






## Influence of Environmental Factors on the Distribution Pattern of *Astragalus adscendens* in Lorestan Province Using the MaxEnt Model

Hadis Sadeghi<sup>1</sup> , HamidReza Matinfar<sup>2</sup>  

1. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Email: [sadeghi.ha@fa.lu.ac.ir](mailto:sadeghi.ha@fa.lu.ac.ir)

2. (Corresponding Author) Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Email: [matinfar.h@lu.ac.ir](mailto:matinfar.h@lu.ac.ir)

### Article Info

Article type:  
Research Article

### Article History:

Received:

8 July 2025

Revised:

12 October 2025

Accepted:

21 November 2025

Available online:

25 December 2025

### Keywords:

Climate,  
Iran,  
Medicinal plants,  
*Astragalus*,  
MaxEnt.

### ABSTRACT

Understanding the distribution pattern of medicinal plants is essential for identifying the role of climatic and environmental variables. In this study, the distribution of “*Astragalus adscendens*,” as one of the native species of Lorestan Province, was investigated using the Maximum Entropy (MaxEnt) model. Species presence data were collected through field sampling in the regions of Aligudarz, Azna, Aleshtar, and Nurabad during the spring and summer of 1404. The results showed that cold-season precipitation (Bio19), with a permutation importance of 49.4% and a relative contribution of 26.6%, was the most important distribution factor, and the highest probability of presence was observed within the precipitation range of 100 to 140 mm. Land slope, with a permutation importance of 31.8%, was the second most influential factor; moderate slopes (30–40%) and northern aspects exhibited the most favorable conditions. The optimal temperature for species presence was approximately 13–14°C, and the suitable elevation range was determined to be 2400–2700 m. Loamy soils also provided favorable conditions for species establishment. In general, variables such as elevation, land use, and soil texture played a complementary role, and species distribution was mainly influenced by temperature, winter precipitation, and sloping, snow-covered highlands; only 27.2 square kilometers of the province’s land, mainly in the east and southeast, exhibited moderate to very high suitability, and highly suitable habitats were located in the highlands of Qalikh, Tamandar, and Oshtorankuh.

**Cite this article:** Sadeghi, H., & Matinfar, H. (2025). Influence of Environmental Factors on the Distribution Pattern of *Astragalus adscendens* in Lorestan Province Using the MaxEnt Model. *Physical Geography Research Quarterly*, 57 (4), 85-106.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2026.406273.1007908>



## Extended Abstract

### Introduction

The distribution and long-term persistence of medicinal plant species in Iran are strongly influenced by a range of natural factors and human activities. In recent decades, unsustainable harvesting, extensive land-use changes, overgrazing, habitat fragmentation, and ecosystem degradation have led to a significant decline in the population size and geographic range of many valuable medicinal plants. These threats have been intensified by the absence of comprehensive national strategies for the identification, conservation, and sustainable utilization of native species. The lack of ecological data, the limited scope of long-term monitoring programs, and the absence of reliable spatial distribution maps have collectively constrained effective planning and management of medicinal plant resources at the national level.

In addition to direct human impacts, climate change has emerged as one of the primary drivers of ecological transformations, accompanied by shifts in temperature patterns, precipitation regimes, and an increasing frequency of extreme climatic events such as prolonged droughts. These changes have significantly altered the habitat suitability of many plant species and have led to the degradation, contraction, or displacement of their ecological niches. Mountain ecosystems, despite their ecological importance and high biodiversity value, are highly vulnerable to these changes because of their narrow climatic tolerance range and strong dependence on seasonal precipitation.

“*Astragalus adscendens*,” as a native perennial species in the central Zagros Mountains, is considered one of the ecologically important species adapted to high-altitude rangelands. This species plays a fundamental role in soil stabilization, erosion control, and the maintenance of rangeland structure and function. Its growth form and root system enhance soil physical properties, increase water infiltration, and reduce surface runoff. Given the ecological importance of this species and its increasing exposure to environmental stresses, identifying the factors controlling its distribution is essential for the development of effective conservation and sustainable

management strategies. Therefore, the main objective of this study was to identify the most important environmental variables influencing the spatial distribution of “*Astragalus adscendens*” and to model its potential habitat suitability in Lorestan Province using the MaxEnt modeling approach.

### Methodology

The potential distribution of “*Astragalus adscendens*” was modeled using MaxEnt version 3.3.4. This machine-learning method is widely used for species distribution modeling based on presence data. This approach estimates the most probable spatial distribution pattern based on the relationship between species presence points and a range of environmental variables.

Species presence data were collected during the spring and summer of 2025 from four main habitats in Lorestan Province, including Aligudarz (Qalikuh and Tamandar), Azna, Aleshtar, and Nurabad. The geographic coordinates of each presence point were recorded using a GPS device, and associated ecological characteristics such as elevation, slope, slope aspect, soil type, and vegetation cover were documented through field observations. After data processing to prevent model overfitting, a total of 23 presence points were retained for the final modeling. To control multicollinearity among environmental variables, Pearson correlation analysis was performed, and variables with a correlation coefficient greater than 0.8 were excluded. Finally, 13 environmental variables, including five bioclimatic variables related to temperature and precipitation and eight topographic and environmental variables describing land characteristics, were selected. Model performance was evaluated using the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) index. The relative contribution and importance of each variable were determined using the jackknife test, and habitat suitability maps were generated in a Geographic Information System environment and classified into five categories ranging from very low to very high.

## Results and Discussion

The results showed that the MaxEnt model demonstrated high predictive accuracy in identifying suitable habitats for *A. adscendens* in Lorestan Province. Among all environmental variables, winter precipitation was identified as the most influential factor affecting species distribution. The highest probability of species presence was observed within the winter precipitation range of approximately 100 to 140 mm, whereas habitat suitability decreased markedly when precipitation exceeded 160 mm. This pattern indicates species adaptation to semi-arid mountainous conditions, where moderate winter moisture facilitates establishment and growth, while excessive precipitation may create unfavorable soil conditions. Slope was identified as the second most important factor in determining habitat suitability. The most favorable conditions were observed on relatively steep slopes (approximately 30 to 40%), particularly on northern and northeastern aspects. These topographic features enhance soil moisture retention, reduce evaporation, and prevent prolonged waterlogging, thereby providing suitable microclimatic conditions for plant growth. Variables related to temperature, elevation, and soil texture also contributed to the distribution pattern, although their effects were relatively weaker than those of precipitation and slope. Among temperature-related variables, seasonal temperature variation and the mean diurnal temperature range showed the greatest importance. The optimal mean temperature range for species presence was estimated to be between 13 and 14°C, whereas temperatures exceeding 15°C resulted in a considerable decline in habitat suitability. Elevation also restricted the species to the range of 2400 to 2700 m above sea level, where lower temperatures and higher relative soil moisture create favorable growth conditions. In contrast, variables related to land use and soil characteristics showed limited influence, indicating a relatively broad tolerance of the species to different soil conditions. The habitat suitability map indicated that approximately 95% of the area of Lorestan Province is unsuitable for this species. Only approximately 27.2 square kilometers fall

within the moderate to high suitability class, mainly located in the highlands of Qalikhuh, Tamandar, and Oshtorankuh.

## Conclusion

This study showed that the distribution of “*Astragalus adscendens*” in Lorestan Province is primarily influenced by climatic and topographic factors, with winter precipitation and slope exerting the greatest influence. This species exhibits its highest growth potential in cold, relatively dry mountainous environments with moderate winter precipitation and warm summers. Given the dominant role of climatic variables, future changes in temperature and precipitation patterns may substantially alter the extent and spatial distribution of suitable habitats. Therefore, proactive conservation planning, protection of existing high-altitude habitats, sustainable grazing management, control of land-use changes, and continuous monitoring of climatic conditions are essential to ensure the long-term conservation and ecological stability of this species.

## Funding

This article is derived from a postdoctoral research project supported financially by Lorestan University.

## Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.



## Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

## Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

## تأثیر عوامل محیطی بر الگوی پراکنش *Astragalus adscendens* در استان لرستان با استفاده از مدل MaxEnt

حدیث صادقی<sup>۱</sup>، حمیدرضا متین فر<sup>۲</sup>  

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: [sadeghi.ha@fa.lu.ac.ir](mailto:sadeghi.ha@fa.lu.ac.ir)  
۲- نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: [matinfar.h@lu.ac.ir](mailto:matinfar.h@lu.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله پژوهشی	شناخت الگوی پراکنش گیاهان دارویی برای درک نقش متغیرهای اقلیمی و محیطی ضروری است. در این پژوهش، پراکنش گونه گون گزی ( <i>Astragalus adscendens</i> ) به‌عنوان یکی از گونه‌های بومی استان لرستان با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) بررسی شد. داده‌های حضور گونه از طریق نمونه‌برداری میدانی در مناطق الیگودرز، ازنا، الشتر و نورآباد طی بهار و تابستان ۱۴۰۴ جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد بارش فصل سرد (Bio19) با اهمیت جایگشتی ۴۹/۴٪ و سهم نسبی ۲۶/۶٪، مهم‌ترین عامل پراکنش است و بیشترین احتمال حضور در محدوده بارش ۱۰۰ تا ۱۴۰ میلی‌متر مشاهده شد. شیب زمین با اهمیت جایگشتی ۳۱/۸٪ دومین عامل مؤثر بود؛ شیب‌های متوسط (۳۰-۴۰ درصد) و دامنه‌های شمالی بیشترین شرایط مطلوب را داشتند. دمای بهینه حضور گونه حدود ۱۳-۱۴ درجه سلسیوس و دامنه ارتفاعی مناسب ۲۴۰۰-۲۷۰۰ متر تعیین شد. خاک‌های لومی نیز شرایط مطلوبی برای استقرار گونه فراهم کردند. به‌طور کلی، متغیرهایی چون ارتفاع، کاربری اراضی و بافت خاک نقش مکمل داشته و پراکنش گونه عمدتاً تحت تأثیر دما، بارش زمستانی و ارتفاعات شیب‌دار و برف‌گیر است. تنها ۲/۲۷ کیلومتر مربع از اراضی استان، عمدتاً در شرق و جنوب شرق، دارای تناسب متوسط تا بسیار زیاد بوده و زیستگاه‌های بسیار مطلوب در ارتفاعات قالی‌کوه، تمندر و اشترانکوه قرار دارند.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۴/۰۴/۱۷	
<b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۴/۰۷/۲۰	
<b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۴/۰۸/۳۰	
<b>تاریخ چاپ:</b> ۱۴۰۴/۱۰/۰۴	
<b>واژگان کلیدی:</b> اقلیم، ایران، گیاهان دارویی، گون، Maxent	

**استناد:** صادقی، حدیث و متین فر، حمیدرضا. (۱۴۰۴). تأثیر عوامل محیطی بر الگوی پراکنش *Astragalus adscendens* در استان لرستان با استفاده از مدل MaxEnt. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۷ (۴)، ۸۵-۱۰۶.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2026.406273.1007908>

## مقدمه

از آغاز پیدایش انسان تاکنون، گیاهان دارویی به دلیل پیوند دیرینه انسان با طبیعت و شناخت گسترده از خواص درمانی این گیاهان، همواره مورد استفاده انسان قرار گرفته‌اند؛ به گونه‌ای که بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت، امروزه حدود ۸۰ درصد مردم جهان همچنان به طب سنتی وابسته‌اند (Asaadi & Yazdi., 2018: 190). گیاهان دارویی ضمن نجات جان انسان‌ها، نقش مهمی در توسعه اجتماعی و اقتصادی دارند، به طوری که برآورد می‌شود حدود سه چهارم جمعیت جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، برای تأمین نیازهای بهداشتی خود به این گیاهان وابسته‌اند (Shen et al., 2021:2). افزایش فعالیت‌های انسانی و رشد تقاضای بازار موجب برداشت بی‌رویه از بیشتر گیاهان دارویی شده است، به طوری که، دست‌کم هر دو سال یک‌بار، یک‌گونه گیاه دارویی ارزشمند به طور بالقوه از بین می‌رود (Duan et al., 2025:1).

عوامل محیطی مانند دما، آب، خاک و رطوبت سطحی تأثیر بسزایی در پراکنش گونه‌ها دارند و عوامل اقلیمی در این امر نقش بیشتری دارند (Huang et al., 2020:2). در سال‌های اخیر، گرم شدن آب‌وهوا در نتیجه تغییر اقلیم افزایش یافته است و این تأثیر جدی بر توزیع گونه‌ها داشته است (Shen et al., 2021:2). تحقیقات نشان داده است که با افزایش شدت تغییر اقلیم در آینده، گونه‌ها به تدریج به مناطق با ارتفاع یا عرض جغرافیایی بالاتر مهاجرت می‌کنند و منجر به کاهش زیستگاه گونه‌ها می‌شود (Zhao et al., 2020:2). با توجه به اینکه استفاده از گیاهان دارویی در طول تاریخ یکی از مؤثرترین روش‌های درمانی بوده است، شناخت بیشتر و درک پراکنش گیاهان دارویی مبنای مهمی برای تعیین حدود مناطق حفاظت‌شده، کنترل گونه‌های مهاجم و حفاظت از تنوع زیستی است (Piri et al., 2019:194; Huang et al., 2020:2). بنابراین، استفاده از مدل‌های اکولوژیکی برای شناسایی مناطق بالقوه پراکنش و کشت گیاهان دارویی و همچنین تعیین عوامل اساسی در برنامه‌ریزی جهت حفاظت از آن‌ها ضرورتی انکارناپذیر است (Moameri et al., 2022: 376; Wang et al., 2025:1).

