DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2022.18347.1889

مدل‌سازی پراکنش گیاه گز پرشاخه (*Tamarix ramosissima* Ledeb.) در استان اصفهان بر مبنای مدل حداکثر آنتروپی (MAXENT)

(مقالهٔ پژوهشی)

۱- سیدعبّاس میرجلیلی*، دانشیار، مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
a.mirjalili@areeo.ac.ir
۲- زهرا جابرالانصار، محقق، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۳- محمّدعلی قوامپور، دکترای مرتع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷
پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۰

چکیده

گز پرشاخه به دلیل توان زیادی که در استقرار در نواحی خشک و نیمه‌خشک دارد، از گیاهان ارزشمند برای ایجاد پوشش گیاهی در این مناطق محسوب می‌شود. کاربرد این گونه خودرویِ گز در شرق اصفهان می‌تواند با مقاصد کنترل نواحی بیابانی، تکثیر و گسترش یابد؛ لیکن اطلاعات مربوط به نیازهای رویشگاهی و اکولوژیکی آن محدود است. این پژوهش با هدف شناخت عوامل تأثیرگذار در پراکنش این گونه و مدل‌سازی زیستگاه‌های بالقوّهٔ رویش این گونه در استان اصفهان تدوین و انجام شد. نقاط پراکنش گز پرشاخه، طبق فلور ایران مشخص شد و با مراجعه به منطقه، نمونه‌برداری انجام گرفت و مشخصات جغرافیایی و اکولوژیک آن ثبت گردید. در مجموع، تعداد ۵۵ مکان پراکنش، در ۱۴ شهرستان ثبت شد. با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی، ۱۹ متغیر بیواقلیمی و سه متغیر پستی و بلندی برای مدل‌سازی پراکنش گونه به کار گرفته شد و با آزمون جک‌نایف اهمّیت هر یک از متغیرهای محیطی در مدل‌سازی ارزیابی شد. نتایج کیفیت مدل حداکثر آنتروپی برای گز پرشاخه برابر با ۰/۹۶۷ به دست آمد. ارزیابی صحّت مدل با استفاده از ضریب آماری کاپا برابر با ۰/۸۰ انجام شد که نشان دهندهٔ تطابق بسیار بالای مدل با واقعیت زمینی است. عامل محیطی مربوط به توپوگرافی شامل درصد شیب و عوامل اقلیمی میزان بارش در سردترین فصل، بارندگی سالانه، دامنه تغییرات سالانه دما و میانگین دمای سردترین فصل به ترتیب بیشترین تأثیر را در پراکنش گونه دارا بودند. بر اساس پیش‌بینی احتمال حضور گونه بر مبنای پتانسیل رویشگاهی، حدود ۱۹ درصد از مساحت استان اصفهان مشروط به عدم‌وجود عوامل محدودکننده، قابلیت مطلوب برای حضور این گونه را دارد.

واژگان کلیدی: کنترل بیابان، پراکنش، متغیرهای محیطی، نیاز رویشگاهی، *Tamarix ramosissima*

مقدّمه

مدل‌سازی تناسب رویشگاهی که با مدل توزیع گونه‌ای ارتباط نزدیکی دارد، برای درک و پیش‌بینی پراکنش یک گونه استفاده می‌شود و در زمینه اکولوژی حفاظتی و احیا کاربرد زیادی دارد. مدل‌سازی تناسب رویشگاهی می‌تواند بینشی کلیدی در مورد توزیع بالقوّهٔ مکانی و زمانی جمعیت یک گونه، نحوهٔ پاسخگویی گونه‌ها به محیط‌های جدید، مکان‌یابی گونه‌های نادر و در معرض خطر، کاوش در توزیع گونه‌های مهاجم و تعریف مناطق با اولویت حفاظت ارائه نماید [۷].

مدل حداکثر آنتروپی (MAXENT) یکی از مدل‌هایی است که بر مبنای حضور گونه، پیش‌بینی مکانی پراکنش گونه‌ای را انجام می‌دهد. این مدل برای گونه‌های متعدّد جانوری و گیاهی و در مناطق مختلف جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفته است.

