Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Using Maxent Modeling in Predicting Potential Habitat for *Agropyron tauri* Species (Case study: Rangeland of Taleghan Miany)

Mojtaba Akhavan Armaki[1], Hossein Azarnivand[*2], Mohammad Ali Zare Chahuki[2], Mohammad Jafari[2], Hossein Arzani[2], Mahbobeh Abbasi[3]

[1.] Ph.D. of Range Management, Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

[2.] Corresponding Author; MSc. Prof., Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: hazar@ut.ac.ir

[1.] MSc. of Range Management, Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2026; Vol 20, Issue 1

Article history:
Received: 24.06.2023
Revised: 14.07.2024
Accepted: 19.09.2025

Keywords:
Maxent model,
Species distribution,
Potential habitat,
Agropyron tauri,
Rangeland management,
Environmental factors.

Abstract

Background and Objective: In recent decades, assessing plant species distributions and evaluating their ecological habitats have become increasingly important for sustainable land management and biodiversity conservation. Rangeland ecosystems in semi-arid regions such as Iran are under mounting pressure from climatic variability and anthropogenic disturbances. Identifying the ecological niches of valuable native species-such as *Agropyron tauri*, a perennial grass with high forage quality and significant ecological value-can support effective restoration and conservation strategies. Species distribution models (SDMs), particularly those based on presence-only data, are essential tools in this context. Among these, the Maxent model has demonstrated strong performance by applying the principle of maximum entropy, making it well suited for data-limited ecological studies. This study aimed to evaluate the efficiency of the Maxent model in predicting the potential distribution of *A. tauri*, identifying the key environmental variables influencing its distribution, and producing a habitat suitability map for the Middle Taleghan rangelands in northwestern Iran.

Methodology: The study area is located in the Middle Taleghan watershed in Alborz Province, encompassing elevations from 1,800 to 4,000 m above sea level. Vegetation data were collected using four 150-m transects per sampling unit, each consisting of ten 1 m² quadrats, following the minimal area method and a randomized systematic sampling design. Simultaneously, soil samples were collected along each transect to determine physical properties (sand, silt, and clay percentages) and chemical characteristics (pH, lime content, organic matter, and electrical conductivity). Environmental layers, including topographic variables (elevation, slope, and aspect), climatic data, and geological maps, were generated using satellite imagery and digital elevation models (DEMs). Geostatistical interpolation through kriging and variogram analysis was performed in ArcGIS to produce continuous spatial layers. The Maxent model was applied using presence records of *A. tauri* and the compiled environmental variables. Model performance was evaluated using the Kappa coefficient and the area under the receiver operating characteristic curve (AUC).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]

Results: Model outputs indicated that topographic variables—particularly elevation and aspect—along with soil texture components such as sand and clay content, were the most influential factors governing the presence of *A. tauri*. Jackknife analysis confirmed the significant contribution of these variables, as model accuracy declined when they were excluded. Response curves showed that the probability of *A. tauri* occurrence increased with moderate levels of soil organic matter and silt and was highest in soils with 0–2% lime content and low electrical conductivity (<0.4 dS m^{-1}). In contrast, the probability of occurrence decreased with increasing lime content and salinity. The habitat suitability map revealed that the most favorable areas for *A. tauri* were concentrated in the mid-elevation western parts of the study area. Model performance was validated by a high Kappa coefficient (0.85) and an AUC value of 0.936, indicating excellent predictive accuracy.

Conclusion: The results clearly demonstrate that *Agropyron tauri* exhibits a non-random distribution pattern that is strongly influenced by topographic conditions and soil properties. The Maxent model proved to be a robust and efficient tool for predicting the species' potential habitat using presence-only data. Given its high predictive accuracy, the model is highly applicable to ecological planning, rangeland restoration, and habitat management for forage species. The study suggests that areas characterized by moderate elevations, loamy soils, moderate organic matter content, and low lime and salinity levels should be prioritized for *A. tauri* development and restoration initiatives. Future research should integrate dynamic climate models, remote sensing data, and seasonal variables to enhance temporal predictions under changing environmental conditions. Overall, this study highlights the value of Maxent as a decision-support tool in biodiversity management and its important role in guiding conservation strategies for vulnerable rangeland ecosystems in arid and semi-arid regions.

Cite this article: Akhavan Armaki, M., H. Azarnivand, M.A. Zare Chahuki, M. Jafari, H. Arzani, M. Abbasi, 2026. Using Maxent Modeling in Predicting Potential Habitat for *Agropyron tauri* Species (Case study: Rangeland of Taleghan Miany). Journal of Rangeland, 20(1): 1-13.



© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

مدل‌سازی پراکنش رویشگاه گیاهی *Agropyron tauri* با روش آنتروپی حداکثر (مطالعه موردی: مراتع طالقان میانی)

مجتبی اخوان ارمکی[۱]، حسین آذرنیوند*[۲]، محمدعلی زارع چاهوکی[۲]، محمد جعفری[۲]، حسین ارزانی[۲]، محبوبه عباسی[۳]

[۱] دکتری مرتعداری، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

[۲] نویسنده مسئول، استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hazar@ut.ac.ir

[۳] کارشناسی ارشد علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۵؛ جلد ۲۰، شماره ۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۰۴/۰۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۸

واژه‌های کلیدی:
مدل *Maxent*،
زیستگاه بالقوه،
Agropyron tauri،
مراتع طالقان،
مدل‌سازی پراکنش،
عوامل محیطی.