تاکنون، مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها<sup>۱</sup> به عنوان یکی از ابزارهای اصلی در مطالعات زیست جغرافیایی و اکولوژیکی، به طور گسترده برای پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه‌ها، حفاظت از گونه‌های نادر، مدیریت گونه‌های مهاجم و تحلیل‌های جغرافیای دیرینه زیستی به کار رفته است (Dai et al., 2022: 2; Russaati & Kang., 2024:2). روش‌های متنوعی از مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها با بهره‌گیری از ویژگی‌های محیطی برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها توسعه یافته‌اند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل‌های خطی<sup>۲</sup> و افزایشی تعمیم‌یافته<sup>۳</sup>، مدل حداکثر آنتروپی<sup>۴</sup>، جنگل تصادفی<sup>۵</sup>، درختان رگرسیون تقویت‌شده<sup>۶</sup> و روش‌های یادگیری ماشین مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۷</sup> اشاره کرد (Kaky et al., 2020: 101). در میان این مدل‌ها، مدل حداکثر آنتروپی به ویژه در شرایطی که داده‌ها محدود هستند، نسبت به سایر مدل‌ها عملکردی برتر و دقیق‌تر از خود نشان داده است (Hosseini et al., 2024:2). در همین راستا موسی زاده و همکاران (۲۰۱۹: ۱) پراکنش مکانی بالقوه گونه *انزروت*<sup>۸</sup> را به عنوان یک گونه کلیدی، با استفاده از روش داده‌کاوی حداکثر آنتروپی و مدل آماری نسبت فراوانی<sup>۹</sup> در جنوب زاگرس ایران بررسی نمودند و نشان دادند که مدل مکسنت<sup>۱۰</sup> بالایی در استخراج نقشه زیستگاه مناسب

1. Species Distribution Modeling.

2. Generalized Linear Model.

3. Generalized Additive Model.

4. Maximum Entropy Model.

5. Random Forest.

6. Boosted Regression Trees.

7. Artificial Neural Network.

8. *Astragalus fasciculifolius* Boiss.

9. FR: Frequency Ratio.

10. MaxEnt.

دارد ( $AUC = 0.83$ ). مدل مکسنت که بر اصول آشیان اکولوژیکی<sup>۱</sup> استوار است، با استفاده از داده‌های مکانی گونه‌ها و متغیرهای محیطی، توزیع احتمالی را بر پایه اصل بیشینه آنتروپی برازش داده و روشی دقیق و کارآمد برای تعیین پراکنش بالقوه جغرافیایی گونه‌ها محسوب می‌شود (Wang et al., 2025:1). پژوهشگران زیادی مانند تشابالا<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۲: ۶۹۴) الگوی پراکنش *D. elephantipes*، ژانگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۲: ۱) الگوی پراکنش *Ephedra sinica* Stapf، جیانگ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۲: ۱) پراکنش جغرافیایی سه گونه *F. cirrhosa*، *F. unibracteata*، *F. przewalskii* و یانگ<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۳: ۳۷۳۵) پراکنش *Rhodiola L.* در مناطق مختلف چین با استفاده از مدل مکسنت بررسی نمودند.

ایران از نظر پوشش گیاهی کشوری غنی است و بیش از ۱۵۰۰ گونه گیاه دارویی دارد که این تنوع گیاهی در آن عمدتاً ناشی از تغییرات توپولوژیکی و اقلیمی است؛ در این میان رشته‌کوه زاگرس به‌عنوان یک آبگیر مهم در غرب و جنوب غرب ایران با زیستگاه‌ها و اقلیم‌های مختلف شناخته می‌شود (Piri et al., 2019:194; Eftekharifar et al., 2017: 136).

این کشور یکی از مهم‌ترین مراکز رویش گونه‌های جنس *گون*<sup>۶</sup> در جهان است، به طوری که ۸۰۴ گونه از آن شناسایی شده که حدود ۶۵٪ از آن‌ها بومی ایران هستند (Tavili et al., 2014:111). برخی از گونه‌های خاردار آن مانند *گون گزی*<sup>۷</sup> گیاهی چندساله و ارزشمند است که نقش مهمی در حفاظت خاک ایفا می‌کند و از نظر صنعتی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا صمغ کثیر<sup>۸</sup> از آن استخراج می‌شود (Haidarian et al., 2021:153; Tavili et al., 2014: 111). زیستگاه اصلی این گونه در ایران قرار دارد و حضور این گونه از سال ۱۸۷۰ توسط هاوس کنشت<sup>۹</sup> از کوه‌های جنوب غربی ایران ثبت شده است (Haidarian et al., 2021:153). حیدریان و همکاران (۲۰۲۱) پراکنش گونه بومی *گون گزی* را در بخش مرکزی زاگرس ایران با استفاده از مدل مکسنت بررسی کردند و نشان دادند تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ ممکن است بیش از ۵۹٪ از زیستگاه‌های مناسب فعلی این گونه کاهش یابد. همچنین، شعبانی و خوشبخت (۱۴۰۱) با استفاده از مدل‌های تحلیل آشیان اکولوژیکی و رگرسیون غیرپارامتریک مضربی، رویشگاه بالقوه *گون گزی* را در استان اصفهان مدل‌سازی کردند و نشان دادند که زیستگاه این گونه در دوره‌های آینده (۲۰۳۰ و ۲۰۸۰) تحت تأثیر تغییرات اقلیمی کاهش خواهد یافت. آذری‌نیا و آریاپور (۱۴۰۳) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی به مدل‌سازی پراکنش و شناسایی عوامل اکولوژیکی مؤثر بر رشد *گون گزی* در حوزه آبخیز ایوشان واقع در شهرستان خرم‌آباد پرداختند و نشان دادند که بیش از ۸۰ درصد منطقه از مطلوبیت متوسط تا زیاد برای رویش این گونه برخوردار است. با توجه به ارزش دارویی این گونه گیاهی، شناسایی الگوی پراکنش و عوامل محیطی مؤثر بر توزیع آن می‌تواند در درک بهتر سازگاری گونه‌های بومی، تعیین ترجیحات اکولوژیکی آن‌ها و به‌کارگیری مؤثر این گونه در برنامه‌های احیاء و بهبود مراتع مفید واقع شود. گونه *گون گزی*<sup>۱۰</sup> یکی از گونه‌های اندمیک و منابع بسیار ارزشمند استان لرستان است که در صورت شناخت دقیق، کشت، توسعه و بهره‌برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند. از این رو، پژوهش حاضر با هدف شناسایی مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه و مدل‌سازی زیستگاه‌های بالقوه آن در مقیاس

1. Ecological Nich.
2. Tshabalala
3. Zhang
4. Jiang
5. Yang
6. Astragalus.
7. *Astragalus adscendens* Boiss.
8. Manna.
9. Hauss Knecht
10. *Astragalus adscendens*.

استان لرستان با استفاده از مدل مکسنت انجام شد تا خلأ موجود در پژوهش‌های پیشین را پوشش داده و زمینه لازم برای برنامه‌ریزی حفاظتی و بهره‌برداری پایدار فراهم آورد.

## روش پژوهش

در این پژوهش، پراکنش و مطلوبیت زیستگاه گونه گون گزی با استفاده از مدل مکسنت بررسی شد. مدل حداکثر آنتروپی<sup>۱</sup> یکی از روش‌های یادگیری ماشین برای تحلیل مکانی پدیده‌های محیطی است و به‌طور گسترده برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها در سامانه‌های اکولوژیک به کار می‌رود. این مدل بر پایه اصل حداکثر آنتروپی شانون عمل می‌کند و هدف آن برآورد توزیع احتمال حضور گونه در پهنه مورد مطالعه می‌باشد، به‌گونه‌ای که ضمن بیشینه‌سازی آنتروپی، با اطلاعات مشاهده‌شده از نقاط حضور گونه و متغیرهای محیطی سازگار باشد. در این الگوریتم، توزیع احتمال حضور گونه به‌صورت تابعی از متغیرهای محیطی تعریف می‌شود و شرایطی به مدل اعمال می‌گردد که میانگین هر متغیر محیطی در نقاط حضور گونه با میانگین همان متغیر در توزیع پیش‌بینی شده مطابقت داشته باشد (Boral and Motkan, 2021:2; Phillips et al. 2006:321). این مدل با استفاده از داده‌های حضور گونه، توزیع گونه گیاهی را برآورد می‌کند و به اطلاعات عدم حضور گونه نیاز ندارد؛ به‌طوری که به‌جای اتکا به داده‌های حضور، از نقاط پس‌زمینه به‌عنوان نماینده‌ای آماری از فضای محیطی منطقه استفاده می‌کند (Phillips et al. 2006:321). به این ترتیب، مدل با مقایسه شرایط محیطی نقاط حضور و نقاط پس‌زمینه، وزن هر متغیر محیطی را در پیش‌بینی حضور گونه برآورد کرده و احتمال حضور گونه را در سطح منطقه مورد بررسی ارائه می‌دهد (Elith et al. 2011:228; Phillips et al. 2006:321). در مدل مکسنت، برای کاهش بیش‌برازش و افزایش تعمیم‌پذیری مدل از مکانیزم‌های منظم‌سازی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود و این باعث پایداری و دقت مدل حتی با داده‌های حضور کم می‌شود (Merckx et al, 2011: 590). به‌طور کلی این مدل به دلیل توانایی بالا در کار با داده‌های حضور محدود و عملکرد قابل قبول در برابر بیش‌برازش یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌ها در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها محسوب می‌شود.

داده‌های ورودی نرم‌افزار مکسنت برای مدل‌سازی شامل داده‌های زیستی (اطلاعات مکانی پراکنش و حضور گونه) و داده‌های محیطی (لایه‌های محیطی) هستند. متغیرهای محیطی مؤثر بر حضور گونه شامل سه دسته فیزیوگرافی، اقلیمی و خاکی هستند. در این پژوهش، برای بررسی عوامل مؤثر بر پراکنش گون گزی، ۳۰ متغیر محیطی انتخاب شد. از میان این متغیرها، ۱۹ متغیر بیوکلیماتیک برای شرایط اقلیمی بلندمدت حال حاضر (۱۹۷۰-۲۰۰۰) با وضوح مکانی ۳۰ ثانیه‌ای (۱۳ کیلومتر مربع) از پایگاه داده WorldClim نسخه ۲/۱ دریافت شدند. این داده‌ها به‌صورت میانگین بلندمدت ارائه شده‌اند و نشان‌دهنده میانگین ماهانه و سالانه دما و بارش طی دوره آماری مذکور برای منطقه مورد بررسی می‌باشند. ۱۹ متغیر بیوکلیماتیک مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل میانگین دمای سالانه (Bio1)، میانگین دامنه دمای روزانه (Bio2)، شاخص هم‌دما (Bio3)، تغییرات فصلی دما (Bio4)، حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال (Bio5)، حداقل دمای سردترین ماه سال (Bio6)، تغییرات دمای سالانه (Bio7)، میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل سال (Bio8)، میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال (Bio9)، میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال (Bio10)، میانگین دمای سردترین فصل سال (Bio11)، مجموع بارندگی سالانه (Bio12)، مجموع بارندگی مرطوب‌ترین ماه سال (Bio13)، مجموع بارندگی خشک‌ترین ماه سال (Bio14)، تغییرات فصلی بارندگی (Bio15)، مجموع بارندگی مرطوب‌ترین فصل سال (Bio16)، مجموع بارندگی

1. MaxEnt.

2. regularization.

خشک‌ترین فصل سال (Bio17)، مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال (Bio 18) و مجموع بارندگی سردترین فصل سال (Bio19) بودند. بر اساس نتایج پژوهش‌های مختلف داده‌های WorldClim از دقت قابل قبولی برخوردار هستند. بر اساس نتایج پژوهش (Marchi et al (2019) در سراسر اروپا داده‌های میانگین دما و بر اساس نتایج پژوهش حسابی و همکاران (۱۴۰۴) در جنگل‌های هیرکانی داده‌های بارش WorldClim همبستگی مناسبی با داده‌های ایستگاهی دارند و به‌طور قابل قبولی شرایط اقلیمی منطقه را نشان می‌دهند.