از جمله تحقیقات انجام شده در زمینهٔ این پژوهش می‌توان به بررسی اثر تغییر اقلیم بر آشیان اکولوژیک اقلیمی گونه گیاهی *Bromus tomentellus* (Boiss) در استان اصفهان با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی اشاره نمود [۳]. در پژوهش دیگری، تأثیر متغیرهای پیشگو و انواع مدل‌های گونه‌ای بر پراکنش گز پرشاخه در شمال-غربی چین مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که بهترین مدل برای پیش‌بینی پراکنش *T. ramosissima* مدل جنگل‌های تصادفی (Random Forests Model) بوده و عامل آب و هوا تأثیرگذارترین متغیر معرفی شد [۲۷]. همچنین Zare Chahouki و PiriSahragard (۲۰۱۶)، با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی، قابلیت رویشگاهی گونه گز پرشاخه در مراتع گاریزات استان یزد را بررسی کردند [۲۶].

کاربرد گز پرشاخه در فضای سبز شهری با بهره‌گیری از ۱۰ روش مدل‌سازی توزیع گونه‌ای (شامل GLM، GBM، GAM، CTA، ANN، SRE، FDA، MARS، RF، Tsuruoka و MAXENT) مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۲]. یافته‌ها نشان داد که متوسط دمای سردترین فصل سال، بارش کم باران‌ترین (خشک‌ترین) فصل سال و ارتفاع، به ترتیب، سه متغیر مهم در پراکنش گونه در زمان حال به شمار می‌روند. متغیرهای متوسط دمای سردترین فصل سال، متوسط دمای گرم‌ترین فصل سال و ارتفاع، بیشترین اهمّیت را در پراکنش این گونه در آینده دارند. همچنین نتیجه‌گیری شد که گز پرشاخه گونهٔ گیاهی مناسبی برای فضای سبز استان‌های خراسان رضوی و سمنان است.

بررسی سوابق، حاکی از کاربرد مؤثّر مدل حداکثر آنتروپی در مطالعات پراکنش گونه‌ای است. مدل حداکثر آنتروپی برای ارزیابی قابلیت زیستگاه مطلوب قوچ و میش در منطقه تنگ صیاد به کار برده شده‌است و نتایج نشان داده که مطلوبیت زیستگاه برای قوچ و میش در فصل بهار از دو فصل تابستان و زمستان بیشتر است [۱۲]. همچنین Kumar و Stohlgren (۲۰۰۹)، روش حداکثر آنتروپی را روش خوبی برای پیش‌بینی زیستگاه مناسب برای گونه در معرض خطر *Canacomyrica monticola* در منطقه کالدونیای جدید دانستند [۱۰].

در یک پژوهش Yi و همکاران (۲۰۱۶) نیز مدل حداکثر آنتروپی را برای پیش‌بینی پراکنش گونه دارویی در معرض خطر *Homonoia riparia* در یوهان چین استفاده کردند. نتایج نشان داد که هفت متغیر میانگین سالانه دما، ارتفاع از سطح دریا، فصلی‌بودن بارش، بارش سردترین فصل سال، فاصله تا نزدیک‌ترین رودخانه، فصلی‌بودن دما و بارش در خشک‌ترین ماه، از عوامل مهمّ تعیین‌کنندهٔ رویشگاه مناسب این گونه بودند [۲۴].

Evangelista و همکاران (۲۰۰۹)، مدل حداکثر آنتروپی را برای ارزیابی کاربردی و عملکردی آن در سنجش از راه دور برای گونه‌های گز مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققین نشان داد که مدل حداکثر آنتروپی، یک روش مؤثّر برای نقشه‌برداری گونه‌های گز است که برای مدیران منابع همیشه یک چالش بوده است. آنها نتیجه گرفتند که عملکرد مثبت مدل حداکثر آنتروپی با مجموعه داده‌های سنجش از دور عملکرد یکسانی داشت [۶].

مطالعات اکولوژیک و شناخت نیاز رویشگاهی گونه‌های مختلف به لحاظ تولید اطّلاعات پایه نقش مهمّی دارند. همچنین زمینه را برای شناسایی مناطق مستعد جنگل‌کاری و برنامه‌ریزی‌های آینده با گونه‌های مختلف فراهم می‌کند [۱۴]. گز پرشاخه به عنوان یک گیاه شوررست با تحمّل نمک بالا و مقاومت زیاد در برابر خشکی، فرسایش بادی و دفن‌شدن توسطه ماسه‌های روان، به طور گسترده‌ای در کنترل بیابان‌زایی در چین مورد استفاده قرار گرفته است [۲۷].