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر، اهمیت ارزیابی پراکنش گونه‌های گیاهی در راستای حفاظت منابع طبیعی و مدیریت پایدار پوشش گیاهی افزایش یافته است. گونه‌های مرتعی به عنوان بخش مهمی از اکوسیستم‌های نیمه‌خشک ایران، تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فشارهای انسانی با تهدیدات گسترده‌ای مواجه هستند. شناسایی زیستگاه‌های بالقوه گونه‌های بومی مانند *Agropyron tauri* که دارای ارزش اکولوژیکی و اقتصادی بالا است، می‌تواند به‌عنوان گامی مؤثر در جهت احیای مراتع و حفاظت از تنوع زیستی تلقی شود. مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه، به ویژه مدل Maxent که بر پایه داده‌های فقط حضور عمل می‌کند، به دلیل دقت بالا و نیاز به داده‌های حداقلی، جایگاه ویژه‌ای در مطالعات زیست‌محیطی یافته‌اند. هدف اصلی این پژوهش، بررسی قابلیت مدل Maxent در پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه *A.tauri*، شناسایی عوامل محیطی مؤثر در استقرار آن و ارائه نقشه زیستگاه بالقوه در مراتع طالقان میانی است.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در حوزه آبخیز طالقان واقع در شمال‌غرب استان البرز و در ارتفاعات بین ۱۸۰۰ تا ۴۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. داده‌های پوشش گیاهی از طریق چهار ترانسکت ۱۵۰ متری در هر واحد نمونه‌برداری، و در هر ترانسکت با ۱۰ پلات ۱ متری به روش تصادفی-سیستماتیک جمع‌آوری شد. هم‌زمان، نمونه‌برداری خاک انجام و ویژگی‌های فیزیکی (درصد رس، شن، سیلت) و شیمیایی (ماده آلی، آهک، هدایت الکتریکی، pH) آن در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نقشه‌های فیزیوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) تولید و داده‌های مکانی در محیط GIS تلفیق گردید. برای مدل‌سازی زیستگاه از نرم‌افزار Maxent استفاده شد و ارزیابی دقت مدل با شاخص‌های ضریب کاپا و سطح زیر منحنی ROC (AUC) انجام شد.

نتایج: تحلیل مدل Maxent نشان داد که متغیرهای توپوگرافی شامل ارتفاع و جهت، به‌همراه ویژگی‌های خاک به‌ویژه درصد شن، رس، و ماده آلی، بیشترین نقش را در حضور *A.tauri* دارند. بررسی آزمون جک‌نایف نشان داد که حذف این متغیرها باعث کاهش چشمگیر دقت مدل می‌شود. بر اساس منحنی‌های پاسخ، بیشینه احتمال حضور گونه در خاک‌هایی با ماده آلی متوسط، بافت لومی، آهک کمتر از ۲ درصد، و هدایت الکتریکی پایین‌تر از ۰/۴ dS/m مشاهده شد. افزایش مقدار آهک و EC باعث کاهش تدریجی احتمال حضور گونه می‌شود، در حالی که افزایش سیلت خاک، بر خلاف شن، اثری مثبت دارد. نقشه پراکنش به‌دست‌آمده از مدل، مناطق

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]

غربی و ارتفاعات میانی منطقه را به‌عنوان مناسب‌ترین زیستگاه معرفی کرد. مقدار ضریب کاپا برابر با ۰/۸۵ و سطح AUC معادل ۰/۹۳۶ عملکرد قوی مدل را تأیید کردند.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که پراکنش گونه *A.tauri* تصادفی نبوده و وابستگی بالایی به شرایط توپوگرافی و خاک دارد. مدلMaxent ، به دلیل توانایی کار با داده‌های فقط حضور و ارائه نتایج دقیق حتی با داده‌های محدود، ابزاری مناسب برای برنامه‌ریزی احیای مراتع و توسعه کشت گونه‌های مرتعی مانند *A.tauri* محسوب می‌شود. بر اساس نتایج، پیشنهاد می‌شود مناطقی با ارتفاع متوسط، خاک‌های لومی با ماده آلی متوسط و آهک پایین به عنوان اولویت‌های اصلی برای توسعه این گونه مدنظر قرار گیرند. همچنین برای ارتقاء دقت مدل‌سازی، توصیه می‌شود در پژوهش‌های آتی از ترکیب داده‌های سنجش از دور، داده‌های زمانی و مدل‌های اقلیمی پویا استفاده گردد تا اثر تغییرات فصلی و اقلیمی نیز در پیش‌بینی زیستگاه گونه‌ها لحاظ شود. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در راستای بهره‌برداری پایدار و حفاظت از منابع طبیعی باشد.

استناد: اخوان ارمکی، م.، ح. آذرنیوند، م.ع. زارع چاهوکی، م. جعفری، ح. ارزانی، م.ه عباسی، ۱۴۰۵. مدل‌سازی پراکنش رویشگاه گیاهی *Agropyron tauri* با روش آنتروپی حداکثر (مطالعه موردی: مراتع طالقان میانی). مرتع، ۲۰(۱): ۱-۱۳.

DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]

