpour, M., Naghipour, A.A. (2026). Modeling the current distribution of Persian oak (Quercus brantii) in the central Zagros using the MaxEnt model. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 6 (24), 131-146. http://doi.org/ 10.22034/gsma.2026.2069960.1119

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Lorestan University.

DOI: http://doi.org/ 10.22034/gsma.2026.2069960.1119

1.Introduction

The Central Zagros mountain range, as one of the most important centers of biodiversity in Iran and part of the Irano-Turanian phytogeographic region, holds a unique position in ecological sustainability and in supporting the livelihoods of local communities. This region, which contains about 5 million hectares of Persian oak (Quercus brantii) forests, is not only important in terms of soil conservation, water cycle regulation, and climate moderation, but also directly and indirectly affects the lives of about 10% of the country's population and more than half of Iran's nomadic communities. However, in recent decades, factors such as land-use change, overexploitation, overgrazing, recurrent wildfires, pest and disease outbreaks, successive droughts, and climate change have caused extensive quantitative and qualitative decline of Persian oak forests. Oak dieback, especially in the Central Zagros, is considered one of the most serious threats to the sustainability of these forests. Since the Persian oak plays a keystone role in these ecosystems, identifying the environmental factors that determine its distribution and delineating suitable habitats is an undeniable necessity for sustainable natural resource management and conservation planning.

2. Methodology

This study aimed to model the current distribution of Persian oak in the Central Zagros and to identify the most important environmental variables affecting its habitat. To this end, the maximum entropy algorithm (MaxEnt), one of the most efficient methods for species distribution modeling based on presence-only data, was employed. The required data included 322 occurrence points of Persian oak across four provinces located in the Central Zagros (Lorestan, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Chaharmahal and Bakhtiari, and Ilam) along with a set of environmental variables. Input variables consisted of 19 bioclimatic (BioClim) variables derived from daily data of 20 synoptic stations during 2000–2023, physiographic factors (elevation, slope, and aspect), and land use/land cover. Station-based data were used instead of simulated data or global datasets such as WorldClim and CHELSA to increase model accuracy in the mountainous and heterogeneous conditions of the region. Model prediction accuracy was evaluated using the Area Under the Curve (AUC) index.

3. Results

The modeling results indicated that the MaxEnt algorithm, with an AUC value of 0.926, exhibited high accuracy and performance in predicting the distribution of Persian oak. Variable contribution analysis revealed that four factors—elevation, slope, precipitation of the driest month (Bio14), and temperature seasonality (Bio4)—played the most significant roles in determining habitat suitability. Response curves showed that the probability of oak presence was highest in the elevation range of 1000 to 2300 meters above sea level. The species was also more frequent on slopes of 5–27 degrees, in north-facing aspects, and in areas with annual precipitation between 400 and 1100 mm. The habitat suitability map demonstrated that only 11.12% of the study area (about 15,038 km²) fell into the suitable habitat class. These areas were mainly concentrated in parts of Lorestan and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces.

4. Discussion

The findings indicate that Persian oak has a strong dependency on semi-humid conditions and specific topographic features. In other words, climatic and topographic constraints are the main determinants of the species' distribution and establishment, and changes in these conditions can profoundly affect the sustainability of oak forests. The role of precipitation, particularly in the driest month, highlights the importance of moisture availability for oak survival and growth. Furthermore, the influence of temperature and its seasonal variability demonstrates the species' sensitivity to thermal fluctuations and potential vulnerability to climate change. Comparison with previous studies shows that both climatic and anthropogenic factors simultaneously affect the dynamics and distribution of oak forests. For instance, Melkian et al. (2020) reported a marked reduction of suitable oak habitats in northern areas, with a shift toward higher elevations. Similarly, Mehri et al. (2024) showed that areas with high topographic diversity have greater capacity to withstand climate change, whereas traditional land use such as livestock grazing exerts additional pressure on oak stands. The present study also emphasizes that only a limited portion of the Central Zagros offers ecologically suitable conditions for Persian oak, and any human-induced pressure can further threaten this already restricted range. The use of station-based climatic data in this study enhanced

prediction accuracy, as global datasets often fail to capture the microclimatic heterogeneity of mountainous regions.

5. Conclusion

This research demonstrated that the distribution of Persian oak in the Central Zagros is strongly influenced by climatic and topographic variables, and that only a small percentage of the region constitutes suitable habitat. These findings reveal the vulnerability of this species to climate change and human pressures, and can serve as a practical tool for identifying priority conservation areas, designing oak forest restoration programs, and managing natural resources sustainably. Given the ongoing trend of forest degradation in the Zagros, ecological modeling based on real data can provide valuable guidance for policymakers and natural resource managers in scientific and evidence-based planning. Therefore, it is recommended that future studies not only strengthen the climatic monitoring network in mountainous regions but also assess the impacts of climate change scenarios on the future distribution of Persian oak, in order to enable the development of adaptive strategies in response to environmental changes.

In the preparation and writing of this article, all authors (first, second, and third) have contributed equally and jointly. All stages of the research, from study design and data collection to analysis of results and final writing of the article, are the result of collaboration and collective agreement of all authors.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

We are very grateful to everyone who assisted us in conducting this research.

Ethical Considerations

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards, with no data fabrication, falsification, or plagiarism.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest

سال ششم، شماره چهارم (پیاپی ۲۴)، زمستان ۱۴۰۴، ۱۴۶-۱۳۱.

مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی
http://www.gsma.lu.ac.ir
شاپای الکترونیکی: ۲۳۲۵-۲۷۱۷

دانشگاه لرستان

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی پراکنش کنونی بلوط ایرانی (Quercus brantii) در زاگرس مرکزی با استفاده از مدل MaxEnt

محبوبه امیدی قلعه محمدی[۱]؛ تقی طاوسی[۲]؛ محمود خسروی[۳]؛ محسن حمیدیان‌پور[۴]؛ علی‌اصغر نقی‌پور برج[۵]

۱.گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: omidim444@yahoo.com

۲.نویسنده مسئول گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: t.tavousi@gep.usb.ac.ir

۳.گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه : khosravi@gep.usb.ac.ir

۴.گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: mhamidianpour@gep.usb.ac.ir

۵.گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه : aa.naghipour@sku.ac.ir

چکیده

هدف: این پژوهش با هدف شناسایی عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش کنونی این گونه و تعیین محدوده زیستگاه‌های مطلوب انجام گرفت.

روش: برای این منظور، از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) و داده‌های واقعی ایستگاهی استفاده شد. داده‌های روزانه ۲۰ ایستگاه سینوپتیک طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ و ۳۲۲ نقطه حضور گونه در محدوده چهار استان واقع در زاگرس مرکزی مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای ورودی شامل ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی، عوامل فیزیوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی) و کاربری/پوشش زمین بودند.