با توجه به پتانسیل بسیار زیاد گیاه گز برای گسترش در مناطق خشک و نیمه‌خشک و همچنین تحمّل زیاد این گونه به شوری، می‌توان آن را گونه‌ای مناسب برای جنگلکاری در مناطق خشک و شور دانست. گونه‌های گز در مناطق خشک بویژه در معرض شن‌های روان، تشکیل نبکاها را می‌دهند [۴] که در شرق اصفهان نیز دیده می‌شود. گیاه گز همچنین قادر به استفاده از آب‌های شور و دفع نمک اضافی از طریق غدد برگی بوده که در زمان ریزش برگ‌ها باعث تشکیل لایه‌ای از نمک در قشر سطحی خاک می‌شود [۱۶].

گونه‌های گز از این توانایی دفع نمک به عنوان یک استراتژی سازگاری برای تحمّل شوری در زیستگاه‌های شور استفاده می‌کنند [۱۴]. از جمله گونه‌های قابل رویش در چنین مناطقی، گز پرشاخه است. گز پرشاخه به طور معمول در بستر آبراهه‌ها یا رودخانه‌های فصلی (شور و قلیایی) مناطق خشک و نیمه‌خشک رویش دارد [۵]. این گونه در ایران پراکنش جغرافیایی وسیعی دارد، لیکن مطالعات مربوط به این گونه و بویژه اطّلاعات مربوط به نیازهای رویشگاهی و اکولوژیکی آن محدود است.

بررسی منابع نشان داد که Rouhi Moghaddam و همکاران (۲۰۱۵) مطالعاتی روی این گونه و ارتباط عناصر و بافت خاک با پراکنش گونه در حوزه هیرمند دشت سیستان داشته‌اند [۲۱]. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۷) خواص فیزیکوشیمیایی خاک رویشگاهی گونه گز پرشاخه را در استان ایلام مطالعه کردند و معتقدند که فاصله از رودخانه، درصد کربن آلی، هدایت الکتریکی خاک، رطوبت خاک، فسفر قابل جذب و درصد سیلت مهم‌ترین عوامل مؤثّر بر استقرار و پراکنش این گونه بوده است. بنابراین ضروری است تا نسبت به شناخت اکولوژیکی این گونه مطالعات جامعی صورت گیرد [۱۴].

از آنجا که تشکیل نبکاهای گز در مناطق شرقی اصفهان و آشکارشدن نقش گونه‌های گز در تشکیل آنها و جلوگیری از فرسایش خاک و پدیده ریزگردها، بیش از پیش توجه دست‌اندرکاران عرصه منابع طبیعی را به خود معطوف کرده است، بنابراین، این مطالعه با هدف شناخت عوامل تأثیرگذار در پراکنش این گونه و مدل‌سازی رویشگاه‌های بالقوّهٔ گونه گز پرشاخه در استان اصفهان با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MAXENT) به منظور دستیابی به راهبردهای کارآمد برای طرح‌های بیابان‌زدایی و ایجاد پوشش‌های سبز در مناطقی از استان که توان نگهداری و رویش این گونه را دارند، انجام شد.

مواد و روش‌ها

الف) منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحتی معادل ۱۰۷۰۲۹ کیلومتر مربع، در موقعیت جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد. تغییرات شدید ارتفاع (از ۶۰۰ تا حدود ۴۲۵۰ متر) باعث بروز اقلیم‌های متنوع در این استان شده است. مناطق شرق و غرب استان به ترتیب دارای میانگین بارندگی ۷۵ تا ۸۰۰ میلی‌متر، میانگین حداقل دما از ۶/۳ تا ۱/۱ درجه سانتی‌گراد، و میانگین بیشینه دما از ۱۶/۲ تا ۲۸/۲ درجه سانتی‌گراد متغیر می‌باشد [۱۵].