مقدمه

در سال‌های اخیر تعیین وضعیت پراکنش و توزیع گونه‌های گیاهی و وضعیت رویشگاه‌های تحت اشغال آنها از اهمیت به‌سزایی در برنامه‌های حفاظتی و مدیریت گونه‌ها برخوردار شده است (۱۷). بدین منظور مدل‌های پراکنش گونه‌ها به طور فزاینده‌ای در محیط زیست استفاده شده است (۶ و ۱۸). مدل‌های زیادی هم اکنون برای بررسی روابط میان گونه و رویشگاه به‌کار می‌روند. این مدل‌ها معمولا وابسته به نقاط حضور و عدم حضور گونه و متغیرهای رویشگاهی هستند که تداعی کننده عناصر تشکیل دهنده آشیان بوم‌شناختی آن گونه می‌باشد. در صورتی که هم داده‌های حضور و هم داده‌های عدم حضور برای ساخت مدل‌ها در دسترس باشند روش‌های رگرسیونی از معروفترین روش‌های مورد استفاده در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها هستند (۵ و ۱۶) در حالی‌که در بیشتر پژوهش‌ها اطلاعات در دسترس، بیشتر داده‌های مربوط به حضور گونه‌ها هستند. به همین دلیل، روش‌های مدل‌سازی که فقط به داده‌های حضور گونه‌ها نیاز دارند، از اهمیت بیشتری برخوردارند (۸). درک توزیع مکانی گونه‌های گیاهی برای حفاظت مؤثر، مدیریت مراتع، و پیش‌بینی پاسخ‌ها به تغییرات محیطی حیاتی است (۱). مدل‌های توزیع گونه‌ها (SDMs) به ابزارهای ضروری برای نقشه‌برداری از زیستگاه‌های بالقوه و شناسایی عوامل محیطی کلیدی مؤثر بر حضور گونه‌ها تبدیل شده‌اند (۳۰). در میان روش‌های مختلف مدل‌سازی توزیع گونه‌ها، مدل حداکثر آنتروپی (Maxent) به دلیل عملکرد قوی با داده‌های فقط حضور و توانایی مدیریت روابط اکولوژیکی پیچیده، برجسته شده است (۶، ۲۳). مدل ماکسنت از متغیرهای محیطی مانند توپوگرافی، اقلیم، و ویژگی‌های خاک برای پیش‌بینی زیستگاه‌های مناسب استفاده می‌کند، که این امر آن را به‌ویژه برای گونه‌های مرتعی مانند*Agropyron tauri* ، یک گونه علوفه‌ای کلیدی در مراتع ایران، مناسب می‌سازد (۱۵). Maxent یکی از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌هاست که از روش‌های فقط حضور برای مدل‌سازی توزیع گونه‌ها به حساب می‌آید. این روش برای برآورد مجموعه‌ای از توابع که مربوط به متغیرهای محیطی و تناسب رویشگاه هستند از اصل حداکثر آنتروپی بر روی داده‌های حضور گونه‌ها و پراکنش بالقوه جغرافیایی استفاده می‌کند (۵). نکته قابل توجه این است که این روش در اغلب پژوهش‌ها با تعداد داده‌های حضور کم نیز پیش‌بینی‌هایی با دقت بالا ارائه کرده است (۱۳). محققان با مقایسه عملکرد دو روش رگرسیون لوجستیک و Maxent به این نتیجه رسیدند که Maxent عملکرد بهتری از رگرسیون لوجستیک دارد (۷). در پژوهشی نیز پراکنش گونه‌های *Lonicera japonica*، *Lolium arundinaceum* و *Albizia julibrissin* با استفاده از روش Maxent در مناطق کوهستانی آلاباما مدل‌سازی شد و با توجه به مقادیر AUC حاصل (۰/۸۴ تا ۰/۹۲) برای گونه‌های مورد بررسی معلوم شد که این روش با دقت مناسبی پراکنش هر سه گونه را پیش‌بینی کرده است (۱۴). در تحقیقی دیگر از روش Maxent برای پیش‌بینی پراکنش ۵ گونه گیاهی بالقوه مهاجم (*Canada thistle*, *Carduus nutans*, *Russian olive*, *Phragmites australis*,) در نبراسکا استفاده شد نتایج بر اساس میزان سطح زیر منحنی به دست آمده برای گونه‌های مورد بررسی نشان داد که روش Maxent، روشی دقیق در پیش‌بینی پراکنش گونه‌های مورد مطالعه است (۱۲). پژوهشگران پراکنش دو گونه *Artemisia sieberi* و*Artemisi aucheri* در مراتع پشت کوه یزد را با استفاده از مدل Maxent مدل‌سازی کردند. نتایج نشان دهنده بالاتر بودن دقت مدل برای پیش‌بینی رویشگاه *A.aucheri* نسبت به *A.sieberi* بوده است (۱۱). مراتع، که بخش وسیعی از ایران را پوشش می‌دهند، به شدت به عوامل محیطی مانند بافت خاک، ارتفاع، و بارندگی حساس هستند، که به‌طور قابل‌توجهی بر ترکیب جوامع گیاهی تأثیر می‌گذارند (۲۲). مطالعات پیشین نقش عوامل توپوگرافی و خاکی را در شکل‌دهی به توزیع گونه‌های مرتعی برجسته کرده‌اند، به‌طوری‌که محتوای ماسه و غلظت آهک اغلب به‌عنوان عوامل محدودکننده عمل می‌کنند (۲۹). علاوه بر این، تغییرات اقلیمی مناسب بودن زیستگاه برای بسیاری از گونه‌ها را تغییر می‌دهد و نیاز به مدل‌های به‌روز برای پیش‌بینی توزیع‌های آینده را ضروری می‌سازد (۲۰). گونه *Agropyron tauri* از گندمیان مرغوب و با ارزش با فصل رشد سرد و فرم بیولوژیک چمنی است که اهمیت زیادی در حفاظت خاک و تولید علوفه دارد. از مزایای این گیاه می‌توان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]

به تولید بذر زیاد، قدرت زیاد جوانه زدن، استقرار سریع و آسان و نیز رشد سریع بهاره اشاره نمود (۴). با وجود گسترش زیاد این گونه در مراتع کشور تاکنون پژوهش‌های کاملی بر روی رویشگاه‌های بالقوهٔ آن انجام نشده است؛ بنابراین لازم است که برای پرورش و به‌کارگیری این گونه مهم مرتعی شناخت کاملی نسبت به رویشگاه‌های بهینه این گونه با استفاده از روش‌های نوین و کارآمد داشت. اهداف اصلی این پژوهش تهیه نقشه پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه *Agropyron tauri*، با استفاده از مدل Maxent، یافتن عوامل مهم تأثیرگذار در استقرار و توزیع این گونه و گرایش ترجیحی گونه مورد نظر نسبت به عوامل محیطی است.