نتایج: نتایج نشان داد که مدل MaxEnt با مقدار AUC برابر با ۰/۹۲۶ از دقت بالایی در پیش‌بینی برخوردار است. متغیرهای ارتفاع، شیب، بارندگی کم‌بارش‌ترین ماه (Bio14) و تغییرات فصلی دما (Bio4) بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت زیستگاه بلوط داشته‌اند. بر اساس منحنی‌های پاسخ، حضور بلوط عمدتاً در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۲۳۰۰ متر، شیب‌های ۵ تا ۲۷ درجه، جهات شمالی و بازه بارندگی سالانه ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ میلی‌متر مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد که تنها ۱۲/۱۱ درصد از مساحت منطقه (حدود ۱۵۰۳۸ کیلومتر مربع) در طبقه زیستگاه مطلوب قرار دارد که بیشترین تمرکز آن در استان‌های لرستان و کهگیلویه‌وبویراحمد است.

نتیجه گیری: نتایج بیانگر وابستگی شدید بلوط ایرانی به شرایط اقلیمی نیمه‌مرطوب و ویژگی‌های توپوگرافی خاص است.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله

دریافت مقاله:
۱۴۰۴/۰۳/۱۲

تاریخ تجدیدنظر
۱۴۰۴/۰۵/۱۶

پذیرش نهایی:
۱۴۰۴/۰۶/۱۷

تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۱۱/۱۲

واژگان کلیدی:
مدلسازی پراکنش گونه‌ای، متغیرهای زیست اقلیمی، پراکنش جغرافیایی، حفاظت.

استناد: امیدی قلعه‌محمدی، محبوبه؛ طاووسی ، تقی؛ خسروی، محمود؛ حمیدیان پور، محسن؛ و نقی‌پور برج، علی‌اصغر(۱۴۰۴). مدل‌سازی پراکنش کنونی بلوط ایرانی (Quercus brantii) در زاگرس مرکزی با استفاده از مدل MaxEnt. *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۶ (۲۴)، ۱۴۶-۱۳۱. http//doi.org/ 10.22034/gsma.2026.2069960.1119

DOI: http//doi.org/ 10.22034/gsma.2026.2069960.1119

ناشر: دانشگاه لرستان.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

کوهستان زاگرس مرکزی یکی از مهم‌ترین کانون‌های تنوع زیستی و از مناطق کلیدی پایداری اکولوژیکی در ایران به شمار می‌رود. این ناحیه، که در محدوده ارتفاعی ۸۳۰ تا ۴۴۱۶ متر از سطح دریا قرار دارد، نقش چشمگیری در حفاظت خاک، تنظیم چرخه آب و تعدیل اقلیم دارد و زیستگاه حدود ۱۰ درصد از جمعیت کشور و بیش از نیمی از عشایر ایران است (Bahmanpour، 2015). جنگل‌های زاگرس با وسعتی نزدیک به پنج میلیون هکتار، از پنج ناحیه رویشی اصلی کشور بوده و گونه‌ی شاخص آن بلوط ایرانی (Quercus brantii) است که سهم عمده‌ای در پایداری زیستی، فرهنگی و اقتصادی منطقه دارد (Moravi-Mohajer، 1990). در دهه‌های اخیر، عواملی نظیر تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری بی‌رویه، چرای مفرط، آتش‌سوزی، بروز آفات و بیماری‌ها، خشکسالی‌های پیاپی و تغییرات اقلیمی موجب زوال گسترده جنگل‌های بلوط در زاگرس شده‌اند (Zolfaghari et al., 2013; Naghipour et al., 2018). همچنین، بررسی‌های اخیر نشان می‌دهد که خشکسالی و گردوغبار از عوامل اصلی تشدیدکننده زوال بلوط در زاگرس مرکزی هستند (Dargahian et al., 2022; Amoozadeh & Abbasi, 2023). برای مدیریت پایدار جنگل‌های زاگرس و حفظ تنوع زیستی، شناخت عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه‌ها و ارزیابی مطلوبیت زیستگاه ضروری است. در این راستا، مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها (Species Distribution Modeling) ابزاری کارآمد محسوب می‌شود که با استفاده از متغیرهای محیطی، توان پیش‌بینی الگوی پراکنش و شناسایی زیستگاه‌های مطلوب را فراهم می‌سازد (Herzl et al., 2002). در میان مدل‌های پراکنش، مدل آنتروپی بیشینه (MaxEnt) یکی از پرکاربردترین و دقیق‌ترین روش‌هاست که بر پایه داده‌های حضور گونه و متغیرهای محیطی عمل می‌کند و کارایی بالایی در نمونه‌های محدود دارد می‌کند (Phillips et al., 2004; Phillips et al., 2006; Townsend & Peterson et al., 2007). مطالعات پیشین به تأثیر چشمگیر عوامل اقلیمی، توپوگرافی و انسانی بر پراکنش بلوط در زاگرس اشاره کرده‌اند. Malekian et al. (2020) نشان دادند که زیستگاه‌های مناسب بلوط ایرانی در شمال زاگرس در سه دهه اخیر کاهش یافته و به ارتفاعات بالاتر منتقل شده‌اند. Mehri et al (2024) نیز تأکید کردند که مناطق دارای تنوع توپوگرافی بالا، مقاومت بیشتری در برابر تغییرات اقلیمی دارند، در حالی‌که چرای سنتی و بهره‌برداری انسانی از عوامل تخریب رویشگاه است. همچنین، پژوهش‌های Haidarian et al. (2017) و Mahmoudvand et al. (2020) نشان داده‌اند که بارش سالانه و میانگین دمای خشک‌ترین فصل بیشترین تأثیر را در تعیین مطلوبیت زیستگاه بلوط دارند. از سوی دیگر، استفاده از داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی‌شده جهانی نظیر WorldClim و CHELSA در مناطق کوهستانی با خطای مکانی همراه است و قادر به نمایش ناهمگنی‌های خرداقلیمی نیستند (Rodríguez, 2024; Bobrowski, 2021; Jiménez Valverde, 2024). در چنین شرایطی، بهره‌گیری از داده‌های واقعی ایستگاه‌های هواشناسی می‌تواند دقت پیش‌بینی را به‌ویژه در مناطق با توپوگرافی پیچیده مانند زاگرس افزایش دهد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف شناسایی متغیرهای اقلیمی و فیزیوگرافی مؤثر بر پراکنش کنونی بلوط ایرانی در زاگرس مرکزی و تعیین محدوده زیستگاه‌های مطلوب با استفاده از مدل MaxEnt انجام شد. نوآوری اصلی این مطالعه، استفاده از داده‌های واقعی ایستگاهی در مقیاس منطقه‌ای است که موجب افزایش دقت مدل‌سازی در مقایسه با داده‌های میان‌یابی‌شده جهانی می‌شود.