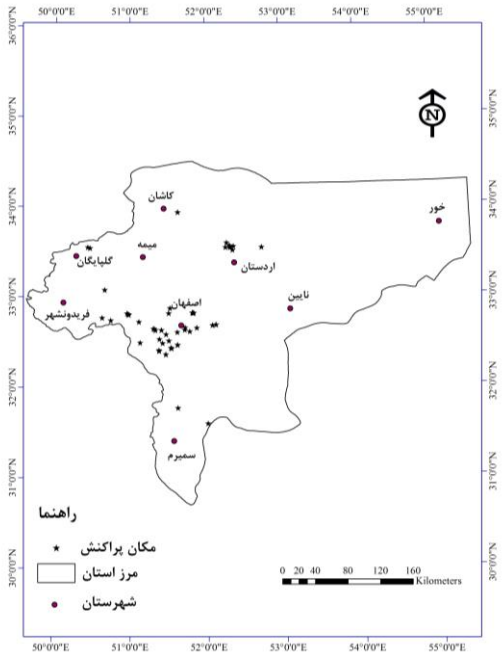
ب) نقاط رخداد گونه

گز پرشاخه طبق فلور ایران [۲] در منطقه سجزی، شاخ کنار، حبیب‌آباد و خارا رویش طبیعی دارد. با مراجعه به این مناطق، نمونه‌برداری از گیاهان صورت گرفت و مشخصات جغرافیایی و اکولوژیک آن ثبت گردید. علاوه بر این، در سایر نقاط استان نیز غربالگری برای جمع‌آوری و شناسایی گونه‌های گز در قالب پژوهش مجزایی انجام شد که نتایج آن در خصوص گز پرشاخه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور نمونه‌برداری از روش تصادفی طبقه‌بندی شده استفاده گردید؛ بدین ترتیب که در مناطق همگن از نظر خصوصیات توپوگرافی اقدام به نمونه‌برداری تصادفی شد. در مجموع از نمونه های جمع‌آوری و شناسایی شده در ۲۳ شهرستان این استان، تعداد ۵۵ نمونه در ۱۴ شهرستان استان گز پرشاخه تشخیص داده شد که اطّلاعات مکانی آنها در فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱).

ج) متغیرهای محیطی

در این مطالعه از ۱۹ متغیر بیواقلیمی (با کدهای Bio1-Bio19) با مقیاس یک کیلومترکه از پایگاه داده‌ای Worldclim در بازه زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ استخراج شده و بر مبنای درجه حرارت، بارندگی و رطوبت می‌باشند و از دیدگاه اکولوژیک بر پراکنش گونه‌های گیاهی موثرند و همچنین متغیرهای فیزیوگرافی (ارتفاع، جهت جغرافیایی و شیب) با اندازه پیکسل یک کیلومتر در نرم‌افزار Arc GIS 10.2 تهیه و برای مدل‌سازی پراکنش گونه گز پرشاخه استفاده شد.



شکل ۱- موقعیّت مناطق مورد مطالعه در استان اصفهان

در ایـن پـژوهش از داده هـای جهـانی بیوکلیماتیـک (Bio1-Bio19) به صورت رقومی استفاده گردیـده اسـت، دسترسی به نقشه رقومی منابع آبی امکانپذیر نبود، لـذا در تحقیق این متغیر مورد بررسی قرار نگرفت. بـا اسـتفاده از محاسـبه ضـریب همبسـتگی پیرسـون بـین متغیرهـای محیطی، متغیرهایی که ضریب همبستگی بین آنها بیش از ۰/۸۰ بود مشخص و از بـین هـر جفـت دارای همبسـتگی فقط یکـی بـا توجـه بـه تـاثیرات اکولوژیـک بـر پـراکنش گونه‌های گیاهی در فرآیند مدل‌سازی وارد گردید (جـدول ۱).

جدول ۱- متغیرهای محیطی استفاده شده در مطالعه مدل‌سازی گز پرشاخه در استان اصفهان

ردیف	متغیر محیطی	نام اختصاری	واحد*
۱	دمای متوسط سالانه	Bio 1	درجه سانتی‌گراد ×۱۰
۲	حداقل دمای سردترین ماه	Bio 6	درجه سانتی‌گراد ×۱۰
۳	محدوده سالانه دما	Bio 7	درجه سانتی‌گراد × ۱۰
۴	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل	Bio 8	درجه سانتی‌گراد ×۱۰
۵	میانگین دمای سردترین فصل	Bio 11	درجه سانتی‌گراد ×۱۰
۶	بارش سالانه	Bio 12	میلی‌متر
۷	بارش گرم‌ترین فصل	Bio 18	میلی‌متر
۸	بارش سردترین فصل	Bio 19	میلی متر
۹	ارتفاع	ELE	متر
۱۰	شیب	SLO	درصد
۱۱	جهت	ASP	-

*حسب قوانین مربوط به سازمان worldclime، داده‌های مربوط به درجه حرارت (Bio1-Bio11) در عدد ۱۰ ضرب می‌شوند تا اندازه فایل‌ها کـاهش یافته و دانلود فایل‌های بسیار بزرگ امکان‌پذیر باشد (https://worldclim.org/data/v1.4/formats.html)

د) مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای

مدل‌سازی پراکنش گونه گیاهی گز پرشاخه با استفاده از نرم افزار Maxent (نسخه ۳.۳.۳) (http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/) صورت گرفت. مدل حداکثر آنتروپی یکی از پرکاربردترین مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای است که صرفاً با استفاده از داده‌های حضور به برآورد توزیع گونه‌های گیاهی می‌پردازد. در این پژوهش، از ۷۵ درصد داده‌ها برای مدلسازی و از ۲۵ درصد باقیمانده برای آزمون مدل استفاده گردید [۱۸].