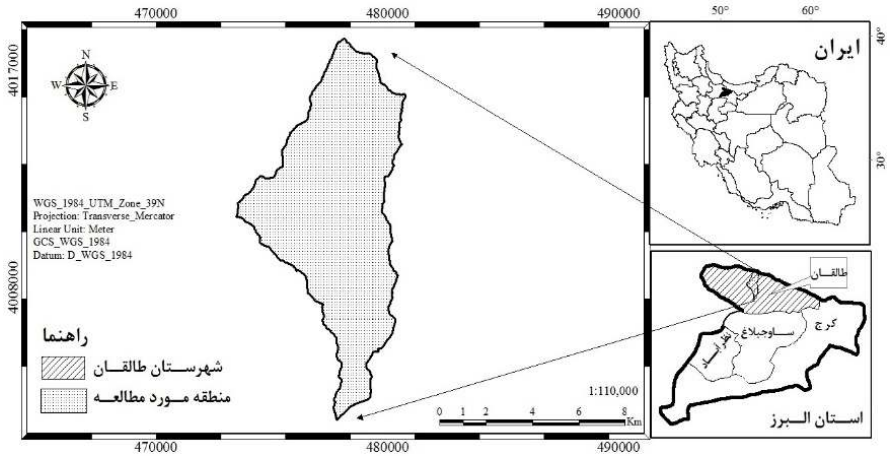
مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حوزه آبخیز طالقان (شمال غربی استان البرز) در بخش میانی حوزه با وسعت ۵۴۶۰/۶۵ هکتار و با موقعیت جغرافیایی "۲۸ '۴۵ °۵۰ تا "۸۷ '۴۸ °۵۰ طول شرقی و "۱۷ '۱۵ °۳۶ تا "۷ '۱۰ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. شکل (۱۲) موقعیت منطقه را در ایران و استان البرز نشان می‌دهد. حداکثر ارتفاع منطقه از سطح دریا ۴۰۰۰ متر و حداقل آن ۱۸۰۰متر است. بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های طالقان در یک دوره ۳۰ ساله، متوسط بارندگی ۵۸۰ میلی‌متر در سال است و اقلیم آن بر اساس روش آمبرژه نیمه‌مرطوب سرد است (۱۹). به منظور بررسی تاثیر عوامل محیطی بر پراکنش پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، نقشه پوشش گیاهی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تهیه شد. بر این اساس در محدوده منطقهٔ مطالعاتی ۶ تیپ رویشی تشخیص داده شد. برای نمونه-برداری از پوشش گیاهی در هر تیپ رویشی، ۴ ترانسکت ۱۰۰ متری مستقر و در هر ترانسکت ۱۰ پلات با فواصل ۱۰ متر از هم مستقر شد. اندازهٔ پلات‌ها با توجه به روش حداقل سطح و تعداد آن‌ها با روش آماری تعیین شد. در ابتدا و انتهای هر ترانسکت یک پروفیل خاک حفر و تا عمق موثر ریشه دوانی گیاهان، نمونه خاک برداشت شد (در هرتیپ ۸ نمونه خاک برداشت شد). موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری نیز به‌وسیله سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) ثبت شد و با رویهم‌گذاری نقشه نقطه‌ای این نقاط و نقشه‌های شیب و جهت و ارتفاع با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، داده-های فیزیوگرافی مربوط به نقاط نمونه‌برداری نیز به دست آمد. در آزمایشگاه نمونه‌های خاک از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و بعد از آن بر روی ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر آزمایش فیزیکی تعیین ذرات نسبی خاک شامل رس، سیلت و ماسه به روش هیدرومتری بایکاس برای تعیین بافت خاک انجام شد. در بررسی‌های تجزیه شیمیایی خاک، اسیدیته خاک در گل اشباع با pH متر، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلاک، آهک به روش کلسیمتری و هدایت‌الکتریکی در عصاره گل اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی اندازه گیری شد. برای ارائه نقشهٔ پیش‌بینی رویشگاه لازم است که نقشه هر یک از عوامل مذکور تهیه شود. نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع با استفاده از نقشه DEM منطقه تهیه شد. برای توصیف تغییرات مکانی هر ویژگی خاک و تهیه نقشه هر متغیر خاک از روش‌های زمین‌آمار استفاده شد. در این تحقیق برای بررسی و تشریح ارتباط و ساختار فضایی از تجزیه و تحلیل «تغییر نما یا واریوگرام» در نرم‌افزار GS^+ نسخه 9 استفاده شد. تغییر نماها تغییرات فاصله‌ای یا تغییرپذیری ساختاری متغیرها را نشان می‌دهند (۵). بعد از تعیین اجزای تغییرنما برای هر یک از خصوصیات خاک با استفاده از نقشه نقاط در نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۹.۳، از طریق روش درون‌یابی کریجینگ نقشهٔ خصوصیات خاک مورد نظر تهیه شد. بعد از تکمیل اطلاعات با توجه به هدف تحقیق برای مدل‌سازی رویشگاه بالقوهٔ گونه مورد بررسی از روش Maxent استفاده شد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه دراستان البرز و کشور

در این بخش داده‌های حضور گونه و همچنین لایه‌های محیطی وارد نرم‌افزار MAXENT شدند. دو گزینه ساخت منحنی‌های پاسخ گونه به ویژگی‌های محیطی و آزمون جک نایف جهت تعیین متغیرهای تأثیرگذار نیز انتخاب شدند. نقشه پیش‌بینی ساخته شده توسط MAXENT یک نقشه احتمالی پیوسته است. بنابراین برای تعیین حضور یا عدم حضور گونه‌های مورد نظر، باید آستانه بهینه حضور مشخص شود (۱۶) بدین منظور آستانه بهینه به روش حساسیت و اختصاصیت برابر (Equal test sensitivity and specificity) تعیین و نقشه‌های پیوسته پیش‌بینی به نقشه‌های حضور و عدم حضور گونه‌ها، تبدیل شدند. برای ارزیابی میزان تطابق مدل‌های پیش‌بینی با واقعیت زمینی تیپ‌های گیاهی از شاخص کاپا در نرم‌افزار Idrisi Tiga نسخه ۱۶ استفاده شده است. از این شاخص در اغلب پژوهش‌های مدل‌سازی پیش‌بینی گونه‌های گیاهی از قبیل Miller و Franklin و Miller برای ارزیابی اعتبار مدل استفاده شده است. همچنین در خروجی نرم‌افزار Maxent مقدار (AUC=Area under the curve) نیز که از روش‌های ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی است ارائه می‌شود.