۲. روش تحقیق

داده‌های اقلیمی

در این پژوهش، داده‌های اقلیمی روزانه مربوط به ۲۰ ایستگاه سینوپتیک در محدوده زاگرس مرکزی (شهرکرد، کوهرنگ، لردگان، بروجن، بروجرد، خرم‌آباد، الیگودرز، دزفول، شوشتر، مسجدسلیمان، بستان، اهواز، رامهرمز، بهبهان، ایذه، بندر ماهشهر، امیدیه، آبادان، یاسوج و دوگنبدان) طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. به منظور اطمینان از پایداری داده‌های اقلیمی، روند کلی میانگین دما و بارش سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه با آزمون من–کندال بررسی گردید (Salmi et al., 2002). نتایج نشان داد که داده‌ها فاقد روند معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند و از ثبات کافی برای استفاده در مدل‌سازی برخوردارند. بر این اساس، داده‌های مشاهداتی فوق مبنای تولید ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی

(Hijmans،2005)، با استفاده از تابع Biovars در محیط R قرار گرفتند. این متغیرها در کنار عوامل فیزیوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی، به عنوان ورودی مدل MaxEnt استفاده شدند.

داده‌های حضور گونه

به منظور شناسایی مکان‌های حضور بلوط ایرانی در محدوده مورد بررسی، از نقشه تیپ‌های گیاهی تهیه شده توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیز داری کشور استفاده شد. سپس با بررسی‌های مستقیم میدانی نقاط حضور جوامع گیاهی صحت‌سنجی و ثبت گردیدند. برای جلوگیری از سوگیری، از هر واحد یک کیلومتر مربع تنها یک نقطه حضور انتخاب گردید (Zhang, 2012). رعایت این معیارها منجر به انتخاب ۳۲۲ نقطه حضور گونه گردید (شکل ۲). در نهایت، داده‌های حاصل از حضور گونه به همراه مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی شامل داده‌های اقلیمی، متغیرهای فیزیوگرافی (شیب، جهت شیب و ارتفاع از مدل رقومی ارتفاع)، و داده‌های کاربری/پوشش زمین برای مدلسازی پراکنش گونه با بهره‌گیری از روش MaxEnt به کار گرفته شد.

مدلسازی پراکنش گونه (مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt))

برای پیش‌بینی و تحلیل پراکنش گونه بلوط از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) استفاده شد. مدل MaxEnt (Maximum Entropy) یکی از رایج‌ترین روش‌های مدلسازی پراکنش گونه‌ها بر اساس داده‌های حضور است که با به‌کارگیری توزیع احتمال بیشینه، مناسب‌ترین الگوی مکانی حضور گونه را برآورد می‌کند (Phillips, 2006). این مدل بر پایه‌ی داده‌های حضور گونه و متغیرهای محیطی عمل کرده و بدون نیاز به داده‌های واقعی غیاب، مناسب‌ترین زیستگاه‌های بالقوه را بر اساس اصل بیشینه‌سازی آنتروپی برآورد می‌کند. در این روش، ابتدا لایه‌های محیطی در نرم‌افزار ArcGIS هم‌مقیاس و لایه‌های دارای همبستگی بالا با استفاده از SPSS حذف می‌شوند. سپس داده‌های حضور گونه و لایه‌های محیطی نهایی وارد مدل شده و فرآیند مدلسازی در چندین تکرار به‌صورت تصادفی اجرا می‌شود تا از پایداری و دقت نتایج اطمینان حاصل شود. مدل مکسنت احتمال تناسب زیستگاه را در طیفی بین صفر تا یک تخمین می‌زند؛ به‌گونه‌ای که مقادیر نزدیک به صفر بیانگر زیستگاه‌های نامناسب و مقادیر نزدیک به یک نشان‌دهنده‌ی بیشترین مطلوبیت برای استقرار گونه هستند. در پایان، اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در شکل‌گیری پراکنش گونه را ارزیابی و بر اساس متغیرهای مؤثر، نقشه‌های تناسب زیستگاه در شرایط اقلیمی کنونی را ترسیم می‌کند.

برای مدل‌سازی، متغیرهای محیطی شامل ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی (Hijmans،2005)، متغیرهای فیزیوگرافی (شیب، جهت شیب و ارتفاع از مدل رقومی ارتفاع)، و داده‌های کاربری/پوشش زمین (از سازمان منابع طبیعی و آبخیز داری کشور) به کار گرفته شدند (جدول ۱). در این مطالعه، به‌منظور مدل‌سازی توزیع مکانی گونه بلوط در زاگرس مرکزی و تحلیل تأثیر تغییرات اقلیمی، از ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی استفاده شد. این متغیرها بر اساس داده‌های ماهانه بارش و دمای انتخاب‌شده، تولید شدند. برای ایجاد متغیرهای زیست اقلیمی در نرم افزار R از تابع Biovars در محیط Rstudio و پکیج Bismo استفاده شد و نقشه متغیرهای اقلیمی با نام Bio که شامل Bio1-Bio19 است، استخراج شد. این داده‌ها پس از ذخیره‌سازی با پسوند اکسل، وارد محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) شده و به لایه‌های رستری با سیستم مختصات مکانی UTM و اندازه پیکسل ۳۰ ثانیه (حدود یک کیلومتر مربع) تبدیل شدند. از میان ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی، ۱۱ متغیر مبتنی بر داده‌های دمایی و ۸ متغیر دیگر مبتنی بر داده‌های بارشی بودند. این متغیرها به‌عنوان داده‌های ورودی برای مدلسازی توزیع گونه مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱. توصیف متغیرهای زیست اقلیمی

نمایه متغیر	توصیف اقلیمی	نمایه متغیر	توصیف اقلیمی
BIO_1	میانگین دمای سالیانه	BIO_{11}	میانگین دمای سردترین فصل سال
BIO_2	میانگین دامنه دمای روزانه	BIO_{12}	مجموع بارندگی سالانه
BIO_3	شاخص هم‌دمایی (BIO_2/BIO_7) ضربدر ۱۰۰	BIO_{13}	مجموع بارندگی پربارش‌ترین ماه
BIO_4	تغییرات فصلی دما	BIO_{14}	مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین ماه
BIO_5	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال	BIO_{15}	تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)

BIO_6	حداقل دمای سردترین ماه سال	**BIO_{16}**	مجموع بارندگی پربارش‌ترین فصل سال
BIO_7	دامنه سالانه دما (**BIO_5-BIO_6**)	**BIO_{17}**	مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین فصل سال
BIO_8	میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال	**BIO_{18}**	مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال
BIO_9	میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال	**BIO_{19}**	مجموع بارندگی سردترین فصل سال
BIO_{10}	میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال		