علاوه بر متغیرهای اقلیمی، مجموعه‌ای از متغیرهای توپوگرافی و خاکی نیز برای مدل‌سازی پراکنش گون گزی مورد استفاده قرار گرفتند. متغیرهای توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، ژئومورفون<sup>۱</sup> و شاخص ناهمواری زمین<sup>۲</sup> بودند که در محیط نرم‌افزار SAGA GIS و بر اساس مدل رقومی ارتفاعی ALOS با دقت مکانی ۳۰ متر تولید شدند. داده‌های کاربری اراضی نیز از محصول Land Use/Land Cover مبتنی بر تصاویر Sentinel-2 با دقت ۱۰ متر (پایگاه FAO/ESA) اخذ شد. داده‌های مربوط به بافت خاک در اعماق ۰، ۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از پایگاه OpenLandMap استخراج شد. این پایگاه یکی از معتبرترین پایگاه‌های داده خاک در سطح جهانی است که تحت استانداردهای کیفیت FAO و USDA کالیبره شده است. تمام داده‌های مورد استفاده از پایگاه‌های استاندارد و معتبر بین‌المللی که دارای سیستم‌های کنترل کیفی، تصحیح خطا و اعتبارسنجی گسترده هستند، تهیه شدند. دقت و اعتبار این داده‌ها در پژوهش‌های مختلف مانند (Bayik et al (2018) در مقیاس منطقه‌ای در ترکیه (مدل رقومی ارتفاع)، Hengl et al (2025) در مقیاس جهانی (بافت خاک) و (Lesiv et al (2025) در مناطق مختلف جهان (کاربری اراضی) تأیید شده است (جدول ۱). همچنین از داده‌های روزانه دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک الیگودرز، ازنا، الشتر و نورآباد در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۳ برای بررسی ویژگی‌های اقلیمی رویشگاه‌ها استفاده شد.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در پژوهش

نام داده	نام محصول	واحد	تفکیک مکانی	منبع
مدل رقومی ارتفاع	ALOS DSM: Global 30m v4.1	متر	۳۰ متر	Bayik et al (2018)
بافت خاک	OpenLandMap Soil Texture Class (USDA System)	-	۲۵۰ متر	Hengl et al(2025)
کاربری اراضی	Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover (FAO/ESA)	-	۱۰ متر	Lesiv et al (2025)
داده‌های اقلیمی	WorldClim 1970-2000		۳۰ ثانیه قوسی (حدود ۱ کیلومتر مربع)	Marchi et al (2019)

به‌منظور جمع‌آوری داده‌های حضور گونه موردنظر در این پژوهش، پس از بررسی و مطالعه پژوهش‌های ثبت‌شده در پایگاه‌های علمی مختلف و همچنین با مراجعه به کارشناسان منابع طبیعی و گیاه‌شناسی، نمونه‌برداری میدانی در ۴ رویشگاه اصلی گون گزی در استان شامل مناطقی از الیگودرز (قالی کوه و تمندر)، ازنا، الشتر و نورآباد در بهار و تابستان (ماه‌های اردیبهشت، خرداد و تیر) ۱۴۰۴ انجام شد. موقعیت دقیق حضور گونه در هر رویشگاه با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد و سایر مشخصات اکولوژیکی شامل ارتفاع، شیب و جهت دامنه، نوع خاک و پوشش گیاهی ثبت گردید (شکل ۱). قبل از مدل‌سازی برای جلوگیری از بیش‌برازش مدل<sup>۳</sup> ناشی از تکرار داده‌ها و خودهمبستگی مکانی، داده‌هایی که فاصله آن‌ها

1. Geomorphons  
2. TRI  
3. Over-fitting

کمتر از ۱ کیلومتر بود حذف شدند و تنها یک نقطه حضور از هر سلول در شبکه ۱×۱ کیلومتر به‌طور تصادفی انتخاب و فیلتر شد. در نهایت تعداد ۲۳ نقطه پراکنش این‌گونه مشخص گردید (شکل ۲).



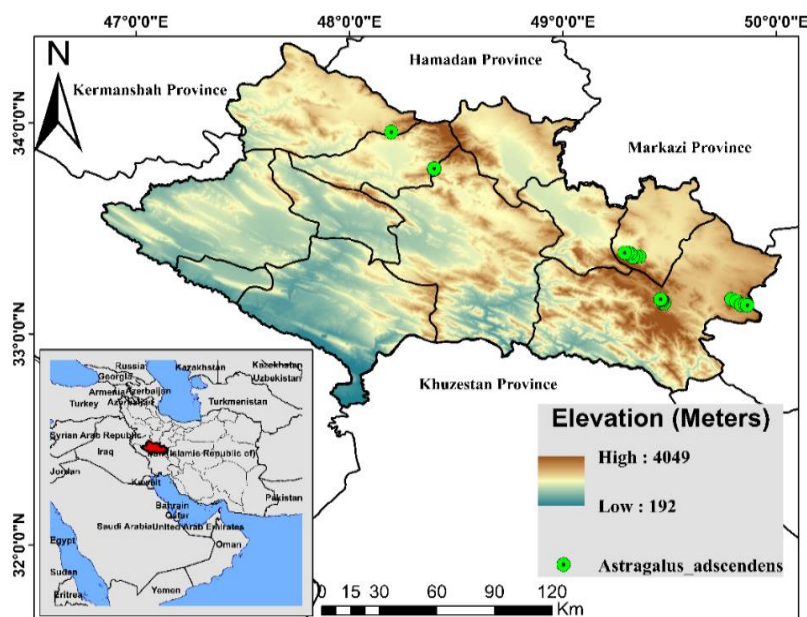
شکل ۱. رویشگاه گون گزی (*Astragalus ascendens*) در اشتر، استان لرستان

پس از جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها، در گام بعدی از میان ۳۰ متغیر محیطی، متغیرهای ورودی مدل بر اساس نیاز اکولوژیکی گونه و ضریب همبستگی پیرسون به‌منظور کاهش اثر هم خطی چندگانه تعیین شدند. مدل مکسنت یک مدل آماری است و برای اینکه بتواند توزیع گونه‌ای را به دست آورد، ارتباطی را میان داده‌های مشاهده‌شده و مدل اکولوژیکی ایجاد می‌کند و مناسب بودن رویشگاه را بر اساس روابط بین حضور گونه و شرایط محیطی تشخیص می‌دهد. در صورت وجود همبستگی بالا میان متغیرهای محیطی، احتمال رخداد خطا در مدل افزایش می‌یابد. بنابراین برای کاهش اثر هم خطی چندگانه، متغیرهایی با ضریب همبستگی پیرسون بالا ( $r > 0.8$ ) حذف شدند و تنها متغیرهایی که با نیازهای اکولوژیکی گونه مطابقت داشتند و بیشترین تأثیر را بر پراکنش آن داشتند، برای مدل نهایی انتخاب شدند. در نهایت، ۱۱ متغیر محیطی شامل ۴ متغیر بیوکلیماتیک شامل میانگین دامنه دمای روزانه (Bio2)، تغییرات فصلی دما (Bio4)، تغییرات فصلی بارندگی (Bio15) و مجموع بارندگی سردترین فصل سال (Bio19) و ۷ متغیر توپو-محیطی ارتفاع، جهت شیب، شیب، کاربری اراضی، ناهمواری زمین، شکل و فرم زمین و بافت خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری به‌عنوان ورودی مدل انتخاب شدند. پس‌از آن، لایه‌های ورودی به فرمت Ascii تنظیم و نقاط حضور گونه در قالب فایل اکسل با فرمت csv آماده شدند، به‌طوری‌که داده‌های حضور گونه به‌عنوان متغیر وابسته و تمامی لایه‌های محیطی به‌عنوان متغیرهای مستقل به مدل MaxEnt v.3.4.4 وارد شدند تا پراکنش مناسب زیستگاهی پیش‌بینی شود. به‌منظور تعیین اهمیت هر متغیر پیش‌بینی‌کننده در پراکنش گونه، از آزمون جک‌نایف استفاده شد؛ در این روش، هر متغیر به‌طور سیستماتیک حذف و مدل دوباره اجرا می‌شود تا تأثیر آن بر عملکرد مدل بررسی شود. این فرآیند به شناسایی مهم‌ترین متغیرها در پیش‌بینی پراکنش گونه کمک می‌کند. خروجی مدل مکسنت به‌صورت مقادیر لگاریتمی بین صفر و یک ارائه می‌شود که بیانگر احتمال نسبی یا درجه مطلوبیت زیستگاه برای حضور گونه است. مقادیر بالاتر نشان‌دهنده شرایط محیطی مناسب‌تر برای استقرار گونه می‌باشند. برای ارزیابی مدل از ۷۰٪ از نقاط نمونه برای آموزش و ۳۰٪ برای آزمون مدل استفاده شد. با توجه به محدود بودن تعداد نقاط حضور گونه (۲۳ نقطه)، اختصاص ۷۰٪ داده‌ها به مجموعه آموزش، امکان یادگیری کافی ویژگی‌های محیطی گونه توسط مدل را فراهم می‌سازد، درحالی‌که ۳۰٪ داده‌های باقی‌مانده برای آزمون، امکان ارزیابی دقت پیش‌بینی

مدل و کاهش خطر بیش برآزش را به طور مؤثر فراهم می‌کند. دقت مدل با استفاده از مساحت زیر منحنی (AUC) نمودار تشخیص عملکرد نسبی (ROC) ارزیابی شد. مقدار AUC میزان دقت و کارایی مدل را در تمایز بین نقاط حضور و غیاب گونه نشان می‌دهد. دامنه این شاخص از ۰ تا ۱ است؛ مدل با مقدار AUC بین ۰/۵ تا ۰/۷ دارای دقت پایین، بین ۰/۷ تا ۰/۸ دارای دقت متوسط، ۰/۸ تا ۰/۹ دارای دقت خوب و ۰/۹ تا ۱ دارای دقت بسیار بالا است (Matsane et al., 2025). در نهایت، نقشه رویشگاه مطلوب در پنج کلاس شامل تناسب بسیار کم (0-0.2)، کم (0.2-0.4)، متوسط (0.4-0.6)، بالا (0.6-0.8) و بسیار بالا (0.8-1) در نرم‌افزار GIS طبقه‌بندی شد.

### محدوده مورد مطالعه

استان لرستان با مساحت ۲۸۵۵۹ کیلومتر مربع در جنوب غرب ایران، ۱/۷ درصد از کل مساحت کشور را در برمی‌گیرد. این استان بین ۴۶° ۵۱' تا ۵۰° ۱۰' طول شرقی و ۳۲° ۳۲' تا ۳۴° ۲۳' عرض شمالی واقع شده است. بر اساس آمار بلندمدت ایستگاه‌های هواشناسی موجود در استان لرستان (۱۳۶۶-۱۳۹۲)، میانگین بارش سالانه استان ۴۹۸/۶ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۵/۲ درجه سلسیوس است (یاراحمدی و بیرانوند، ۱۳۹۳: ۴۵). این استان با وجود وسعت نسبتاً کم، از تنوع آب‌وهوایی قابل توجهی برخوردار است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن اکثر مناطق استان، دارای اقلیم معتدل با تابستان خشک (Csa) و بر اساس طبقه‌بندی دمارتن به جز ایستگاه‌های دورود و نورآباد که دارای اقلیم نیمه مرطوب و همچنین ایستگاه‌های ازنا و الشتر که دارای اقلیم مدیترانه‌ای هستند، دیگر مناطق استان دارای اقلیم نیمه‌خشک هستند. همچنین بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه به جز ایستگاه‌های پلدختر و دورود که به ترتیب دارای اقلیم خشک گرم و مرطوب سرد هستند، دیگر مناطق استان دارای اقلیم خشک تا نیمه‌خشک سرد هستند (یاراحمدی و بیرانوند، ۱۳۹۳: ۶۶). در این راستا بر اساس نتایج بررسی میدانی نیز مشخص شد که گون گزی عمدتاً رویشگاه‌های کوهستانی مانند قالی‌کوه، تمندر و اشترانکوه در شهرستان‌های الیگودرز، ازنا، الشتر و نورآباد که دارای اقلیم خشک تا نیمه‌خشک سرد (طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه) هستند، پراکنش دارد. این گونه در طول دوره رشد رویشی خود به رطوبت ذخیره‌شده در خاک ناشی از بارش‌های زمستانه و ذوب برف وابسته است، به گونه‌ای که این رطوبت نقش اساسی در جوانه‌زنی، استقرار و تداوم رشد آن ایفا می‌کند. بنابراین، اقلیم‌های نیمه‌خشک سرد با تمرکز بارش در فصل زمستان و تابستان‌های گرم و خشک، شرایط اکولوژیکی مطلوبی را برای حضور گون گزی فراهم می‌سازند. علاوه بر این، دماهای پایین فصل زمستان از طریق تأمین نیاز سرمایی (ورنالیزاسیون) اندام‌های رویشی و زایشی، نقش مهمی در القای گل‌دهی و تکمیل چرخه فنولوژیکی این گونه ایفا می‌کنند.