به منظور تهیه نقشه حضور گونه از حد آستانه (۱۰ درصد داده‌های حضور به‌کاررفته در فرایند مدل‌سازی) استفاده گردید. برای تعیین کیفیت مدل از سطح زیر منحنی (AUC) استفاده شد. دامنه این شاخص از صفر تا یک است و مقدار ۰/۵ به معنای یک مدل کاملاً تصادفی است و توانایی پیش‌بینی حضور و غیاب مکان‌های جدید را ندارد ولی مقادیر نزدیک به یک بیانگر مدلی قوی با قدرت پیش‌بینی بالا هستند [۳].

همچنین ارزیابی مدل با استفاده از ۴۰ داده مستقل و با کمک ماتریس خطا از طریق محاسبه ضریب آماری کاپا (Kappa) انجام گرفت (رابطه ۱). ضریب کاپا میزان توافق بین مقادیر مشاهدات و مقادیر پیش بینی‌ها را نشان می‌دهد. حداکثر مقدار این ضریب برابر ۱ است بدین معنی که توافق کامل بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی وجود دارد. در مقادیر صفر احتمال تصادفی‌بودن مقادیر واقعی و پیش‌بینی برابر است [۱۱].

$$k = \frac{\left(\frac{a+d}{n}\right) - \frac{(a+b)(a+c)+(c+d)(d+b)}{n^2}}{1 - \frac{(a+b)(a+c)+(c+d)(d+b)}{n^2}} \qquad (۱)$$

در این رابطه، a مقادیری که هم در واقعیت و هم در مدل وجود دارد، b مقادیری که فقط در مدل وجود دارد، c مقادیری که فقط در واقعیت وجود دارد، d مقادیری که در مدل و واقعیت دیده نمی‌شود، n تعداد کل رخدادهای صحیح و اشتباه حضور و عدم حضور را نشان می دهند.

با استفاده از آزمون جک نایف، اهمّیت هر یک از متغیرهای محیطی در فرآیند مدل‌سازی ارزیابی گردید. پس از تهیه نقشه پراکنش گونه گیاهی گز پرشاخه در نرم افزار ArcGIS 10.2، رویشگاه پیش‌بینی شده به چهار طبقه رویشگاه نامناسب (۰/۲۰-۰)، رویشگاه با تناسب متوسط (۰/۴۰-۰/۲۰)، رویشگاه مناسب (۰/۷۰-۰/۴۰) و رویشگاه بسیار مناسب (۱-۰/۷۰) گروه‌بندی گردید.

نتایج

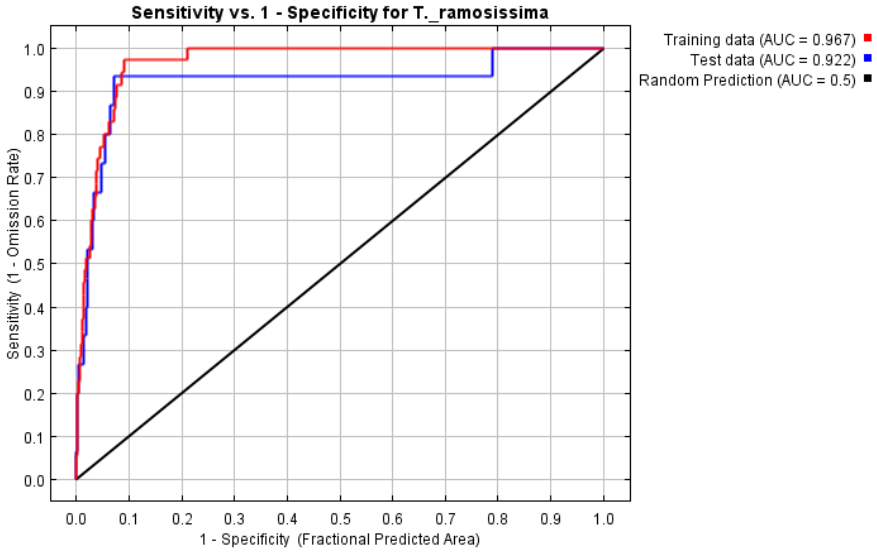
نتایج مدل حداکثر آنتروپی برای گونه *T. ramosissima* با سطح زیر منحنی (AUC) برابر با ۰/۹۶۷ به دست آمد (شکل ۲). با توجه به نتایج آزمون جک نایف، عوامل اقلیمی شامل بارش سردترین فصل (Bio19)، بارندگی سالانه (Bio12)، محدوده سالانه دما (Bio7) و میانگین دمای سردترین فصل (Bio11) و عامل مربوط به توپوگرافی شامل درصد شیب به ترتیب بیشترین تاثیر را در پراکنش گونه دارا بودند (شکل ۳).