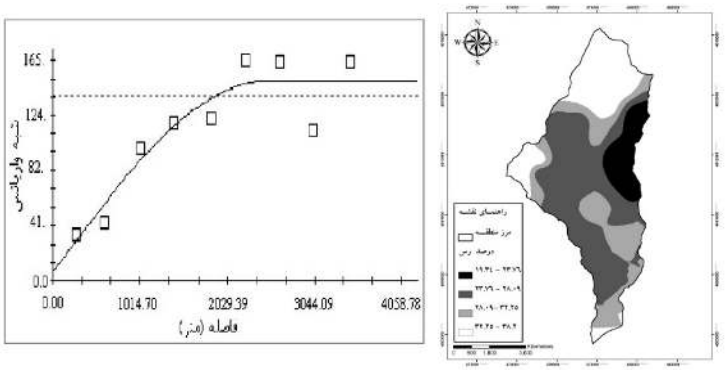
نتایج

شکل (۲) مدل تغییرنمای خط برازش داده شده به مدل تغییرنمای تجربی متغیر رس و نقشه درصد رس خاک را در منطقه نمونه‌برداری نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود درصد رس در قسمت بالادست منطقه و قسمتی که گونه *A.tauri* در آن قرار دارد بیشتر از قسمت‌های پایین دست می‌باشد.

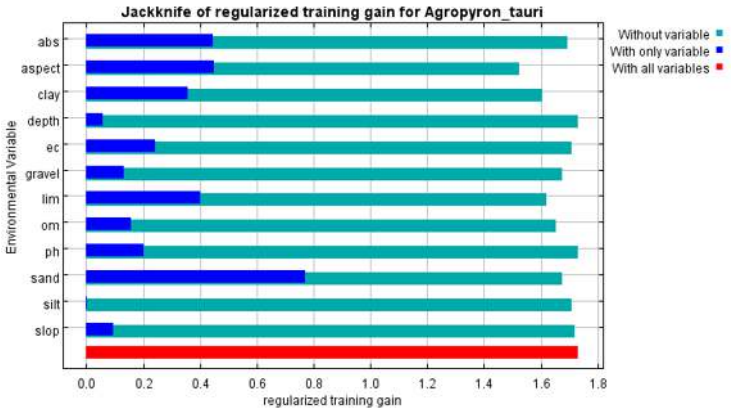
شکل (۳) اهمیت متغیرهای تأثیرگذار در حضور گونه *A.tauri* توسط آزمون جک‌نایف را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج آزمون جک‌نایف مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در حضور گونه *A.tauri* در منطقه عامل جهت، ارتفاع و رس، شن می‌باشند. این نشان می‌دهد که خصوصیات توپوگرافی منطقه و بافت خاک تأثیر به‌سزایی در حضور و پراکنش گونه *A.tauri* دارند و متغیرهای محیطی دیگر هنگامی که به‌صورت جداگانه در عملیات جک‌نایف اجرا می‌شوند تأثیر کمتری دارند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]



شکل ۲: مدل تغییرنمای خط برازش داده شده بر مدل تغییرنمای تجربی برای متغیر رس و نقشه رس خاک منطقه

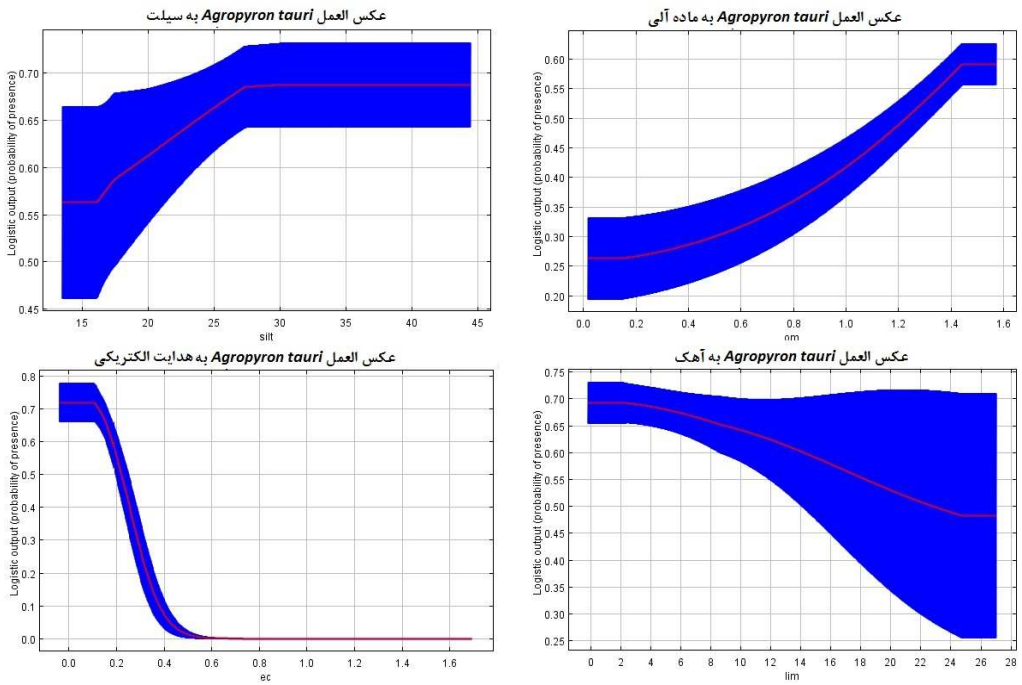


شکل ۳: اهمیت متغیرهای تأثیرگذار در حضور گونه *A.tauri* توسط آزمون جک‌نایف

منحنی‌های پاسخ گونه‌ها به متغیرهای محیطی نشان می‌دهند که چگونه هر یک از متغیرهای محیطی پیش‌بینی‌های مدل Maxent را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌عنوان نمونه مهم‌ترین منحنی‌های پاسخ حضور گونه *A.tauri* نسبت به متغیرهای محیطی در شکل (۴) نشان داده شده است. سایهٔ اطراف منحنی‌های پاسخ دامنه تغییرپذیری درصد احتمال حضور گونه‌ها را نشان می‌دهند. تحلیل منحنی‌های پاسخ مربوط به متغیرهای محیطی نیز حاکی از آن است که دامنه احتمال حضور گونه *A.tauri* با افزایش مقدار ماده آلی خاک افزایش می‌یابد. همچنین در مقدار آهک صفر تا ۲ درصد، گونه مورد نظر پاسخ بهتری به‌میزان آهک خاک داده است و درصد احتمال حضور گونه بیشینه است. با توجه به منحنی پاسخ گونه *A.tauri* به میزان هدایت الکتریکی خاک منطقه، احتمال حضور گونه *A.tauri* با افزایش مقدار هدایت الکتریکی خاک از ۰/۱۲۷ دسی‌زیمنس بر متر تا مقدار ۰/۴۶۳ دسی‌زیمنس بر متر کاهش می‌یابد. همچنین احتمال حضور این گونه با افزایش مقدار سیلت خاک بصورت تدریجی افزایش می‌یابد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]