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط حضور گونه

## یافته‌ها

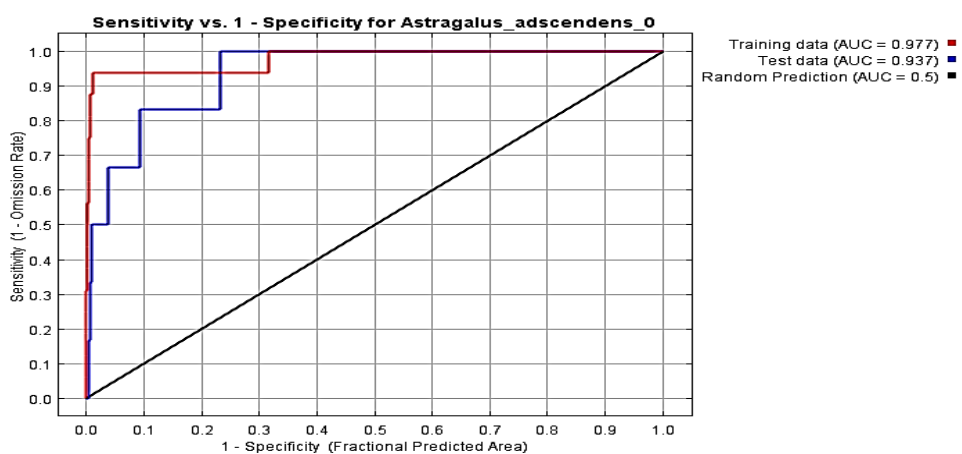
### ویژگی‌های اقلیمی رویشگاه‌های گون گزی

رویشگاه‌های گون گزی در استان لرستان (الیگودرز، ازنا، الشتر و نورآباد) بر اساس داده‌های اقلیمی بلندمدت (۲۰۰۰-۲۰۲۳)، دارای میانگین بارش سالانه بیش از ۳۵۰ میلی‌متر هستند که بخش عمده آن در فصول سرد سال دریافت می‌شود. تمرکز بارش در فصل سرد، به‌ویژه به‌صورت بارش برف، از طریق افزایش ذخیره رطوبت خاک و کاهش تبخیر، نقش تعیین‌کننده‌ای در تأمین نیاز آبی گونه در طول فصل رشد ایفا می‌کند؛ از این‌رو، بارش فصل سرد به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی کنترل‌کننده پراکنش گون گزی شناخته می‌شود. میانگین بارش سالانه در ایستگاه‌های الیگودرز، ازنا، الشتر و نورآباد به ترتیب ۳۸۷، ۴۲۱، ۴۶۵ و ۴۶۴ میلی‌متر است که عمدتاً در زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد. در ماه‌های ژانویه و فوریه، که هم‌زمان با دوره خواب زمستانه گونه است، بارش قابل توجهی به‌صورت برف و باران دریافت می‌شود؛ به‌طوری‌که مقدار بارش ماهانه در این دوره زمانی به ترتیب در الیگودرز (۵۲ و ۴۵ میلی‌متر)، ازنا (۶۰ و ۴۸ میلی‌متر)، الشتر (۶۵ و ۶۳ میلی‌متر) و نورآباد (۵۹ و ۵۸ میلی‌متر) می‌باشد. در همین زمان، دما به کمترین میزان خود در ماه ژانویه (۵/۵-، ۸/۱-، ۵/۵- و ۶/۲- درجه سلسیوس به ترتیب در الیگودرز، ازنا، الشتر و نورآباد) می‌رسد. به این ترتیب در دوره سرد سال، شرایط بسیار سرد و مرطوبی ایجاد می‌شود که برای دوره خواب زمستانه گون گزی بسیار مفید است. گون گزی معمولاً در مناطقی با متوسط دمای سالانه بین ۳ تا ۱۳ درجه سلسیوس رشد می‌کند (شعبانی و همکاران، ۱۴۰۴: ۱۸۵) و نتایج این پژوهش نیز نشان داد که متوسط دمای سالانه رویشگاه‌های مورد بررسی نیز در همین بازه دمایی بهینه (۱۳ درجه سلسیوس) قرار دارد. با آغاز دوره رشد رویشی در فصل بهار، بارش‌های مناسبی در ماه‌های مارس و آوریل (به‌طور متوسط بین ۵۸ تا ۷۷ میلی‌متر) دریافت می‌شود که ضمن تأمین رطوبت خاک، امکان جوانه‌زنی و رشد اندام‌های رویشی را فراهم می‌کند. همچنین شرایط دمایی مطلوب در ماه مارس (۷ تا ۷/۴ درجه سلسیوس) شرایط مناسبی را برای آغاز رشد رویشی فراهم می‌کند. در مقابل، در دوره گرم سال متوسط دما افزایش یافته که بیشینه آن در ماه جولای به میزان ۳۴ درجه سلسیوس در الیگودرز و نورآباد و ۳۵ درجه سلسیوس در ازنا و الشتر رخ می‌دهد. افزایش دما همگام با کاهش رطوبت نسبی (۲۲ تا ۲۳ درصد) در این بازه زمانی به پایان مرحله گلدهی و آغاز رسیدن میوه کمک می‌کند. تداوم گرما و کاهش رطوبت نسبی، شرایط را برای رسیدن

و ریزش بذرها فراهم می‌کند و به این ترتیب چرخه رشد گون گزی تکمیل می‌شود. به طور کلی، شرایط اقلیمی رویشگاه‌های گون گزی در استان لرستان با نیازهای اکولوژیکی گونه مطابقت مناسبی دارد. رویشگاه الیگودرز به دلیل بارش سالانه کمتر (۳۸۷ میلی‌متر) و سرمای شدید زمستانی (۵/۵- درجه سلسیوس) فصل رشد کوتاه‌تری دارد، اما سرمای کافی زمستانی شرایط مطلوبی برای ورنالیزاسیون و گل‌دهی کامل فراهم می‌کند. در الشتر، بارش بالاتر (۴۶۵ میلی‌متر) و زمستان‌های ملایم‌تر (۳/۵- تا ۵/۵- درجه سلسیوس) رشد رویشی و توسعه برگ‌ها را تسهیل می‌کند، اگرچه سرمای کمتر زمستانی ممکن است ظرفیت ورنالیزاسیون و عملکرد زایشی گونه را محدود نماید. رویشگاه ازنا با بارش سالانه مناسب (۴۲۱ میلی‌متر) و سرمای کافی زمستانی (۸/۱- تا ۴/۲- درجه سلسیوس) شرایط مساعدتری برای رشد پایدار و توسعه اندام‌های رویشی و زایشی گون گزی فراهم می‌کند، درحالی‌که شرایط نورآباد مشابه ازنا بوده و امکان تکمیل چرخه رشد گونه را به طور متعادل و پایدار فراهم می‌آورد. به طور کلی، نتایج نشان داد که رویشگاه‌های گون گزی در استان لرستان در محدوده اقلیم‌های خشک تا نیمه‌خشک سرد قرار دارند که با تمرکز بارش در فصل سرد، دماهای پایین زمستانی و تابستان‌های گرم و خشک، شرایط اکولوژیکی مناسبی را برای استقرار، رشد و تکمیل چرخه فنولوژیکی این گونه فراهم می‌سازند.

### منحنی ROC و شاخص AUC

در شکل ۳، منحنی ROC که رابطه بین دو معیار مهم حساسیت و ویژگی<sup>۱</sup> را نشان می‌دهد، ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، منحنی‌های داده‌های آموزشی (قرمز) و داده‌های آزمون (آبی) به طور محسوسی از خط تشخیص تصادفی ( $AUC = 0.5$ ) فاصله دارند که نشان‌دهنده دقت بالا و توان مدل در تمایز بین زیستگاه‌های مناسب و نامناسب گون گزی است. مقدار AUC برای داده‌های آموزشی برابر با ۰.۹۷۷ و برای داده‌های آزمون برابر با ۰.۹۳۷ بود، که نشان می‌دهد حساسیت مدل برای داده‌های آموزشی و آزمون به طور متوسط ۰.۹ است. به طور کلی، این مقدار حساسیت بیانگر دقت بسیار خوب و تعمیم‌پذیری بالای مدل در پیش‌بینی پراکنش گونه در مناطق مختلف است؛ به طوری‌که مدل بدون بیش‌برازش قادر است الگوی پراکنش گونه را در داده‌های مستقل نیز به درستی پیش‌بینی کند. این نتایج نشان می‌دهد که مدل مکسنت با دقت بالایی قادر است مناطق مناسب و نامناسب برای حضور گون گزی را از یکدیگر تمایز دهد و خروجی آن از اعتبار آماری قابل‌قبولی برخوردار است. مقدار بالای AUC همچنین نشان‌دهنده توان تبیین بالای مجموعه متغیرهای ورودی است و مدل مکسنت با استفاده از آن‌ها، الگوی پراکنش گون گزی را به خوبی برآورد کرده است.



شکل ۳. منحنی ROC و مقدار AUC مدل پراکنش گونه گون گزی در استان لرستان

#### 1. Sensitivity & Specificity.

## سهم نسبی متغیرهای محیطی

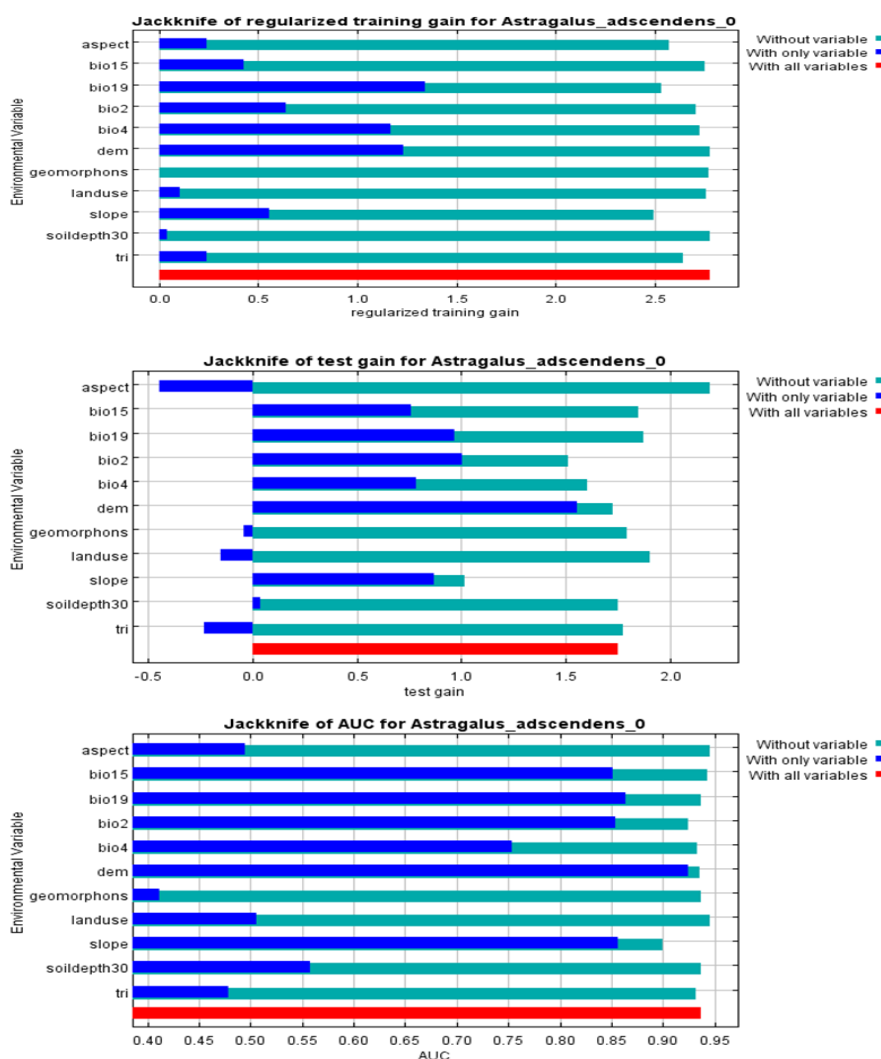
مهم‌ترین متغیرهای زیست‌اقليمی تأثیرگذار روی پراکنش گونه گون گزی در جدول ۲ ارائه شده است که سهم نسبی یا اهمیت متغیرهای محیطی را در مدل مکسنت نشان می‌دهد. نتایج حاصل از سهم نسبی یا اهمیت متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش گون گزی نشان داد که بارندگی در فصل سرد سال (Bio19) با اهمیت جایگشتی ۴۹/۴٪ و سهم نسبی ۲۶/۶٪ مهم‌ترین عامل مؤثر در پراکنش گون گزی است. این یافته نشان می‌دهد که پراکنش گون گزی به شدت به بارش فصل زمستان وابسته است و در مناطقی با میزان بارش سالانه بالا و پوشش برفی قابل توجه حضور دارند. در مقابل، تغییرات فصلی دما (Bio4) با وجود اینکه سهم نسبی بالایی بر پراکنش گون گزی (۲۹/۶٪) دارد، اهمیت جایگشتی کمتری (۰/۷٪) دارد و این اختلاف نشان‌دهنده همبستگی بالای آن با سایر متغیرهای اقلیمی است. پس‌از آن شیب با اهمیت جایگشتی ۳۱/۸٪ و سهم نسبی ۲۳/۸٪ دومین متغیر مؤثر بر پراکنش گون گزی می‌باشد که پراکنش و حضور این گونه در دامنه‌های پرشیب با زهکشی بهتر و شرایط خرد اقلیمی مطلوب‌تر بیش از اراضی مسطح و کم شیب است. جهت شیب اگر چه اهمیت جایگشتی (۱/۸٪) کمی دارد، اما با سهم نسبی ۶٪ در ترکیب با شیب اختلاف قابل توجهی در میزان دما و تابش دریافتی دامنه‌های مختلف ایجاد می‌کند. علاوه بر این، میانگین دامنه دمای روزانه (Bio2) با اهمیت جایگشتی ۸/۵٪ و سهم نسبی ۵/۳٪ و شاخص زبری و ناهمواری زمین با اهمیت جایگشتی ۶/۵٪ و سهم نسبی ۳/۸٪ به عنوان عوامل فرعی نقش قابل توجهی در پراکنش و حضور دارد. سایر متغیرها شامل ارتفاع، ژئومورفون، تغییرات فصلی بارندگی (Bio15)، کاربری اراضی و خاک به ترتیب با سهم نسبی ۲/۸، ۰/۷، ۰/۴، ۰/۱ و ۰ درصد نقش کمتری در پراکنش گون گزی دارند. به این ترتیب می‌توان گفت که پراکنش گون گزی متأثر از دما و بارش فصل سرد سال و ارتفاعات پرشیب و ناهموار برف‌گیر است.