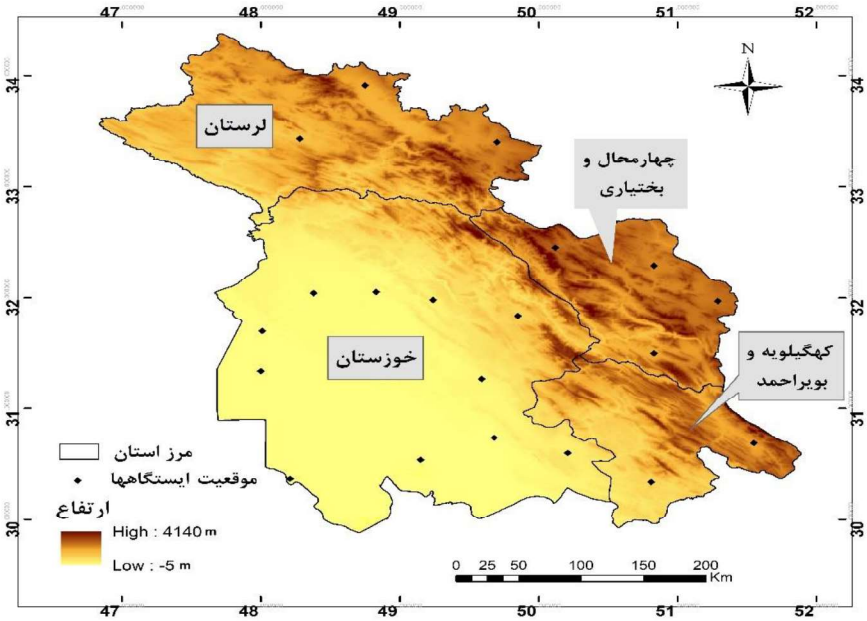
به منظور در نظر گرفتن ویژگی‌های توپوگرافی منطقه، نقشه رقومی ارتفاع (DEM)، به صورت ریز مقیاس شده با دقت ۳۰ ثانیه (تقریبا معادل یک کیلومتر) از پایگاه اطلاعاتی Worldclim2 (www.worldclim.org) استخراج شد. نقشه‌های شیب و جهت شیب در محیط نرم افزارسامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS)، تولید و به‌عنوان متغیرهای فیزیوگرافی به مجموعه داده‌های محیطی افزوده شد. داده‌های پوشش/ کاربری سرزمین از لایه تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور استخراج شد. تمامی لایه‌های محیطی از نظر محدوده، ابعاد پیکسلی و سیستم تصویر، یکسان‌سازی شدند. سپس برای کاهش هم‌خطی میان متغیرها، آزمون همبستگی پیرسون بین متغیرهای زیست‌اقلیمی و فیزیوگرافی انجام شد. متغیرهایی که دارای همبستگی بیش از ۸۰ درصد (همبستگی بالا)، بودند مشخص گردید و لایه‌های با درجه اهمیت کمتر برای گونه بلوط حذف شدند. این روند تا جایی ادامه یافت که میزان همبستگی بین متغیرهای باقی‌مانده به کمتر از آستانه تعیین‌شده رسید. در نهایت و پس از حذف لایه‌های دارای همبستگی بالا و غیر ضروری، ۹ متغیر به عنوان ورودی مدل‌ها انتخاب شدند (شکل ۳). پس از یکسان سازی لایه‌های محیطی (شیب، جهت شیب و ارتفاع از مدل رقومی ارتفاع) در نرم افزار ArcGIS و حذف لایه‌های با همبستگی بالا در نرم افزار SPSS، لایه‌های محیطی با فرمت Ascii وارد مدل شدند. نقاط وقوع گونه ثبت شده، در نرم افزار ArcGIS دارای سیستم مختصات جغرافیایی شدند. سپس با فرمت CSV ذخیره شدند. داده‌های حضور گونه و لایه‌های محیطی اصلاح‌شده به‌منظور ایجاد مدل‌های پراکنش گونه‌ای، توسط مدل‌سازی با MaxEnt به کار رفتند. برای ارزیابی نتایج مدلسازی از سطح زیر منحنی ROC یا شاخص AUC استفاده شد. AUC یک معیار مستقل از آستانه و شیوع است (Manel ,2001). این شاخص توانایی تفکیک بین داده‌های حضور و غیاب و یا حضور از نمونه-های پس زمینه را زمانی که نقاط غیاب در دسترس نیست، دارند (Ashrafzadeh et al.,2019). مقادیر کمتر از ۰/۷ نشان‌دهنده عملکرد ضعیف، مقادیر ۰/۷ تا ۰/۹ قابل قبول و بالاتر از ۰/۹ بیانگر دقت بسیار خوب مدل است. همچنین برای تفکیک زیستگاه‌های مطلوب و نامطلوب جهت پراکنش گونه (نقشه باینری)، از آستانه ۱۰ درصدی آموزش حضور لجستیک استفاده شد.

۲. ۱. معرفی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در زاگرس مرکزی واقع در غرب ایران قرار دارد و در امتداد شمال‌غربی–جنوب‌شرقی رشته‌کوه‌های زاگرس گسترش یافته است. موقعیت این ناحیه در مسیر جریان‌های باران‌زای مدیترانه‌ای، مجاورت با خلیج فارس، تأثیر پرفشار جنب‌حاره در بخش‌های جنوبی، و همجواری با چین‌خوردگی‌های زاگرس، شرایط اقلیمی ویژه‌ای ایجاد کرده است. بیشترین بارش ماهانه مربوط به دی‌ماه و پس از آن در آذر ماه رخ می‌دهد، در حالی‌که بارش تابستانی کمتر از یک میلی‌متر است.

بر اساس آمار ایستگاهی، بیشترین بارندگی معمولاً بین آذر تا اسفند ثبت می‌شود. موقعیت جغرافیایی، اقلیم، زمین شناسی و خاک، باعث ایجاد پوشش گیاهی و حیات جانوری کم نظیری در در این منطقه شده است. جنگل‌های زاگرس مرکزی حدود ۷۰۸ هزار هکتار وسعت دارند که معادل ۲۳ درصد مساحت جنگل‌های ناحیه زاگرس است و بیش از ۹۵ درصد ترکیب درختی آن را بلوط ایرانی تشکیل می‌دهد (Bahmanpour ،2015). محدوده مورد مطالعه بخش وسیعی از زاگرس مرکزی را شامل شده و چهار استان چهارمحال‌وبختیاری، کهگیلویه‌وبویراحمد، لرستان، و خوزستان را در بر می‌گیرد. این منطقه عمدتاً از جنگل‌ها و مراتع طبیعی پوشیده

شده و در مختصات جغرافیایی، طول‌های ۴۸ درجه و ۰۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۸۳ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۹۱ دقیقه شمالی واقع شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی منتخب (واحد ارتفاع: متر از سطح دریا) منبع: نگارندگان،۱۴۰۴

۳. یافته‌های پژوهش

تحلیل روند کمینه و بیشینه دما و بارش

در بررسی سری‌های زمانی به وسیله آزمون من کندال دو تست وجود دارد. یا داده‌ها تصادفی هستند یا غیر تصادفی، در صورت تصادفی بودن داده‌ها هیچ گونه روندی و تغییری مشاهده نمی‌شود. در غیر این صورت داده‌ها غیر تصادفی بوده یا روند وجود خواهد داشت. بدین منظور جهت تعیین تصادفی بودن بارش مقدار آماره (T) من–کندال در بیست ایستگاه محدوده مورد مطالعه محاسبه گردید. بر اساس آزمون من–کندال، داده‌های بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ عمدتاً فاقد روند معنادار در سطح اطمینان ۹۵٪ بودند. با این حال، الگوی کلی در بیشتر ایستگاه‌ها نشان‌دهنده روند کاهشی بارش است به سبب حجم بالای جداول، صرفاً داده‌های مربوط به نتایج آماره من–کندال برای بارش ماهانه ایستگاه‌های منتخب در دوره‌ی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ ارائه شده است.