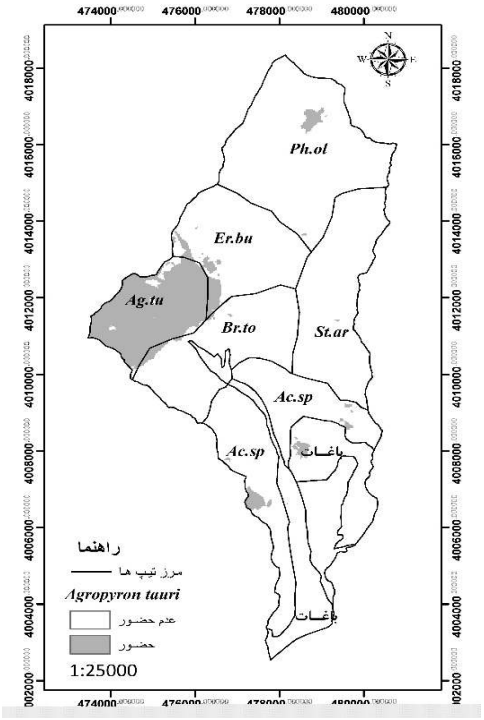


شکل۴: مهمترین منحنی‌های پاسخ حضور گونه *A. tauri* نسبت به متغیرهای محیطی

شکل ۵، نقشهٔ پیش‌بینی رویشگاه گونه *A.tauri* به‌دست آمده از مدل Maxent را نشان می‌دهد. همانطور که بیان شد نقشه پیش‌بینی حاصل از مدل Maxent یک نقشه احتمالاتی پیوسته است و برای تعیین حضور یا عدم حضور گونه‌های هدف باید یک مقدار آستانه بهینه برای حضور تنظیم شود. جدول (۱)، مقادیر آستانه بهینه حضور و میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی به‌دست آمده از مدل Maxent را با واقعیت زمینی در رویشگاه گونه مورد بررسی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده از ارزیابی صحت با ضریب کاپا نقشهٔ پیش‌بینی حاصل برای رویشگاه گونه گیاهی *A.tauri*، دارای توافق بسیار خوب با نقشه‌های واقعیت زمینی این گونه در منطقه مورد مطالعه است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]



شکل ۵: نقشهٔ‌پیش‌بینی رویشگاه *A.tauri* با روش آنتروپی حداکثر

جدول ۱: آستانهٔ بهینه حضور و میزان تطابق نقشه پیش‌بینی گونه *A.tauri* با واقعیت زمینی

گونه	آستانه بهینه حضور	ضریب کاپا	میزان توافق با واقعیت زمینی
A.tauri	۰/۳	۰/۸۵	بسیار خوب

هم‌چنین به منظور ارزیابی مدل پیش‌بینی حاصل، از روش تحلیل سطح زیر منحنی استفاده شد. جدول (۲)، مقادیر سطح زیرمنحنی و همچنین سطح دقت طبقه‌بندی نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه مورد بررسی را نشان می‌دهد. ارزیابی مدل به‌دست آمده حاکی از آن است که دقت نقشهٔ پیش‌بینی برای رویشگاه گونه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی سطح زیرمنحنی در سطح قابل قبول قرار دارد.

جدول ۲: سطح زیرمنحنی و دقت طبقه‌بندی نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه *A.tauri*

رویشگاه	سطح زیر منحنی AUC	دقت طبقه‌بندی
A.tauri	۰/۷۷۱	قابل قبول

بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌های پیش‌بینی رویشگاه، تناسب رویشگاه را در ارتباط با عوامل مهم تأثیرگذار بر ترجیح گونه‌ها مشخص می‌کنند (۳۴). بررسی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل Maxent رویشگاه گونه *A.tauri* را در سطح بسیار خوب پیش‌بینی کرده است. به‌طوریکه ضریب کاپا در مقایسه نقشهٔ پیش‌بینی با واقعیت زمینی برابر ۰/۸۵ به‌دست آمد که این یافته با مطالعات اخیر در زمینه مدل‌سازی توزیع گونه‌ها هم‌خوانی دارد (۱ و ۳۰). محققان بیان کردند که مقادیر کاپای بالاتر از ۰/۷۵ نشان‌دهنده یک مدل عالی است (۱۲). منحنی‌های پاسخ گونه‌ها به متغیرهای محیطی و جداول مربوط به درصد تأثیرگذاری متغیرهای محیطی در این پژوهش حاکی از آن است که پراکنش گونه *A.tauri* در منطقه توزیع تصادفی ندارد و متغیرهای مربوط به توپوگرافی به خصوص جهت و ارتفاع در پیدایش رویشگاه گونه مورد بررسی نقش به‌سزایی دارند. متغیرهای توپوگرافی (مانند ارتفاع و شیب) و ویژگی‌های خاک (به‌ویژه درصد ماسه) مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده حضور این گونه بودند، در حالی که افزایش آهک و هدایت الکتریکی (EC)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]