جدول ۲. سهم تأثیرگذاری (اهمیت) متغیرهای زیست‌محیطی در مدل Maxent

اهمیت جایگشتی	درصد سهم نسبی	متغیر
۰/۷	۲۹/۶	Bio4
۴۹/۴	۲۶/۶	Bio19
۳۱/۸	۲۳/۸	شیب
۱/۸	۶/۶	جهت شیب
۸/۵	۵/۳	Bio2
۶/۵	۳/۸	شاخص ناهمواری زمین (TRI)
۰/۵	۲/۸	ارتفاع
۰/۵	۰/۷	شکل و فرم زمین (Geomorphons)
۰	۰/۴	Bio15
۰/۳	۰/۴	کاربری اراضی
۰	۰/۱	بافت خاک (۳۰ سانتی‌متری)

در شکل ۴ آزمون جک نایف (Jackknife) بر اساس Training gain، Test gain، Test AUC در سه حالت مدل (بدون متغیری خاص، تنها با یک متغیر خاص، و با تمام متغیرها) ارائه شده است. بر اساس Training Gain، که میزان توضیح دهنده هر متغیر در فرآیند آموزش مدل را نشان می‌دهد، مشخص شد که مجموع بارندگی در سردترین فصل سال (Bio19) بیشترین میزان regularized training gain و بالاترین قدرت توضیح دهنده را دارد. بنابراین بارش فصل زمستان نقش تعیین‌کننده‌ای در تعیین زیستگاه مناسب گونه و مهم‌ترین عامل مؤثر بر پراکنش و رشد گون گزی است. به این ترتیب حذف این متغیر باعث بیشترین کاهش دقت مدل می‌شود. همچنین حذف متغیر شیب از مدل موجب

کاهش در دقت مدل regularized training gain می‌شود، که بیانگر نقش قابل توجه توپوگرافی در ایجاد شرایط مناسب برای پراکنش و استقرار گون گزی دارد. شیب زمین با تأثیر بر زهکشی، تجمع رطوبت خاک و تغییرات میکروکلیمایی، شرایط زیستگاهی مطلوب برای استقرار گونه را فراهم می‌کند. متغیرهای فرعی مانند تغییرات فصلی بارش (BIO15) و دامنه میانگین دمای روزانه (BIO2) اگرچه نسبت به BIO19 اهمیت کمتری دارند، اما در تعیین شرایط زیستگاه مناسب نقش قابل توجهی دارند. این متغیرها در نتایج Test gain و AUC که توان تعمیم و افزایش دقت کلی مدل را نشان می‌دهند، نیز توان پیش‌بینی بالایی نشان دادند و حذف آن‌ها باعث کاهش دقت مدل می‌شود. بنابراین مجموع بارندگی در سردترین فصل سال و توپوگرافی بیشترین تأثیر را بر دقت پیش‌بینی مدل دارند، و حذف آن موجب بیشترین کاهش در دقت مدل می‌شود، درحالی‌که متغیرهای مکملی مانند فصلی بودن بارش و نوسانات دمایی موجب تعیین دقیق زیستگاه‌های مناسب این گونه شود.

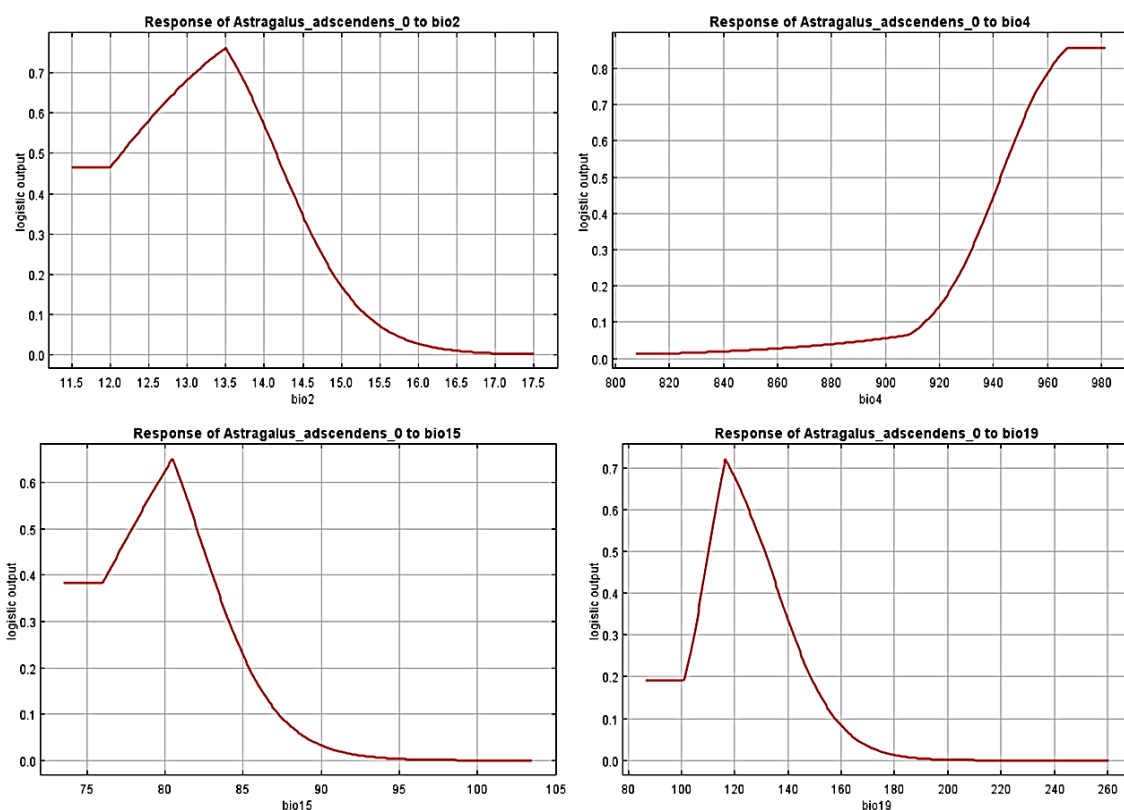


شکل ۴. نتایج آزمون جک نایف برای تعیین اهمیت متغیرهای محیطی در توسعه مدل

### پاسخ گونه به متغیرهای محیطی

در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نمودارهای پاسخ گونه گون گزی به متغیرهای اقلیمی و محیطی نشان داده شده است. در این نمودارها میزان تأثیر هر متغیر بر گونه گون گزی نشان داده شده است. در شکل ۵ پاسخ گونه گون گزی به متغیرهای

میانگین دامنه دمای روزانه (Bio2)، تغییرات فصلی دما (Bio4)، تغییرات فصلی بارندگی (Bio15) و مجموع بارندگی سردترین فصل سال (Bio19) ارائه شده است. ارزیابی منحنی‌های پاسخ گونه نشان داد که پراکنش گونه گون گزی تحت تأثیر الگوهای مشخصی از بارش و دما قرار دارد و هر یک از متغیرهای اقلیمی در تعیین زیستگاه بالقوه این گونه نقش قابل توجهی دارند. منحنی پاسخ گون گزی نسبت به Bio19 الگوی کاهشی داشت؛ به طوری که بیشترین احتمال حضور گونه در محدوده بارش زمستانی بین ۱۰۰-۱۴۰ میلی‌متر مشاهده شد، اما با افزایش بارش به بیش از ۱۶۰ میلی‌متر حضور آن به شدت کاهش یافت. این الگو از دیدگاه بوم‌شناختی منطقی است، زیرا زیستگاه این گونه غالباً در مناطق نیمه‌خشک کوهستانی قرار دارد که بارش‌های کم تا متوسطی دریافت می‌کنند. گون گزی برای آغاز فصل رشد خود به ذخیره رطوبتی خاک در زمستان نیاز دارد و بارش‌های متوسط موجب تأمین ذخایر رطوبتی مورد نیاز برای آغاز فصل رشد می‌شود. در مقابل، اشباع خاک و شرایط بسیار مرطوب زمستانی برای این گونه بسیار نامطلوب است؛ زیرا بارش زیاد باعث اشباع خاک، افزایش بیماری‌های قارچی خاک‌زاد و تقویت رقابت با گونه‌های رطوبت دوست می‌شود و در نتیجه احتمال حضور گون گزی کاهش می‌یابد. بنابراین این گونه معمولاً در دامنه‌ها و ارتفاعاتی رویش دارد که ضمن برخورداری از بارش کافی زمستانی، به دلیل زهکشی مناسب از ماندابی شدن خاک جلوگیری می‌شود. نتایج پاسخ گونه گون گزی به متغیر تغییرات فصلی بارندگی (Bio15) نشان داد که احتمال حضور گونه در مقادیر کمتر از ۷۵ پایین است و با افزایش تغییرپذیری بارش ( $CV > 80$ ) افزایش یافته و سپس به تدریج کاهش می‌یابد و در مقادیر بالاتر از ۹۰ تقریباً به صفر می‌رسد. این الگو نشان می‌دهد که توزیع زمانی مناسب بارش نقش قابل توجهی در حضور گونه دارد و بارش مناسب و کافی تنها در صورتی مفید است که در یک فصل مشخص (زمستان-بهار) برای گونه متمرکز باشد. گون گزی عمدتاً در مناطق نیمه‌خشک کوهستانی رشد می‌کند که بارش‌ها در یک فصل مشخص (زمستان-بهار) متمرکز هستند و تابستان‌ها خشک هستند. این الگوی بارشی باعث می‌شود که گونه از ذخیره رطوبتی دوره مرطوب برای جوانه‌زنی و رشد استفاده کند و در فصل خشک با بهره‌گیری از استراتژی‌های سازگاری مانند ریشه‌های عمیق، برگ‌های کوچک، کاهش تبخیر در برابر تنش‌های محیطی مقاومت کند. الگوی پاسخ گونه گون گزی به تغییرات فصلی دما (Bio4) نشان داد که احتمال حضور گونه در بازه ۸۲۰-۹۲۰ انحراف معیار دما نسبتاً ثابت است و در حد بسیار پایین است، به گونه‌ای که حضور گونه تقریباً صفر است. این امر نشان می‌دهد که گون گزی در مناطق معتدل با نوسانات حرارتی اندک رشد نمی‌کند. از مقدار ۹۴۰ به بالا احتمال حضور افزایش یافته و به ۰/۸۵-۰/۸ می‌رسد. این الگو از نظر بوم‌شناختی منطقی است، زیرا گونه گون گزی در برابر نوسانات دمایی شدید بسیار سازگار است و در مناطق کوهستانی و نیمه‌خشک ایران با دامنه نوسان بالای دما به خوبی رشد می‌کند. این سازگاری فیزیولوژیک و اکولوژیک موجب می‌شود که این گونه دامنه پراکنش اکولوژیک خود را گسترش دهد، بدون آنکه حضور گونه به طوری محدود شود. تحلیل نمودار پاسخ گونه نسبت به میانگین دمای روزانه (Bio2) نشان داد که دمای بهینه برای رشد گون گزی ۱۳-۱۴ درجه سلسیوس است و در این محدوده دمایی احتمال حضور گونه نزدیک ۰/۷۵-۰/۷ است. احتمال حضور این گونه در محدوده دمایی ۱۱/۵-۱۲ درجه سلسیوس متوسط (۰/۶-۰/۳) است. این در حالی است که به تدریج با افزایش دما به بیش از ۱۵ درجه سلسیوس، احتمال حضور به تدریج کاهش یافته و در دمای ۱۶/۵ تا ۱۷ درجه تقریباً به صفر می‌رسد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که حضور و پراکنش گون گزی به شرایط خاصی از رطوبت زمستانی، تغییرپذیری بارش و الگوهای دمایی وابسته است و هر گونه تغییر در این متغیرها تحت شرایط تغییر اقلیم می‌تواند زیستگاه‌های مناسب کنونی این گونه را به زیستگاه‌های نامطلوب تبدیل کرده و پراکنش آینده آن را تحت تأثیر قرار دهد.