(جدول ۲). بررسی آزمون من–کندال برای کمینه دما نشان داد که در بسیاری از ایستگاه‌ها روند تغییرات ضعیف و در اغلب موارد غیرمعنی‌دار است. در مقابل، در ایستگاه‌هایی همچون ایذه و خرم‌آباد روندهای افزایشی مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات کمینه دما در منطقه الگوی یکپارچه‌ای ندارد و بسته به شرایط محلی، برخی ایستگاه‌ها روند کاهشی و برخی روند افزایشی داشته‌اند. به طور کلی می‌توان گفت در دوره اخیر، در تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها گرایش به افزایش دمای کمینه مشاهده شده است. نتایج مربوط به بیشینه دما در دوره مشاهداتی نسبت به کمینه دما منسجم‌تر است. در بخش قابل توجهی از ایستگاه‌ها روند افزایشی ثبت گردید. در مقابل، ایستگاه‌های معدودی روند منفی یا خنثی داشتند که از نظر آماری قابل توجه نبودند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش بیشینه دما در سطح منطقه‌ای یک روند غالب و معنی‌دار در دوره مشاهداتی بوده است.

جدول۲. نتایج آماره من-کندال برای بارش ماهانه ایستگاه‌های منتخب در دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۳

ایستگاه‌های‌هواشناسی	Test Z	ایستگاه‌های‌هواشناسی	Test Z
آبادان	-۰/۸۲	دوگنبدان	-۰/۰۲
اهواز	-۰/۵۲	ایذه	-۰/۶۷
الیگودرز	+ -۱/۸۱	خرم‌آباد	-۰/۱۲
بندر ماهشهر	۱/۳۱	کوهرنگ	۰/۰۰
بهبهان	-۰/۰۷	لردگان	-۱/۱۲
بروجن	-۰/۷۷	مسجد سلیمان	-۰/۳۲
بروجرد	۰/۰۰	امیدیه	-۰/۴۷
بستان	۱/۱۲	رامهرمز	-۰/۲۷
دزفول	-۱/۶۱	شهرکرد	-۱/۱۷
یاسوج	-۱/۱۷	شوشتر	۰/۲۷

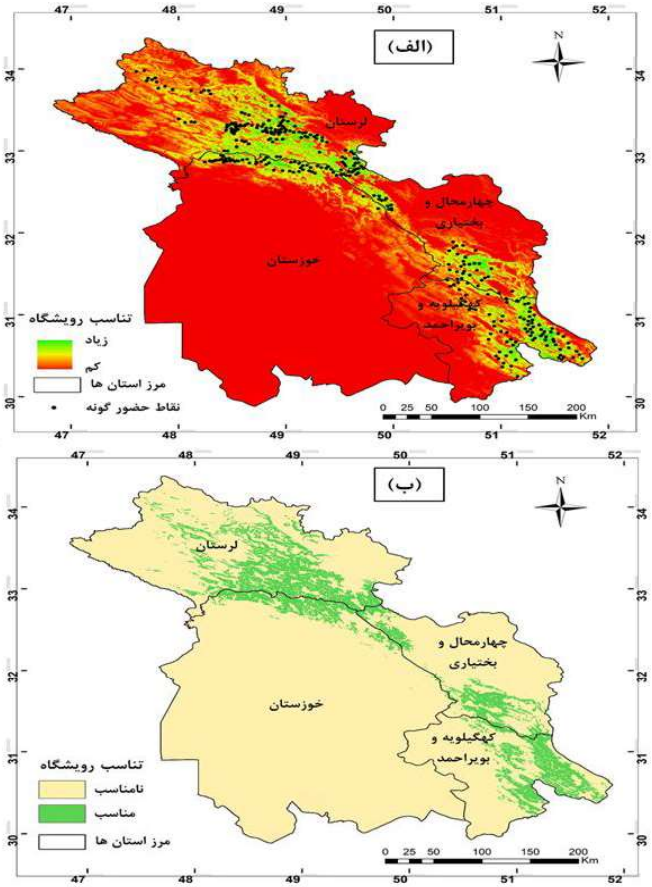
منبع: نگارندگان،۱۴۰۴

ارزیابی مدل

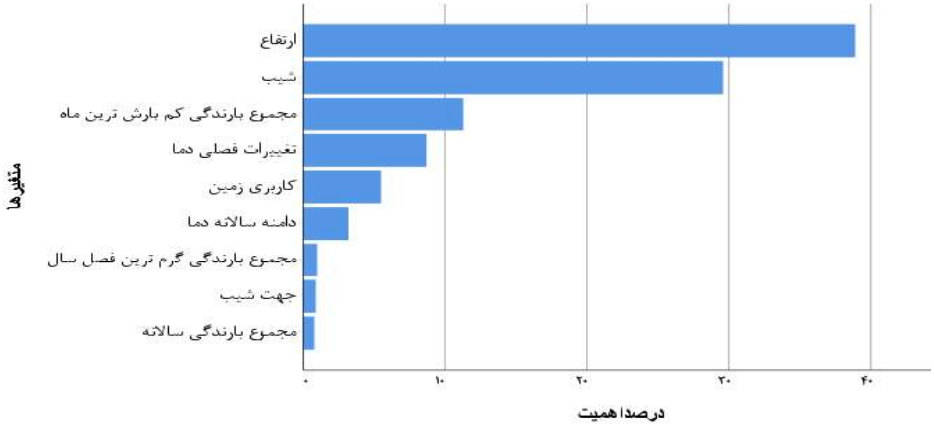
مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) عملکرد بسیار مطلوبی نشان داد؛ به‌طوری که مقدار شاخص AUC برابر با ۰/۹۲۶ بود که بیانگر دقت عالی مدل در تفکیک نقاط حضور و غیاب است. نتایج نشان داد که متغیرهای ارتفاع (DEM) با ۳۸/۹٪، شیب با ۲۹/۶٪، بارندگی کم‌بارش‌ترین ماه (Bio14) با ۱۱/۳٪ و تغییرات فصلی دما (Bio4) با ۸/۷٪، بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت زیستگاه بلوط داشته‌اند (شکل ۳). این ۴ متغیر، در مجموع حدود ۸۸/۵٪ اهمیت در پراکنش این گونه را بر عهده دارند.