اثر منفی بر توزیع آن داشتند (۶ و ۲۳). این نتایج با پژوهش‌های انجام‌شده در مراتع ایران، مانند مطالعه محمدی و همکاران (۲۰۲۳) درباره گونه‌های مرتعی، سازگار است که نشان داد بافت خاک و عوامل توپوگرافی در پراکنش گونه‌های گیاهی نقش کلیدی دارند (۱۵). نتایج تحقیقی در منطقهٔ اشتهارد نشان داد در مناطق خشک پوشش گیاهی با آن دسته از عوامل محیطی رابطه بیشتری دارد که به‌نحوی در کنترل آب قابل دسترس نقش دارند مانند بافت خاک (۲۵)، در حالی که بر اساس نظر پژوهشگران در مناطق مرطوب رطوبت محدودکننده نیست و عوامل اقلیمی و پستی و بلندی نقش بیشتری دارند (۲۷). ارتباط بین عوامل توپوگرافی و اقلیمی با پوشش گیاهی توسط محققان دیگری نیز تأیید شده است (۵). بالاترین احتمال حضور گونه *A.tauri* در مقدار آهک صفر تا ۲ درصد بوده است و افزایش آهک خاک احتمال حضور گونه در منطقه را کاهش می‌دهد. نتایج پژوهش‌های دیگری که در منطقهٔ طالقان میانی انجام شده است نیز مؤید این مطلب است (۱۹ و ۲۶). آهک از نمک‌هایی است که حلالیت کمی در آب دارد، زمانی که به صورت محلول درآید تولید یک قلیای قوی می‌کند و رشد گیاهانی که به pH اسیدی نیاز دارند را با مشکل مواجه می‌کند؛ البته برخی از گیاهان با میزان زیاد این ماده در خاک سازگار شده و در خاک‌هایی با میزان آهک بالا نیز استقرار می‌یابند. با توجه به منحنی پاسخ گونه *A.tauri* به میزان هدایت الکتریکی خاک منطقه، با افزایش هدایت الکتریکی تا مقدار ۰/۴۶۳ دسی‌زیمنس بر متر احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. همچنین افزایش سیلت خاک تأثیر مثبت بر حضور و پراکنش گونه مورد بررسی دارد. محققان بیان کردند که این گیاه خاک‌های نیمه‌عمیق، عمیق، بافت متوسط، بدون شوری و قلیایی را می‌پسندد و در خاک‌هایی که درصد رس بیشتری دارند، از فراوانی بیشتری برخوردار است (۴). پژوهشگران دیگری نیز در تحقیقات خود نقش بافت خاک را در پراکنش پوشش گیاهی مورد تأیید قرار داده‌اند (۳). آزمون جک‌نایف مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش گونه *A.tauri* در منطقه را عوامل جهت، ارتفاع و رس، شن نشان داد. در پژوهشی در مراتع دنبلید طالقان مشخص شد که رویشگاه گونه *A.intermedium* با شیب همبستگی معنی‌دار دارد و در خاک‌هایی با شیب بالا و آهک و اسیدیته اندک احتمال حضور این گونه افزایش می‌یابد (۲۸). اگر چنین پیش‌بینی‌های بوم‌شناختی بخواهد با هدف کمک به اقدامات حفاظتی و مدیریتی استفاده شود مدل تناسب رویشگاه باید ساده، دارای توان پیش‌بینی بالا باشد و به طور کلی کاربرد گسترده‌ای داشته باشد و باید بر پارامترهای عملی که به آسانی قابل اندازه‌گیری هستند اجرا شوند. کاربرد مدل ماکسنت در این مطالعه نشان‌دهنده قابلیت بالای این روش در مدیریت مراتع و حفاظت از گونه‌های کلیدی مانند *Agropyron tauri* است، به‌ویژه در مناطقی که تحت فشار تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی قرار دارند (۲۲ و ۲۹). با این حال، محدودیت‌هایی مانند عدم در نظر گرفتن اثرات تعاملات گونه‌ای و تغییرات فصلی در داده‌های حضور گونه ممکن است بر دقت پیش‌بینی‌ها تأثیر بگذارد (۲۰). مقایسه نتایج این مطالعه با مدل‌های دیگر، مانند رگرسیون لجستیک که در مراتع طالقان برای گونه‌های مشابه استفاده شده، نشان می‌دهد که مدل مکسنت به‌دلیل انعطاف‌پذیری در استفاده از داده‌های فقط حضور، عملکرد بهتری دارد (۲۴). از منظر مدیریتی، نتایج این مطالعه می‌تواند به برنامه‌ریزی برای احیای مراتع و حفاظت از گونه‌های علوفه‌ای در طالقان کمک کند. پیشنهاد می‌شود که در برنامه‌های مدیریت مراتع، تمرکز بر کاهش عوامل محدودکننده مانند آهک خاک و بهبود شرایط توپوگرافی برای گونه‌های مرتعی باشد (۱۰). همچنین، تحقیقات آینده می‌توانند با ترکیب داده‌های سنجش از دور و مدل‌های پویا، اثرات تغییرات اقلیمی بر توزیع *Agropyron tauri* را بررسی کنند (۱). در نهایت، این مطالعه بر اهمیت استفاده از مدل‌های پیشرفته مانند ماکسنت برای حمایت از تصمیم‌گیری‌های زیست‌محیطی در اکوسیستم‌های شکننده مرتعی تأکید دارد (۲). در یک مطالعه جامع در تاریخ مدل‌سازی از بین ۱۶ مدل بررسی شده مشخص شد که Maxent از مدل‌های بسیار مؤثر برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌هاست (۱۲). نتایج مطالعات دیگری نیز توان بالای مدل Maxent را در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها تأیید می‌کند (۱۳ و ۲۱). گونه *A.tauri* از گندمیان مرغوب چندساله است که به خاطر استقرار آسان، قدرت رقابت بالا، تولید علوفه برای دام، حفاظت خاک و برای اصلاح و احیاء مراتع اهمیت

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]

زیادی دارد. با تکیه به نتایج این تحقیق می‌توان رویشگاه‌های دارای پراکنش فعلی یا قابل پژوهش برای کشت گونه *A.tauri* به صورت بالقوه را شناسایی و ترتیبات حفاظت و انتقال این گونه به این مناطق را با هدف ازدیاد در محیط طبیعی سبب‌ساز شد.