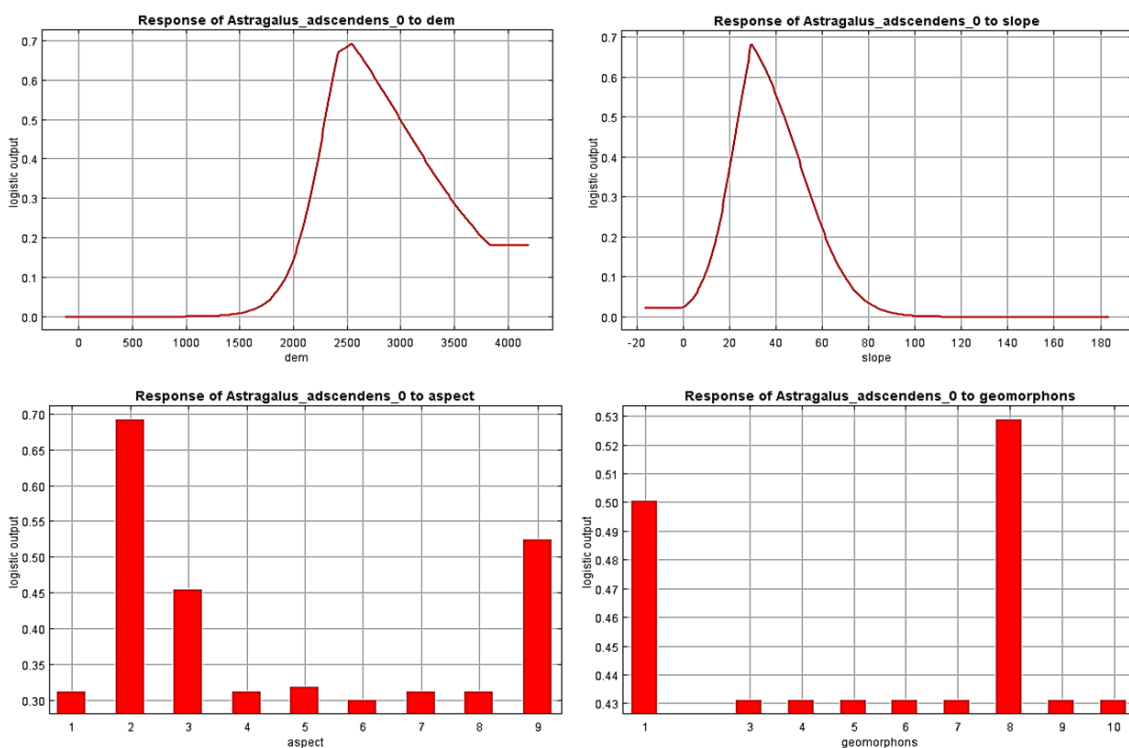


شکل ۵. منحنی‌های پاسخ گونه گزی به متغیرهای اقلیمی

در شکل ۶ پاسخ گونه گزی به متغیرهای ارتفاع، شیب، جهت شیب و ژئومورفون نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، احتمال حضور و پراکنش گونه از ۱۵۰۰ متر به تدریج افزایش یافته و بیشترین احتمال حضور در بازه ۲۴۰۰-۲۷۰۰ متر قرار دارد (logistic  $\approx 0.65-0.7$ ). این بازه ارتفاعی به دلیل برخورداری از شرایط دمایی و رطوبتی مناسب و دسترسی به منابع غذایی، زیستگاه‌هایی ایده‌آل برای گزی فراهم می‌کند. در ارتفاعات بالاتر از ۳۰۰۰ متر احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد (logistic  $\approx 0.3-0.2$ ). در این ارتفاعات به دلیل دمای پایین‌تر احتمال یخ‌زدگی گونه بیشتر و فصل رویش کوتاه‌تر می‌شود و به این ترتیب زیستگاه مناسبی برای گزی نمی‌باشند. در ارتفاعات پایین‌تر از ۱۰۰۰ متر نیز احتمال حضور گونه تقریباً صفر است (logistic  $\approx 0$ ), زیرا در این نواحی دمای بالا و تبخیر زیاد موجب کاهش منابع رطوبتی و نامناسب شدن شرایط زیستگاهی می‌شود. تحلیل اثر شیب بر پراکنش گزی نشان داد که بیشترین احتمال این گونه در شیب‌های متوسط (حدود ۳۰-۴۰ درصد) می‌باشد (logistic  $\approx 0.65-0.68$ ). در این شیب‌ها تعادل مناسبی میان زهکشی و حفظ رطوبت خاک وجود دارد و عمق خاک کافی برای استقرار ریشه‌ها فراهم می‌باشد؛ از این رو شرایط اکولوژیکی بهینه‌ای برای این گونه فراهم می‌شود. در مقابل در شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد و همچنین در شیب‌های بیش از ۴۰ درصد نیز احتمال حضور به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، به طوری که در شیب‌های ۶۰-۷۰ درصد زیستگاه مطلوب تقریباً به صفر می‌رسد. شیب‌های کم معمولاً تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی و چرای دام قرار دارند و تبخیر بالاتر در این نواحی موجب خشکی خاک و کاهش تنوع گیاهی می‌شود. از سوی دیگر، شیب‌های بسیار تند به دلیل عمق خاک اندک، فرسایش شدید و محدودیت در دسترسی به منابع غذایی، برای پراکنش این گونه مناسب نیستند.

بررسی نمودار پاسخ گونه به جهت شیب نشان داد که بیشترین احتمال حضور گزی در دامنه‌های شمالی و شمال شرقی وجود دارد. این دامنه‌ها معمولاً در سایه قرار دارند و به دلیل رطوبت بالاتر و دمای کمتر، مناسب‌ترین شرایط را برای

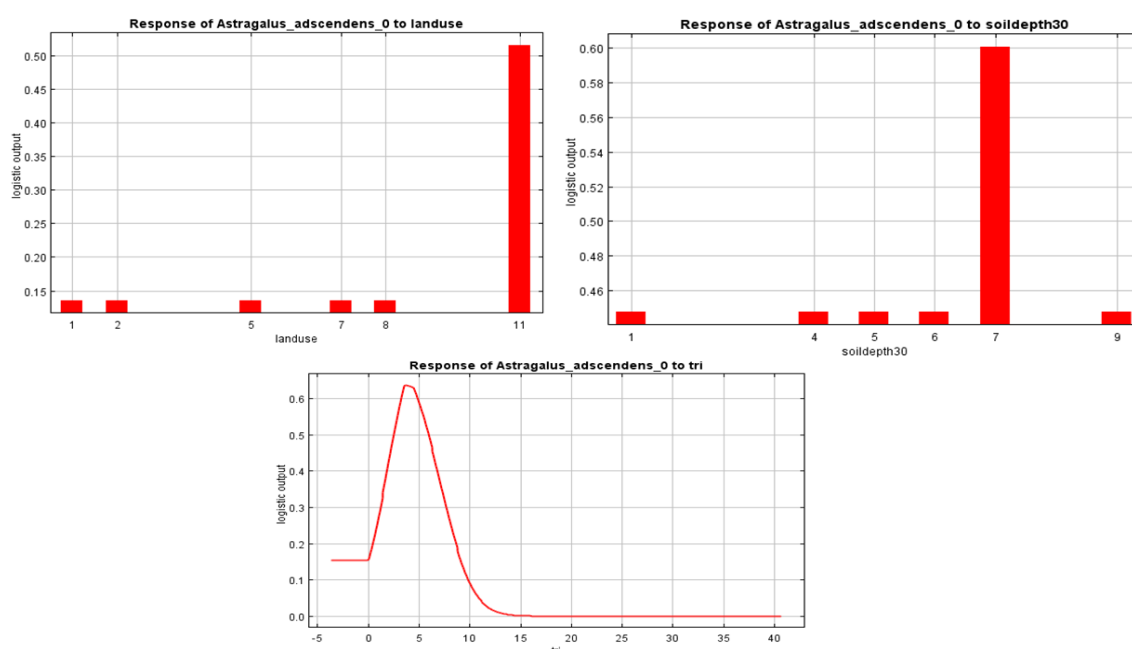
حضور گونه فراهم می‌کنند. در مقابل، شرایط زیستی گونه در دامنه‌های جنوبی و جنوب غربی محدود بوده و کمترین احتمال حضور را دارند. این دامنه‌ها در معرض تابش مستقیم خورشید قرار دارند، گرم‌تر و خشک‌تر هستند و رطوبت خاک در این مناطق سریع‌تر تبخیر می‌شود؛ در نتیجه شرایط اکولوژیکی نامناسبی برای حضور گون گزی ایجاد می‌شود. فرم زمین که بر اساس شاخص ژئومورفون تعیین شده است، نقش مهمی در شکل‌گیری شرایط اکولوژیک زیستگاه‌ها دارد، زیرا ویژگی‌هایی مانند تجمع آب، پوشش گیاهی، تابش خورشید و حفاظت در برابر باد به‌شدت تحت تأثیر ساختار و مورفولوژی زمین قرار دارند. با توجه به نمودار پاسخ گونه به ژئومورفون، گون گزی بیشترین احتمال حضور را در نواحی پایکوه و دامنه‌های معمولی دارد. در این مناطق، رطوبت بیشتری در خاک تجمع می‌یابد و شرایط مساعدتری برای رشد پوشش گیاهی و دسترسی به منابع غذایی فراهم می‌شود. از سوی دیگر، پوشش گیاهی مناسب در این مناطق امکان حفاظت این گونه در برابر باد و تابش مستقیم را فراهم می‌کند. در مقابل، در قله و شانه کوه کمترین شرایط مطلوب برای حضور و پراکنش گون گزی وجود دارد (logistic  $\approx 0.43-0.44$ ). این مناطق غالباً فاقد پوشش گیاهی هستند و در نتیجه حفاظت طبیعی گونه در برابر باد و تابش مستقیم خورشید کاهش می‌یابد؛ همچنین، شرایط گرم و خشک این مناطق دسترسی گونه به آب و منابع غذایی را محدود می‌کند.



شکل ۶. منحنی‌های پاسخ گونه گون گزی به متغیرهای ارتفاع، شیب، جهت شیب و لندفرم

پراکنش گونه گون گزی به‌شدت تحت تأثیر ناهمواری زمین قرار دارد. به طوری که برازش مدل لجستیک پاسخ گونه به ناهمواری زمین نشان داد که بیشترین احتمال حضور در زمین‌های نسبتاً صاف با ناهمواری کمتر از ۵ رخ می‌دهد (Logistic  $\approx 0.6-0.65$ ). با افزایش ناهمواری، احتمال حضور به‌صورت غیرخطی کاهش می‌یابد، به طوری که در مناطقی با ناهمواری برابر با ۱۰ حضور گونه به‌سرعت کاهش می‌یابد و در زمین‌های بسیار ناهموار با ناهمواری بالای ۲۰، احتمال حضور گونه تقریباً به صفر می‌رسد. بنابراین در این مناطق شرایط محیطی برای استقرار گون گزی به‌شدت نامساعد می‌باشد. این الگو

نشان می‌دهد شیب زیاد و پستی‌وبلندی، با ایجاد تنش‌های محیطی مانند فرسایش، کاهش رطوبت خاک، سختی دسترسی ریشه، زیست‌گاه گون گزی را محدود می‌کند. در نتیجه، گون گزی در زیستگاه‌هایی با ناهمواری ملایم حضور بیشتری دارد، درحالی‌که احتمال حضور آن در دشت‌های کاملاً صاف، قله‌های سنگی یا شیب‌های خیلی تند بسیار پایین است. نتایج مربوط به پاسخ گونه گون گزی به بافت خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری نشان داد که خاک‌های لومی شرایط مطلوبی برای پراکنش و حضور این گونه دارد و احتمال حضور آن در این خاک‌ها به بیشینه مقدار خود می‌رسد ( $\text{logistic} \approx 0.6$ ). در این نوع خاک، به دلیل تعادل میان زهکشی، نگهداشت رطوبت و تهویه، شرایط مطلوبی برای نفوذ و گسترش ریشه‌ها و نیز تثبیت نیتروژن فراهم می‌شود. این در حالی است که، در خاک‌های با بافت سنگین مانند رسی به دلیل تهویه ضعیف و رطوبت بالا و خاک‌های سبک مانند لوم شنی به دلیل از ظرفیت نگهداری رطوبت پایین شرایط مناسب و مطلوب برای حضور و پراکنش گون گزی کاهش می‌یابد ( $\text{logistic} \approx 0.44-0.48$ ). بررسی نمودار پاسخ گون گزی به کاربری اراضی نشان داد که بیشترین احتمال حضور این گونه در مراتع و زمین‌های فاقد پوشش است ( $\text{logistic} \approx 0.5$ ) (شکل ۷).

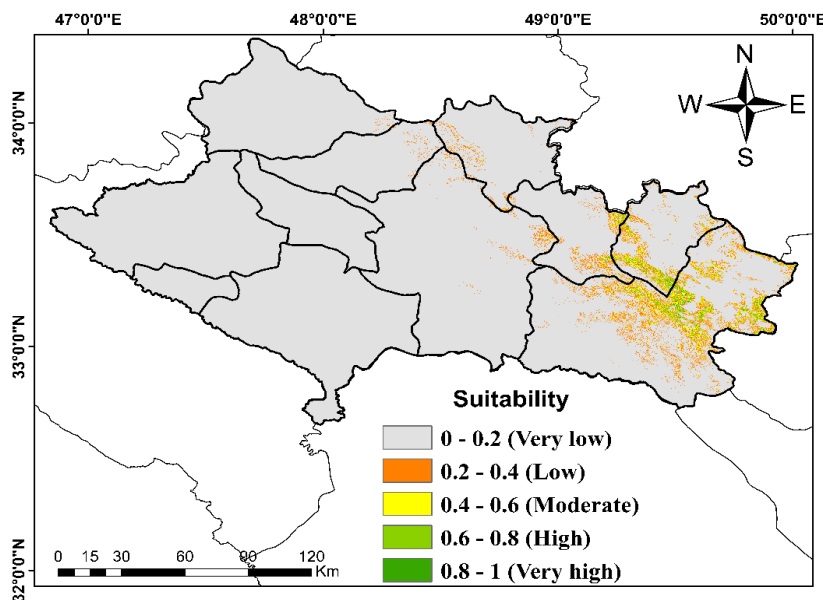


شکل ۷. پاسخ گونه گون گزی به متغیرهای کاربری اراضی، بافت خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری و ناهمواری زمین

### پراکنش گونه *Astragalus adscendens* در استان لرستان

در شکل ۸ نتایج مدل‌سازی پراکنش گونه گون گزی در استان لرستان نشان داده شده است. در این شکل، وضعیت مطلوبیت زیستگاه به پنج طبقه بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی شده است. با توجه به شکل ۸، در ۹۵ درصد از مساحت استان لرستان زیستگاه مطلوبی برای رویش گون گزی وجود ندارد و تنها در ۲/۲۷ کیلومترمربع از مساحت این استان، رویشگاه‌هایی با تناسب متوسط تا بسیار زیاد مشاهده می‌شود. این رویشگاه‌ها عمدتاً در نواحی شرقی و جنوب شرقی استان قرار دارند که دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم بوده و از توان بالایی برای رویش گون گزی برخوردارند. زیستگاه‌های با تناسب بسیار زیاد عمدتاً در محدوده ارتفاعات قالی کوه، کوهستان تمندر و اشترانکوه واقع است که تنها ۰/۶۵ کیلومترمربع از مساحت استان را در برمی‌گیرند. در این مناطق، متوسط بارش سالانه به‌طور متوسط بیش از ۳۵۰ میلی‌متر است و بیشترین میزان بارش در فصول سرد سال دریافت می‌شود. وقوع بارش مناسب در فصل سرد سال (به‌ویژه بارش برف) کمک می‌کند تا خاک رطوبت کافی را برای رشد گیاه در فصل گرم سال حفظ کند.