نقشه‌های تناسب رویشگاه

بر اساس آستانه بهینه مدل (۰/۳۳۶)، منطقه مورد مطالعه به دو طبقه «زیستگاه مطلوب» و «زیستگاه نامطلوب» تفکیک شد. نتایج نشان داد که حدود ۱۲/۱۱ درصد از مساحت منطقه (معادل ۱۵۰۳۸ کیلومتر مربع) به‌عنوان زیستگاه مطلوب گونه بلوط شناسایی شد (شکل ۲). بیشترین تمرکز این رویشگاه‌ها در استان لرستان و سپس کهگیلویه‌وبویراحمد قرار دارد.



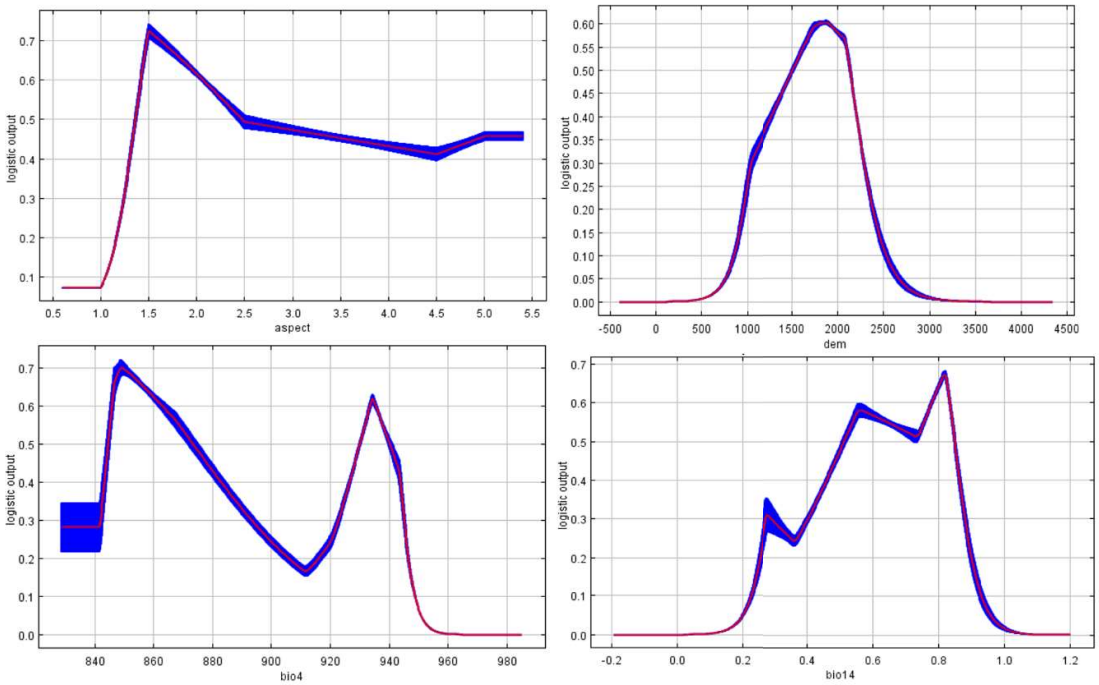
شکل ۲. تناسب رویشگاه فعلی بلوط در زاگرس مرکزی الف) نقشه پیوسته تناسب؛ ب) نقشه باینری (دودویی) منبع: نگارندگان،۱۴۰۴



شکل ۳. سهم تاثیرگذاری متغیرهای زیست محیطی در پراکنش گونه بلوط منبع: نگارندگان،۱۴۰۴

منحنی‌های پاسخ گونه

منحنی‌های پاسخ گونه بلوط ایرانی نسبت به متغیرهای محیطی (شکل ۴) نشان دادند که این گونه بیشترین احتمال حضور را در زمین‌های مسطح و دامنه‌های شمالی دارد. نتایج مربوط به متغیر ارتفاع نیز نشان داد که پراکنش گونه در ارتفاعات ۱۰۰۰ تا ۲۳۰۰ متر مشاهده می‌شود و بر اساس نقشه شیب، حضور گونه عمدتاً در شیب‌های ۵ تا ۲۷ درجه ثبت شده است. بارندگی سالانه در بازه ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ میلی‌متر شرایط بهینه برای حضور بلوط را فراهم می‌کند، در حالی‌که بارندگی کم‌بارش‌ترین ماه سال (Bio14) معمولاً بین ۰/۲ تا ۱ میلی‌متر بوده و به ماه‌های تابستان مربوط می‌شود. بارندگی در گرم‌ترین فصل سال (Bio18) نیز در محدوده ۱/۵ تا ۹ میلی‌متر قرار دارد که بیانگر محدودیت رطوبتی فصل گرم و نقش آن در پراکنش گونه است. تغییرات فصلی دما (Bio4) در بازه ۸/۴ تا ۹/۴ درجه سلسیوس قرار گرفته و دامنه سالانه دما (Bio7) بین ۳۸ تا ۴۰ درجه سلسیوس گزارش شد. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که بلوط ایرانی به شرایط اقلیمی نیمه‌مرطوب با بارندگی متوسط، نوسانات مشخص دمایی و موقعیت‌های توپوگرافی ویژه وابسته است و این عوامل در تعیین محدوده پراکنش آن نقش اساسی دارند.



شکل ۴. منحنی‌های عکس‌العمل گونه بلوط نسبت به متغیرهای مهم محیطی منبع: نگارندگان،۱۴۰۴

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) با مقدار AUC = ۰/۹۲۶ نشان داد که مدل از دقت و توان تفکیک بالایی در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی بلوط ایرانی (*Quercus brantii Lindl*) در زاگرس مرکزی برخوردار است. این مقدار بیانگر آن است که مدل به‌خوبی توانسته بین مناطق دارای احتمال حضور و عدم حضور گونه تمایز قائل شود و از اعتبار بالایی برخوردار است. مدل حداکثر آنتروپی به دلیل اتکا بر داده‌های حضور گونه و عملکرد مناسب در شرایط محدودیت داده‌ها، از کاراترین روش‌های مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها محسوب می‌شود (Baldwin ،2009؛ Phillips et al., 2006) این مدل نسبت به حجم داده، وسعت منطقه مطالعه و حتی همبستگی میان متغیرهای محیطی حساسیت کمی دارد و در مطالعات مشابه نیز به‌عنوان رویکردی پایدار و قابل اعتماد معرفی شده است (Giang ،2015؛ Zhang et al،2023؛

Phillips et al., 2009). بر اساس نتایج مدل، تنها حدود ۱۲ درصد از مساحت منطقه دارای شرایط زیستگاهی مناسب برای بلوط ایرانی است. این امر نشان می‌دهد که گستره‌ی رویشگاه‌های مطلوب این گونه محدود بوده و بخش عمده‌ای از زاگرس مرکزی در اثر فشارهای انسانی، بهره‌برداری بی‌رویه، تخریب زیستگاه و تغییرات اقلیمی، کارایی زیستگاهی خود را از دست داده است. تمرکز بیشترین زیستگاه‌های مناسب در استان‌های لرستان و کهگیلویه‌وبویراحمد بیانگر نقش مؤثر شرایط توپوگرافی و اقلیمی ویژه مانند ارتفاعات مرطوب، بارش کافی و رطوبت نسبی بالا در پایداری این گونه است (Santos, 2010 &Bedia, 2011).