References

1. Araújo, M.B., R.P. Anderson, A.M. Barbosa, C.M. Beale, C.F. Dormann, R. Early & C. Rahbek, 2023. Standards for distribution models in biodiversity assessments. Science Advances, 9(3): 27-39.
2. Ashrafzadeh, M.R. & A. Danehkar, 2012. Habitat suitability assessment and modeling as a strategy for sustainable wildlife management. First National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Development, Tehran. 48(3): 107-122. (In Persian).
3. Azarnivand, H., M. Jafari, M. Moghadam & M.A. Zare Chahouki, 2011. Effect of soil properties and elevation changes in the distribution of two species of Artemisia (Case Study: Vardavrd, Semnan and Garmsar Rangeland). Journal of Rangeland, 56(2): 93-100. (In Persian).
4. Azarnivand, H. & M.A. Zare Chahouki, 2008. Range Improvement. Tehran University Press. 354 p. (In Persian).
5. Downie, A.L., Mv. Numers, & Ch. Boström, 2013. Influence of model selection on the predicted distribution of the seagrass Zostera marina. Journal of Estuarine, Coastal and Shelf Science, 121(2): 8-19.
6. Elith, J., S.J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y.E. Chee & C.J. Yates, 2021. A statistical explanation of Maxent for ecologists. Diversity and Distributions, 27(1): 45-57.
7. Gaston, A., I. Juan & N. Garcia-Vi˜nas, 2011. Modelling species distributions with penalised logistic regressions: A comparison with maximum entropy models. Journal of Ecological Modelling, (222): 2037-2041.
8. Graham, C.H., S. Ferrier, F. Huettman, C. Moritz & A.T. Peterson, 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. Journal of Trends Ecology, 19(9): 497–503.
9. Guisan, A., W. Thuiller & N.E. Zimmermann, 2023. Habitat suitability and distribution models: Applications in ecology and conservation. Cambridge University Press. 305 p.
10. Hosseini, S.Z., M. Kappas & M.A. Zare Chahouki, 2022. Modeling habitat suitability for rangeland species in central Iran using geospatial and machine learning approaches. Rangeland Ecology & Management, 80(2): 45-53. (In Persian).
11. Hosseini. S.Z., M. Kappas, M.A. Zare Chahouki, G. Gerold, D. Erasni & A. Rafiei Emem, 2013. Modelling potential habitats for Artemisia sieberi and *Artemisia aucheri* in Poshtkouh area, central Iran using the maximum entropy model and geostatistics. Journal of Ecological Informatics, 18(1): 61-68. (In Persian).
12. Kia, F., A. Tavili, & S.A. Javadi, 2011. Relationship between some rangeland species distribution and environmental factors in Chahar-Bagh region of Golestan province, Journal of Rangeland, 5(3): 292-301 (In Persian).
13. Kumar, S., J.T. Stohlgren, 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree Canacomyrica monticola in New Caledoni. Journal of Ecology and Natural Environment, 1(4): 094-098.
14. Lemke, D., P.E. Hulme, J.A. Brown, & W. Tadesse, 2011. Distribution modelling of Japanese honeysuckle (Lonicera japonica) invasion in the Cumberland Plateau and Mountain Region, USA. Journal of Forest Ecology and Management, 262(2): 139-149.
15. Mohammadi, S., A. Ebrahimi & M. Erfani, 2023. Predicting habitat suitability for rangeland species in Iran using Maxent: A case study of Artemisia spp. Journal of Arid Environments, 210 (9): 102-115. (In Persian).
16. Negga, H.E., 2007. Predictive Modelling of Amphibian Distribution Using Ecological Survey Data: a case study of Central Portugal, Master thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands. 12(2): 42-55.
17. Pearson, R.G., 2007. Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. Synthesis. American Museum of Natural History. 241 p.
18. Peterson, A.T., M. Papes & M. Eaton, 2007. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. Journal of Ecography, (30): 550_56.
19. Piry Sahragard, H., H. Azarnivand, M.A. Zare Chahouki, H. Arzani & S. Qumi, 2011. Study of Effective Environmental Factors on Distribution of Plant Communities in Middle Taleghan Basin. Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 64 (1): 1-12. (In Persian).
20. Radosavljevic, A. & R.P. Anderson, 2024. Advances in ecological niche modeling: Addressing uncertainty and improving predictions. Trends in Ecology & Evolution, 39(2): 150-161.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]

21. Rota, T.Ch., J.R. Fletcher, M.E. Jason & L.R. Hutto, 2011. Does accounting for imperfect detection improve species distribution models. Journal of Ecography, (34): 659-670.
22. Sofaer, H.R., C.S. Jarnevich, I.S. Pearse, R.L. Smyth, S. Auer, G.L. Cook & H. Hamilton, 2021. Development and delivery of species distribution models to inform decision-making. BioScience, 71(6): 651-669.
23. Valavi, R., J. Elith, J.J. Lahoz-Monfort & G. Guillera-Arroita, 2022. Modelling species distributions with presence-only data: A case study using Maxent. Ecological Modelling, 465 p.
24. Zare Chahouki, M.A., S. Ghomi & H. Azarnivand, 2009. Relationship between vegetation diversity and environmental factors in Taleghan rangelands. Journal of Rangeland, 10(1): 171-180. (In Persian).
25. Zare Chahouki, M.A & A. Zare Chahouki, 2010. "Predicting the distribution of plants pecies using logistic regression (Case study: Garizat rangelands of Yazd province)". Desert Journal, (15): 151-158 (In Persian).
26. Zare Chahouki, M., R. Nodehi & A. Tavili, 2011. Investigation on relationship between plant diversity and environmental factors in Eshtehard rangelands. Journal of Arid Biom Scientific and Research, 1(2): 41-49. (In Persian).
27. Zare Chahouki, M.A., A. Zarei & M. Jafari, 2011. Effective environmental factors on distribution of plant species (Case study: Donbalid rangelands of Taleghan). journal of Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 1(94): 65-73. (In Persian).
28. Zare Chahouki, M.A., M. Abbasi & H. Azarnivand, 2015. Evaluation of the capability of the logistic regression model in preparing the spatial distribution map of plant species in the Taleghan rangelands. Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. 9(4): 320-332. (In Persian).
29. Zhang, K., L. Yao, J. Meng & J. Tao, 2022. Maxent modeling for predicting potential distribution of endangered species under climate change scenarios. Ecological Informatics, 68 (4): 101-118.
30. Zurell, D., J. Franklin, C. König, P.J. Bouchet, C.F. Dormann, J. Elith & C. Merow, 2020. A standard protocol for reporting species distribution models. Ecography, 43(9): 1261-1277.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.7.7]