در دوره سرد سال، شرایط بسیار سرد و مرطوبی ایجاد می‌شود که برای دوره خواب زمستانه گون گزی بسیار مفید است. با آغاز دوره رشد رویشی در فصل بهار، بارش‌های مناسبی در ماه‌های مارس و آوریل (به‌طور متوسط بین ۵۸ تا ۷۷ میلی‌متر) دریافت می‌شود که ضمن تأمین رطوبت خاک، امکان جوانه‌زنی و رشد اندام‌های رویشی را فراهم می‌کند. همچنین میانگین دمای مطلوب در ماه مارس (حدود ۷ تا ۷/۴ درجه سلسیوس) شرایط مناسبی را برای آغاز رشد رویشی گونه فراهم می‌سازد.



شکل ۸. رویشگاه مطلوب و پراکنش پیش‌بینی‌شده برای گونه گون گزی در استان لرستان

## بحث

گون گزی یکی از گونه‌های انحصاری زاگرس مرکزی است که پراکنش قابل توجهی در ارتفاعات مناطق کوهستانی دارد. تعداد و تنوع گونه‌های مختلف گون در مناطق شمالی استان لرستان مانند الیگودرز، خرم‌آباد و نورآباد در مقایسه با مناطق جنوبی استان مانند کوه‌دشت و پل‌دختر بیشتر است. در این پژوهش بررسی‌های میدانی در مناطق از الیگودرز (قالی کوه و تمندر)، ازنا، الشتر و نورآباد به‌عنوان رویشگاه‌های اصلی گون گزی در استان در بهار و تابستان ۱۴۰۴ انجام شد و پراکنش گونه با استفاده از مدل مکسنت مدل‌سازی گردید. گیاه گون گزی یک گونه استپی-کوهستانی است که برای دوره رکود و شکستن خواب بذر نیاز به سرمای زمستان دارد. این گونه، در مناطقی با زمستان‌های سرد، تابستان‌های گرم و متوسط بارش‌های سالانه ۳۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر رشد و تراکم بهتری دارد. متوسط بارش سالانه در الیگودرز، ازنا، الشتر و نورآباد به ترتیب ۳۸۷، ۴۲۱، ۴۶۵ و ۴۶۴ میلی‌متر است که عمدتاً در فصل زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد. در همین راستا بررسی‌های میدانی نیز تأیید می‌کند که این گیاه در مناطق نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم (SA-K-W) حضور دارد. این یافته با مطالعات پیشین مانند پژوهش‌های پاکزاد و همکاران (۱۳۹۲:۱۹۹)، شعبانی و همکاران (۱۴۰۴:۱۸۵) و Haidarian et al (2021:152) مطابقت دارد که گزارش کرده‌اند بیشترین احتمال حضور گون گزی در زیستگاه‌هایی با بارش سالانه بین ۳۸۰ تا ۶۳۰ میلی‌متر می‌باشد. نتایج مدل مکسنت نشان داد که بارندگی در فصل سرد سال (Bio19) با اهمیت جایگشتی ۴۹/۴٪ و سهم نسبی ۲۶/۶٪ مهم‌ترین عامل مؤثر در پراکنش گون گزی است. بیشترین احتمال حضور گونه در محدوده بارش زمستانی بین ۱۰۰-۱۴۰ میلی‌متر مشاهده شد، اما با افزایش بارش به بیش از ۱۶۰ میلی‌متر حضور آن به‌شدت کاهش یافت. ذخیره رطوبتی زمستانی برای شروع فصل رشد و جوانه‌زنی این گونه ضروری است؛ با این حال

بارش زیاد در فصل زمستان به دلیل اشباع خاک، افزایش شیوع بیماری‌های قارچی و تقویت رقابت با گونه‌های رطوبت دوست، احتمال حضور گونه گون گزی را کاهش می‌دهد. این الگو سازگاری اکولوژیکی گون گزی با شرایط نیمه‌خشک و کوهستانی زیستگاه‌های طبیعی آن را نشان می‌دهد. بر اساس یافته‌های Haidarian et al (2021:152) و شعبانی و همکاران (۱۴۰۴:۱۸۵) نیز مشخص شد که بارش مهم‌ترین متغیر محیطی مؤثر بر پراکنش گونه گون گزی است. پس از بارش، شیب زمین با اهمیت جایگشتی % ۳۱/۸ و سهم نسبی % ۲۳/۸ دومین عامل مهم تعیین‌کننده پراکنش گونه بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، شیب‌های متوسط (۳۰-۴۰ درصد) شرایط بهینه زهکشی و حفظ رطوبت خاک را فراهم می‌کنند و بیشترین احتمال حضور گون گزی در دامنه‌های شمالی و شمال شرقی وجود دارد. این نتایج با یافته‌های آذری‌نیا و آریاپور (۱۴۰۳:۲۶) در منطقه ایوشان در خرم‌آباد و شعبانی و همکاران (۱۴۰۴:۱۸۵)، عظیمی و همکاران (۱۳۸۴: ۴۹۹) و Haidarian et al (2021:152) در دیگر مناطق ایران مطابقت دارد. نتایج نمودار پاسخ گونه نسبت به متغیرهای دمایی نشان داد که اگرچه تغییرات فصلی دما (Bio4) و میانگین دامنه دمای روزانه (Bio2) سهم نسبی بالایی دارند، اما اهمیت جایگشتی آن‌ها کمتر است که این امر نشان‌دهنده همبستگی بالای آن‌ها با سایر متغیرهای اقلیمی است. دمای بهینه برای حضور گونه در بازه دمایی ۱۳ تا ۱۴ درجه سلسیوس قرار دارد، درحالی‌که دماهای بالاتر از ۱۵ درجه سلسیوس احتمال حضور را به شدت کاهش می‌دهند. این ویژگی بیانگر سازگاری بالای گونه با نوسانات شدید دمایی و شرایط نیمه‌خشک و کوهستانی ایران است. علاوه بر این، منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی و توپوگرافی نشان داد که این گونه در دامنه ارتفاعی بین ۲۴۰۰ تا ۲۷۰۰ متر و در پایکوه‌ها و دامنه‌های شیب‌دار متوسط بیشترین احتمال حضور را دارد. در همین راستا آذری‌نیا و آریاپور (۱۴۰۳:۲۵) نیز نشان دادند که مناسب‌ترین زیستگاه این گونه در منطقه ایوشان خرم‌آباد در دامنه ارتفاعی ۲۴۰۰-۲۷۰۰ متر قرار دارد. همچنین این نتیجه با یافته‌های شعبانی و همکاران (۱۴۰۴:۱۸۵)، عظیمی و همکاران (۱۳۸۴: ۴۹۹) و Haidarian et al (2021:152) مطابقت دارد که نشان دادند این گونه در محدوده ارتفاعی ۱۵۰۰-۳۵۰۰ متر بیشترین تراکم حضور را دارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که، کاربری اراضی و خاک به ترتیب با سهم نسبی ۰/۴ و ۰/۱ درصد کمترین نقش را در پراکنش گون گزی دارند. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که پراکنش گونه گون گزی تحت تأثیر ترکیبی از عوامل اقلیمی (بارش زمستانی، نوسانات دمایی) و محیطی شامل توپوگرافی (شیب، جهت شیب، ارتفاع، ناهمواری زمین) و خاکی (بافت و ترکیب خاک) است. تغییر در هر یک از این عوامل، به‌ویژه در شرایط تغییر اقلیم، می‌تواند زیستگاه‌های مناسب گونه را کاهش دهد و پراکنش آینده آن را محدود کند. با این حال متغیرهایی محیطی مانند ارتفاع، ژئومورفون، کاربری اراضی و خاک به مراتب نقش کمتری در پراکنش گون گزی دارند و پراکنش گون گزی عمدتاً متأثر از دما و بارش فصل سرد سال و ارتفاعات پرشیب و ناهموار برف‌گیر است. نتایج مدل مطلوبیت زیستگاه نشان داد که به‌طور متوسط در ۹۵ درصد از مساحت استان لرستان شرایط مناسبی برای حضور گون گزی وجود ندارد و تنها ۲/۲۷ کیلومترمربع از اراضی آن، عمدتاً در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی استان، دارای تناسب متوسط تا بسیار زیاد هستند. زیستگاه‌های با مطلوبیت بسیار زیاد عمدتاً در ارتفاعات قالی‌کوه، تمندر و اشترانکوه واقع شده‌اند و حدود ۰/۶۵ کیلومترمربع از مساحت استان را شامل می‌شوند. این مناطق دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و بارش سالانه بیش از ۳۵۰ میلی‌متر هستند که عمدتاً در فصول سرد سال رخ می‌دهد. این نتایج با یافته‌های مهرنیا و معصومی (۱۳۹۶: ۶۵) در زمینه توزیع گون‌ها در استان لرستان و آذری‌نیا و آریاپور (۱۴۰۳:۳۲) در زمینه مطلوبیت زیستگاه ایوشان واقع در خرم‌آباد مطابقت دارد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که بارش زمستانی متوسط، دمای پایین و شیب‌های متوسط در ارتفاعات بالا، شرایط اکولوژیکی مطلوبی را برای رشد و استقرار این گونه فراهم می‌کند. بارش زیاد در فصل سرد موجب

اشباع خاک و افزایش رقابت با گونه‌های رطوبت دوست می‌شود، درحالی‌که بارش اندک منجر به محدودیت رطوبتی و کاهش جوانه‌زنی بذر می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مدل مکسنت عملکرد مناسبی در شناسایی و تعیین پراکنش گونه‌های گیاهی دارد؛ به‌طوری‌که زیستگاه‌های بالقوه گون گزی در استان لرستان را با دقت بالای  $AUC=0.97$  شناسایی نمود. بر اساس نتایج تحلیل‌های اقلیمی و محیطی، رویشگاه‌های گون گزی عمدتاً در اقلیم‌های نیمه‌خشک سرد قرار دارند، که با تمرکز بارش در فصل سرد، دماهای پایین زمستانی و تابستان‌های گرم و خشک مشخص می‌شوند. این شرایط اقلیمی، علاوه بر تأمین رطوبت خاک مورد نیاز برای جوانه‌زنی و رشد اندام‌های رویشی، امکان ورنالیزاسیون و تکمیل چرخه فنولوژیکی گونه را فراهم می‌آورد. مهم‌ترین ویژگی‌های گون گزی رویش در اقلیم‌های نیمه‌خشک و سرد شرق و جنوب شرقی استان، ارتفاعات ۲۴۰۰-۲۷۰۰ متر و همچنین شیب‌های ۳۰-۴۰ درصد است. مدل مکسنت نشان داد که پارامترهای محیطی نقش مهمی در رشد گون گزی دارند. بارش فصل سرد سال و شیب زمین مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده و محدودکننده حضور گونه هستند، درحالی‌که نوسانات دمایی، ارتفاع، ناهمواری زمین و ویژگی‌های خاک نقش‌های مکمل و فرعی برای رشد این گونه دارند. از آنجاکه متغیرهای اقلیمی و به‌ویژه بارش، نقش کلیدی در پراکنش گون گزی دارند، هرگونه تغییر در الگوی بارش یا افزایش دما می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر زیستگاه‌های مناسب آینده این گونه داشته باشد. بنابراین پیش‌بینی تغییرات پراکنش این گونه تحت تأثیر تغییر اقلیم و نیز عوامل انسانی مانند تغییر کاربری اراضی بسیار ضروری است. همچنین در شرایط کنونی، حفاظت از رویشگاه‌های موجود در ارتفاعات قالی‌کوه، تمندر و اشترانکوه و جلوگیری از تخریب این زیستگاه‌ها از طریق مدیریت چرا، کنترل تغییر کاربری اراضی و پایش مستمر شرایط اقلیمی به‌منظور پایداری و حفاظت بلندمدت این گونه در زیستگاه‌های طبیعی خود ضروری است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند نقش مهمی برای برنامه‌ریزی جهت مدیریت و حفاظت از رویشگاه‌های گون گزی، شناخت مناطق مناسب برای احیا و پراکنش گونه داشته باشد.

### حامی مالی

این پژوهش با حمایت مالی و امکانات پژوهشی دانشگاه لرستان انجام شده است و نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از این دانشگاه محترم بابت تأمین منابع مالی و فراهم ساختن زمینه‌های لازم برای انجام این تحقیق اعلام می‌دارد.

### سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

### تضاد و منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از تمام کسانی که در اجرای این پژوهش ما را همراهی و حمایت کردند، ابراز می‌دارند.