تحلیل متغیرهای محیطی نشان داد که ارتفاع، شیب، متوسط دمای سالانه (Bio1)، حداقل دمای سردترین ماه (Bio6)، بارندگی سه‌ماه مرطوب (Bio16) و تغییرات فصلی دما (Bio4) بیشترین تأثیر را در تبیین الگوی پراکنش بلوط دارند. در میان این متغیرها، متوسط دمای سالانه (۳۸٪) و بارندگی سه‌ماه مرطوب (۲۴٫۲٪) بیشترین سهم را در مدل داشتند و نقش تعیین‌کننده‌ای در حضور گونه ایفا کردند. براساس منحنی‌های پاسخ مدل، بیشترین احتمال حضور گونه در محدوده‌ی دمایی ۱۳ تا ۲۱ درجه سلسیوس، بارندگی سه‌ماه مرطوب بین ۲۲۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر و ارتفاع بین ۱۰۰۰ تا ۲۳۰۰ متر از سطح دریا مشاهده شد. همچنین، بلوط عمدتاً در شیب‌های کمتر از ۴۰ درجه و جهت‌های شمالی استقرار دارد. این نتایج نشان می‌دهد که بلوط ایرانی در شرایط اقلیمی نیمه‌مرطوب با تابستان‌های خشک و زمستان‌های نسبتاً سرد بیشترین مطلوبیت زیستگاهی را دارد (Haidarian et al., 2017 & Mahmoudvand et al., 2020).

یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین کاملاً همخوانی دارد. Mahmoudvand et al., (2020) در بررسی زیستگاه‌های بلوط در استان لرستان گزارش کردند که متوسط دمای سالانه، بارندگی سه‌ماه مرطوب و حداقل دمای سردترین ماه مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده‌ی پراکنش گونه بوده‌اند و محدوده‌ی مطلوب گونه در ارتفاعات ۱۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر قرار دارد. همچنین Talashi & Masoumi Babarbi (2013) با بررسی رویشگاه‌های زاگرس مرکزی، بیان کردند که بلوط ایرانی عمدتاً در مناطق کوهستانی با بارش سالانه ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر و دمای میانگین بین ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد رشد مطلوب دارد. افزون بر آن، Haidarian et al., (2017) با مدل‌سازی پراکنش بلوط در سناریوهای تغییر اقلیم نشان دادند که بارندگی سالانه و دمای فصل خشک بیشترین تأثیر را بر مطلوبیت رویشگاه دارند و در سناریوهای آینده (RCP4.5)،سطح رویشگاه‌های مناسب تا حدود ۳۵٪ کاهش خواهد یافت.

بنابراین، هم‌سویی نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پراکنش بلوط ایرانی به‌شدت تحت تأثیر توأمان شرایط توپوگرافی (ارتفاع و شیب) و اقلیمی (بارندگی و دما) است. تغییرات اقلیمی نظیر افزایش دما، کاهش بارندگی و طولانی‌تر شدن فصل خشک می‌تواند موجب جابه‌جایی ارتفاعی رویشگاه‌ها به سمت نواحی مرتفع‌تر، کاهش تولید بذر و در نهایت افت پایداری جمعیت‌های طبیعی بلوط در زاگرس شود (Phillips et al., 2009 ؛Zhang et al،2023). از سوی دیگر، تحلیل فضایی پراکنش گونه بیانگر آن است که زیستگاه‌های مطلوب عمدتاً در نواحی شمال‌غرب و جنوب‌غرب استان‌های لرستان و کهگیلویه‌وبویراحمد متمرکز هستند؛ این مناطق دارای ارتفاعات متوسط، شیب‌های شمالی و بارش نسبتاً زیاد بوده و به‌عنوان پناهگاه‌های اقلیمی بالقوه برای گونه در آینده قابل شناسایی‌اند. در مقابل، مناطق پست و دشت‌های جنوبی به دلیل گرمای بالا و خشکی اقلیم، فاقد شرایط مناسب رویشی هستند. با توجه به اهمیت بلوط ایرانی در حفظ تنوع زیستی، جلوگیری از فرسایش خاک، تأمین علوفه دام و حمایت از معیشت عشایر زاگرس (سازمان امور عشایر کشور، ۱۳۹۸)، شناخت دقیق عوامل مؤثر بر پراکنش این گونه و استفاده از نتایج مدل‌سازی حداکثر آنتروپی در برنامه‌های مدیریت حفاظتی و احیایی ضروری است. این یافته‌ها می‌تواند به عنوان ابزاری برای شناسایی مناطق مستعد رویش، اولویت‌بندی حفاظت و بازسازی جنگل‌ها و همچنین پیش‌بینی تغییرات احتمالی پوشش جنگلی در اثر تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به تمرکز رویشگاه‌های مطلوب بلوط در استان‌های لرستان و کهگیلویه‌وبویراحمد، پیشنهاد می‌شود این مناطق به‌عنوان کانون‌های اصلی حفاظت شناسایی شده و در اولویت برنامه‌های احیا و پایش قرار گیرند.

در بخش‌هایی که زیستگاه‌های بلوط به دلیل فشارهای انسانی (چرای بی‌رویه دام، بهره‌برداری غیرمجاز، تغییر کاربری اراضی) یا عوامل طبیعی (خشکسالی، آفات) دچار افت کیفیت شده‌اند، اجرای طرح‌های احیای جنگل‌های زاگرس با تأکید بر گونه بلوط ضروری است.

از آنجا که بارش سالانه و بارش فصل گرم از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده پراکنش بلوط بودند، توسعه اقدامات مدیریت آبخیزداری، استحصال آب باران، و کاهش تبخیر و تعرق از طریق مالچ طبیعی یا گیاهی می‌تواند به بهبود شرایط رویش کمک کند.

پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده با ترکیب مدل‌های اکولوژیکی و داده‌های سنجش از دور انجام گیرد تا علاوه بر شناسایی مناطق رویشی، شدت تخریب و روند تغییرات پوشش جنگلی در بازه‌های زمانی مختلف نیز رصد شود.

References

Amouzad, A., & Abbasi, N. (2023). A review of oak decline and management options to improve resistance in forests. Proceedings of the 7th Annual International Congress on Agricultural Development, Natural Resources, Environment, and Tourism of Iran, Tabriz. (in Persian)

Ashrafzadeh, M.R., Naghipour, A.A., Haidarian, M., Kusza, S., Pilliod, D.S. 2019. Effects of climate change on habitat and connectivity for populations of a vulnerable, endemic salamander in Iran. Global Ecology and Conservation, 19: p. e00637. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00637.

Bahmanpour, H. (2015). Assessment of ecological capacity of central Zagros. International Project on Biodiversity Conservation in the Protected Areas of Central Zagros. (in Persian)

Baldwin, R. A. (2009). Use of maximum entropy modeling in wildlife research. Entropy, 11(4), 854-866.

Bedia, J., Busqué, J., & Gutiérrez, J. M. (2011). Predicting plant species distribution across an alpine rangeland in northern Spain. A comparison of probabilistic methods. Applied Vegetation Science, 14(3), 415-432.

Bobrowski, M., Weidinger, J., & Schickhoff, U. (2021). Is new always better? Frontiers in global climate datasets for modeling treeline species in the Himalayas. Atmosphere, 12(5), 543.

Dargahian, F., Pourhashami, M., & Razavizadeh, S. (2022). Evaluation of occurrence, tracking, and source of dust phenomenon in monitoring sites of Zagros forest decline in Chaharmahal and Bakhtiari province. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 9(2), 87–102. (in Persian)

Giang, D. C., Duong, T. N., Ha, D. T. M., Nhan, H. T., Wolbers, M., Nhu, N. T. Q., Heemskerk, D., Quang, N. D., Phuong, D. T., Hang, P. T., Loc, T. H., Lan, N. T. N., Dung, N. H., Farrar, J., & Caws, M. (2015). Prospective evaluation of GeneXpert for the diagnosis of HIV-negative pediatric TB cases. BMC Infectious Diseases, 15(1), 70. https://doi.org/10.1186/s12879-015-0814-2Liverpool School of Tropical Medicine

Haidarian-Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M., & Tatian, M. R. (2017). Climatic niche modeling of Iranian oak (Quercus brantii) using flexible auditing model in Chaharmahal and Bakhtiari province. Plant Ecosystem Conservation, 5(11), 35–48. (in Persian)

Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, and Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 25(15): 1965-1978.

Hirzel, A. H., Hausser, J., Chessel, D., & 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

Mahmoudvand, S., Khodayari, H., & Ternian, F. A. (2020). Habitat modeling and identification of environmental variables affecting the distribution of Quercus brantii Lindl. in forest habitats of Lorestan province. Plant Ecosystem Conservation, 9(18). (in Persian)

Malekian, M., & Sadeghi, M. (2020). Predicting impacts of climate change on the potential distribution of two interacting species in the forests of western Iran. Meteorological Applications, 27(1), e1800. (in Persian)

Manel, S., Williams, H. C., & Ormerod, S. J. (2001). Evaluating presence–absence models in ecology: the need to account for prevalence. Journal of applied Ecology, 38(5), 921-931.

Mehri, S., Alesheikh, A. A., & Lotfata, A. (2024). Abiotic factors impact on oak forest decline in Lorestan Province, Western Iran. Scientific Reports, 14(1), 3973. https://doi.org/10.1038/s41598-024-54551-6

Moravi-Mohajer, M. R. (1990). Effect of fire on soil carbon deposition and plant biomass in semi-steppe rangelands of central Zagros. Plant Ecosystem Conservation, 5(10), 39–51. (in Persian)

Naghipour Borj, A. A., Heydarian-Aghakhani, M., & Sangooni, H. (2018). Predicting the effects of climate change on the geographical distribution of Pistacia atlantica in central Zagros. Plant Ecosystem Conservation, 6(13), 197–214. (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.

Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2004, July). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning (p. 83).

Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: Implications for background and pseudo-absence data. Ecological Applications, 19(1), 181–197. https://doi.org/10.1890/07-2153.1.

Rahimi, M., Amiri, M., Etemad, V., & Mortazavi Dolati, S. M. (2015). Predicting the effect of climate change on the geographic distribution of oak species in central Zagros (Master's thesis, Semnan University, Faculty of Desert Studies, Iran). (in Persian)

Rodríguez Rey Gómez, M., & Jiménez Valverde, A. (2024). Differing sensitivity of species distribution modelling algorithms to climate data source.

Sadri-Khanlou, S. (2021). Conservation of the Zagros mountains: fears and hopes. Growth in Earth Science Education, 3(9), Spring. (in Persian)

Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho, T., & Amnell, T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the Excel template application MAKE SENSE. Publications on Air Quality No. 31: Report code FMI-AQ-31.

Santos, M. J., & Thorne, J. H. (2010). Comparing culture and ecology: conservation planning of oak woodlands in Mediterranean landscapes of Portugal and California. Environmental Conservation, 37(2), 155-168.

Talashi, M., & Masoumi Babarbi, S. (2013). Distribution modeling of Persian oak (Quercus brantii) in central Zagros region. Journal of Forest and Wood Products, 66(2), 123–135.

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.https://doi.org/10.1111/j.0906-

7590.2007.05102.xResearchGate+2PMC+2

Zhang, L., Liu, S., Sun, P., Wang, T., Wang, G., Zhang, X., & Wang, L. (2015). Consensus forecasting of species distributions: The effects of niche model performance and niche properties. *PLoS ONE, 10*(3), e0120056. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120056

Zhang, L.; Liu, S.; Sun, P.; Wang, T.; Wang, G.; Zhang, X.; Wang, L. Consensus Forecasting of Species Distributions: The Effects of Niche Model Performance and Niche Properties. PLoS ONE 2015, 10, e0120056.

Zhang, M. G., Zhou, Z. K., Chen, W. Y., Slik, J. F., Cannon, C. H., & Raes, N. (2012). Using species distribution modeling to improve conservation and land use planning of Yunnan, China. Biological Conservation, 153, 257-264.

Zhang, M. G., Zhou, Z. K., Chen, W. Y., Slik, J. F., Cannon, C. H., & Raes, N. (2012). Using species distribution modeling to improve conservation and land use planning of Yunnan, China. Biological Conservation, 153, 257–264. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.04.023.

Zhang, Q., Shen, X., Jiang, X., Fan, T., Liang, X., & Yan, W. (2023). MaxEnt modeling for predicting suitable habitat for endangered tree Keteleeria davidiana (Pinaceae) in China. Forests, 14(2), 394.

Zolfaghari, R., Karimi Haji-Pemagh, K., & Fayyaz, P. (2013). Assessment of genetic variation in some morphophysiological traits of Iranian oak. Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding of Rangelands and Forests, 21(1), 103–118. (in Persian).