## منابع

- آذری‌نیا، روح‌اله و آریاپور، علی. (۱۴۰۳). مدل‌سازی پراکنش جغرافیایی رویشگاه گونه گون گزی (*Astragalus adscendens*) با روش آنالیز تحلیل سلسله مراتبی در منطقه ایوشان، خرم‌آباد. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۴ (۱)، ۲۰-۳۵. <https://doi.org/10.22034/emj.2025.725076>
- عظیمی، مژگان‌السادات؛ مصداقی، منصور و فرح‌پور، مهدی. (۱۳۸۴). بررسی رابطه جمعیت حشره مولد گز انگبین با معیارهای گون گزی (*Astragalus adscendens*) در منطقه فریدون‌شهر اصفهان. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۹ (۳)، ۲۴۳-۲۵۳. <https://doi.org/20.1001.1.24763594.1384.9.3.20.2.253-243>
- عظیمی، مژگان‌السادات؛ مصداقی، منصور؛ ریاضی، هوشنگ؛ فرح‌پور، مهدی و ایروانی، مجید. (۱۳۸۴). بررسی بوم‌شناختی گونه گون گزی (*Astragalus adscendens*) در منطقه فریدون‌شهر اصفهان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۲ (۴)، ۴۹۹-۵۲۴.
- پاکزاد، زهرا؛ رائینی‌سرجاز، محمود و خداقلی، مرتضی. (۱۳۹۲). بررسی اثر عوامل اقلیمی بر گسترش رویشگاه‌های گون گزی (*Astragalus adscendens*) در استان اصفهان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۰ (۱)، ۱۹۹-۲۱۲. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2013.3009>
- حسابی، عارف؛ علوی، سید جلیل و اسماعیل‌زاده، امید. (۱۴۰۴). ارزیابی صحت داده‌های اقلیمی پایگاه‌های اطلاعاتی WorldClim و Chelsa در سه استان شمالی کشور. پژوهش و توسعه جنگل، ۱۱ (۱)، ۱۰۹-۱۳۲. <https://doi.org/10.30466/jfrd.2025.55648.1743>
- مهرنیا، محمد و معصومی، علی‌اصغر. (۱۳۹۶). مطالعه پراکنش گونه‌های گون (*Astragalus L.*) در استان لرستان. تاکسونومی و بیوسیستماتیک، ۹ (۳۲)، ۶۵-۷۸. <https://doi.org/10.22108/tbj.2018.102162.1008>
- شعبانی، نسیم؛ ترکش‌اصفهانی، مصطفی؛ رجبی‌مظهر، علیرضا؛ صلاحی‌مقدم، نفیسه؛ اکبرزاده، پیمان؛ شادمان، حسن و خوشبخت، مهدی. (۱۴۰۴). بررسی تغییرات پراکنش گونه گون گزی *Astragalus adscendens* Boiss & Hausskn در استان اصفهان تحت اثر تغییر اقلیم. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۳۲ (۲)، ۱۸۵-۲۰۰. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2025.133606>
- شعبانی، نسیم و خوشبخت، مهدی. (شهریور ۱۴۰۱). اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه گون گزی با استفاده از مدل‌های تحلیل آشیان اکولوژیک و رگرسیون غیرپارامتریک مضربی. پنجمین همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط‌زیست، ارومیه، ایران.
- یاراحمدی، داریوش و بیرانوند، حجت‌اله. (۱۳۹۳). جغرافیای طبیعی لرستان. انتشارات دانشگاه لرستان.

## References

- Asaadi, A. & Yazdi, A. (2018). Ecological properties of medicinal plant of *Hymenocrater calycinus* (Boiss.) Benth. in north-eastern Khorasan, Iran. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 2, 189–198. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2018.118147>
- Azari Nia, R. & Ariapour, A. (2025). Modeling the geographical distribution of (*Astragalus adscendens*) habitat by Analytical Hierarchy Process in Ivshan rangelands of Lorestan province. *Management of Natural Ecosystems*, 4(1), 20-35. <https://doi.org/10.22034/emj.2025.725076> [In Persian].
- Azimi, M., Mesdaghi, M., & Farahpour, M. (2005). Study of the relationships of *Cyamophila dicora* loginova population and vegetation parameters of *Astragalus adscendens* in Feridounshahr, Isfahan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 9(3), 243–252. <https://doi.org/20.1001.1.24763594.1384.9.3.20.2> [In Persian].
- Azimi, M. S., Mesdaghi, M., Farahpour, M., Riazi, H., & Irvani, M. (2005). Ecological investigation of *Astragalus adscendens* in the Fereydunshahr region, Isfahan, Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 12(4), 407–416. [In Persian].

- Bayik, C., Becek, K., Mekik, Ç., & Ozendi, M. (2018). On the vertical accuracy of the ALOS World 3D-30 m digital elevation model. *Remote Sensing Letters*, 9(6), 607–615. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2018.1453174>.
- Boral, D., & Moktan, S. (2021). Predictive distribution modeling of *Swertia bimaculata* in Darjeeling-Sikkim Eastern Himalaya using MaxEnt: Current and future scenarios. *Ecological Processes*, 10 (26), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00294-5>
- Dai, X., Wu, W., Ji, L., Tian, S., Yang, B., Guan, B., & Wu, D. (2022). MaxEnt model-based prediction of potential distributions of *Parnassia wightiana* (Celastraceae) in China. *Biodiversity Data Journal*, 10, e81073. <https://doi.org/10.3897/BDJ.10.e81073>.
- Duan, D., Li, X., Zhou, X., Xu, H., Chen, J., Zhang, B., & Zhang, X. (2025). Linking species distribution and chemistry to support the management of *Saposhnikovia divaricata* under global change. *Scientific Reports*, 15, 25026. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-09450-9>.
- Eftekharifar, R., Kharazian, N., & Parishani, M. (2017). Investigation of flora, life form and geographical distribution of plant species in north-west of Ludab region, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province, Iran. *Progress in Biological Sciences*, 7(2), 135–145. <https://doi.org/10.22059/pbs.2020.275615.1329>.
- Elith, J., Graham, H. R., Anderson, R. P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J. (2011). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 31 (3), 228–237. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x>
- Haidarian, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh, M., & Tatian, M. R. (2021). The effects of climate changes on the future distribution of *Astragalus adscendens* in Central Zagros, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 11(2), 152–169.
- Hesabi, A., Alavi, S. J., & Esmailzadeh, O. (2025). Evaluation of the accuracy of climatic data from the WorldClim and Chelsa databases in three northern provinces of Iran. *Forest Research and Development*, 11(1), 109-132. <https://doi.org/10.30466/jfrd.2025.55648.1743>. [In Persian].
- Hengl, T., Consoli, D., Tian, X., Nauman, T. W., Nussbaum, M., Isik, M. S., Parente, L., Ho, Y. F., Simoes, R., Gupta, S., Samuel-Rosa, A., Zborowski Horst, T., Safanelli, J. L., & Harris, N. (2025). *OpenLandMap-soildb: Global soil information at 30 m spatial resolution for 2000–2022+ based on spatiotemporal machine learning and harmonized legacy soil samples and observations*. ESSD Preprint. <https://doi.org/10.5194/essd-2025-336>.
- Hosseini, N., Ghorbanpour, M., & Mostafavi, H. (2024). The influence of climate change on the future distribution of two *Thymus* species in Iran: MaxEnt model-based prediction. *BMC Plant Biology*, 24, 269. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04965-1>.
- Huang, X., Ma, L., Chen, Y., Zhou, H., Yao, B., & Ma, Z. (2020). Predicting the suitable geographical distribution of *Sinadoxa corydalifolia* under different climate change scenarios in the Three-River Region using the MaxEnt model. *Plants*, 9, 1015. <https://doi.org/10.3390/plants9081015>.
- Jiang, R., Zou, M., Qin, Y., Tan, G., Huang, S., Quan, H., Zhou, J., & Liao, H. (2022). Modeling of the potential geographical distribution of three *Fritillaria* species under climate change. *Frontiers in Plant Science*, 12, 749838. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.749838>.
- Kaky, E., Nolan, V., Alatawi, A., & Gilbert, F. (2020). A comparison between ensemble and MaxEnt species distribution modelling approaches for conservation: A case study with Egyptian medicinal plants. *Ecological Informatics*, 60, 101150. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101150>
- Lesiv, M., Fritz, S., Dürauer, M., Georgieva, I., Buchhorn, M., Bertels, L., Tsendbazar, N., Van De Kerchove, R., Zanaga, D., Schepaschenko, D., See, L., Herold, M., Smets, B., Cherlet, M., Brink, A., & McCallum, I. (2025). A global reference data set for land cover mapping at 10 m resolution. *Earth System Science Data*, 17, 6149–6171. <https://doi.org/10.5194/essd-17-6149-2025>.
- Marchi, M., Sinjur, I., Bozzano, M., & Westergren, M. (2019). Evaluating WorldClim Version 1 (1961–1990) as the baseline for sustainable use of forest and environmental resources in a changing climate. *Sustainability*, 11(11), 3043. <https://doi.org/10.3390/su11113043>
- Matsane, W., Dhau, I., Mothapo, M. C., & Thamaga, K. H. (2025). Modelling the potential distribution of African wormwood (*Artemisia afra*) using a machine learning algorithm-based approach (MaxEnt) in Sekhukhune District, South Africa. *Ecology and Evolution*, 15, e71866. <https://doi.org/10.1002/ece3.71866>

- Mehrnia, M., & Maassoumi, A. (2017). Distribution of *Astragalus* spp. in Lorestan Province. *Taxonomy and Biosystematics*, 9(32), 65–78. <https://doi.org/10.22108/tbj.2018.102162.1008>. [In Persian].
- Merckx, B., Steyaert, M., Vanreusel, A., Vincx, M., & Vanaverbeke, J. (2011). Null models reveal preferential sampling, spatial autocorrelation and overfitting in habitat suitability modelling. *Ecological Modelling*, 222, 588–597. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.10.019>
- Moameri, M., Azizi Kalesar, M., Ghorbani, A., Khalasi Ahvazi, L., & Abbasi Khalaki, M. (2022). Determination of effective factors on distribution of medicinal species of *Vaccinium arctostaphylos* L. using MaxEnt model (Case study: Namin rangelands, Ardabil, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 12(4), 375–389. <https://doi.org/0.30495/RS.2022.685601>.
- Mousazade, M., Ghanbarian, G., Pourghasemi, H. R., Safaeian, R., & Cerdà, A. (2019). MaxEnt data mining technique and its comparison with a bivariate statistical model for predicting the potential distribution of *Astragalus fasciculifolius* Boiss. in Fars, Iran. *Sustainability*, 11, 3452. <https://doi.org/10.3390/su11123452>.
- Pakzad, Z., Raeini Sarjaz, M., & Khodaghali, M. (2013). Evaluation of the effects of climate factors on the distribution of the habitats of *Astragalus adscendens* in Isfahan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20(1), 199–212. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2013.3009>. [In Persian].
- Piri, I., Moosavi, M., Zargham Taheri, A., Alipur, H., Shojaei, S., & Mousavi, S. A. (2019). The spatial assessment of suitable areas for medicinal species of *Astragalus* (*Astragalus hypsogeton* Bunge) using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 22, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.02.003>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & 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>
- Russaati, B. I., & Kang, J. W. (2024). MaxEnt modeling for predicting the potential distribution of *Lebrunia bushaie* Staner (Clusiaceae) under different climate change scenarios in Democratic Republic of Congo. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 17, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2023.06.005>
- Shaabani, N., Tarkesh Esfahani, M., Rajabi Mazhar, A., Salahi Moghadam, N., Akbarzadeh, P., Shadman, H., & Khoshbakht, M. (2025). Study of the distributional changes of *Astragalus adscendens* species in Isfahan province under the impact of climate change. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 32(2), 185–200. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2025.133606> [In Persian].
- Shabani, N., & Khoshbakht, M. (2022, September). Effects of climate change on the distribution of *Astragalus gossypinus* using ecological niche analysis and multiplicative nonparametric regression models. *Paper presented at the 5th National Conference on Climate Change and Its Effects on Agriculture and the Environment, Urmia, Iran*. [In Persian].
- Shen, T., Yu, H., & Wang, Y. (2021). Assessing the impacts of climate change and habitat suitability on the distribution and quality of medicinal plant using multiple information integration: Take *Gentiana rigescens* as an example. *Ecological Indicators*, 123, 107376. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107376>
- Tavili, A., Mirdashtvan, M., Alijani, R., Yousefi, M., & Zare, S. (2014). Effect of different treatments on improving seed germination characteristics of *Astragalus adscendens* and *Astragalus podolobus*. *Journal of Rangeland Science*, 4(2), 110–116.
- Tshabalala, T., Mutanga, O., & Abdel-Rahman, E. M. (2022). Predicting the geographical distribution shift of medicinal plants in South Africa due to climate change. *Conservation*, 2, 694–708. <https://doi.org/10.3390/conservation2040045>
- Wang, Y., Liu, Z., Wu, K., Peng, J., Mao, Y., Zhao, G., & Zhang, F. (2025). Predicting suitable habitats and conservation areas for *Suaeda salsa* using MaxEnt and Marxan models. *iScience*, 28(7), 112933. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112933>
- Yang, M., Sun, L., Yu, Y., Zhang, H., Malik, I., Wistuba, M., & Yu, R. (2023). Predicting the potential geographical distribution of *Rhodiola* L. in China under climate change scenarios. *Plants*, 12, 3735. <https://doi.org/10.3390/plants12213735>
- Yarahmadi, D., & Beiranvand, H. (2014). *Natural Geography of Lorestan*. Lorestan: Lorestan University Press. [In Persian].

- Zhang, K., Liu, Z., Abdukeyum, N., & Ling, Y. (2022). Potential geographical distribution of medicinal plant *Ephedra sinica* Stapf under climate change. *Forests*, 13, 2149. <https://doi.org/10.3390/f13122149>
- Zhao, R., Chu, X., He, Q., Tang, Y., Song, M., & Zhu, Z. (2020). Modeling current and future potential geographical distribution of *Carpinus tientaiensis*, a critically endangered species from China. *Forests*, 11, 774. <https://doi.org/10.3390/f11070774>