منحنی‌های پاسخ گونه گز پرشاخه نسبت به متغیرهای محیطی تأثیرگذار در پراکنش آن در شکل ۴ نمایش داده شده است. منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به همه متغیرهای اقلیمی شامل بارش سردترین فصل (Bio19)، بارندگی سالانه (Bio12)، محدوده سالانه دما (Bio7) و میانگین دمای سردترین فصل (Bio11) حالت گوسی و نسبت به متغیر شیب، حالت سیگموییدی دارد.

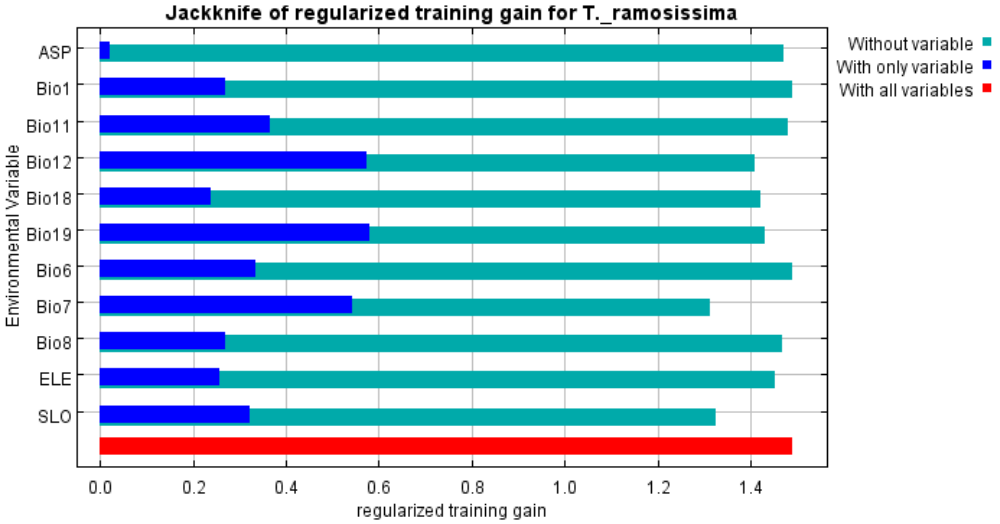
با افزایش بارش سردترین فصل از ۲۵ میلیمتر تا حدود ۹۰ میلیمتر احتمال حضور گونه افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد (شکل ۴-الف). با افزایش بارش سالانه تا حدود ۱۶۰ میلیمتر، احتمال حضور گونه افزایش و پس از آن سیر نزولی به خود می‌گیرد (شکل ۴-ب). بیشترین حضور گونه در محدوده دمای سالانه ۴۱/۲ درجه سانتیگراد می‌باشد (شکل ۴-ج).

با افزایش میانگین دمای سردترین فصل تا حدود ۴ درجه سانتیگراد احتمال حضور گونه مورد مطالعه افزایش می‌یابد و پس از آن منحنی حضور تا حدود ۱۰ درجه سانتیگراد روند کاهشی به خود می‌گیرد. (شکل ۴-د). با افزایش شیب از یک درصد احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد و در شیب حدود ۴۰ درصد احتمال حضور گونه به صفر می‌رسد (شکل ۴).

نتایج حاصل از ارزیابی نقشه پراکنش با استفاده از داده‌های مدل و ماتریس خطا نشان داد که مدل پیش‌بینی شده با مقدار ضریب کاپای ۰/۸۰ دارای تطابق عالی [۱۱] نقشه خروجی با واقعیت زمین است.



شکل ۲- سطح زیر منحنی ROC



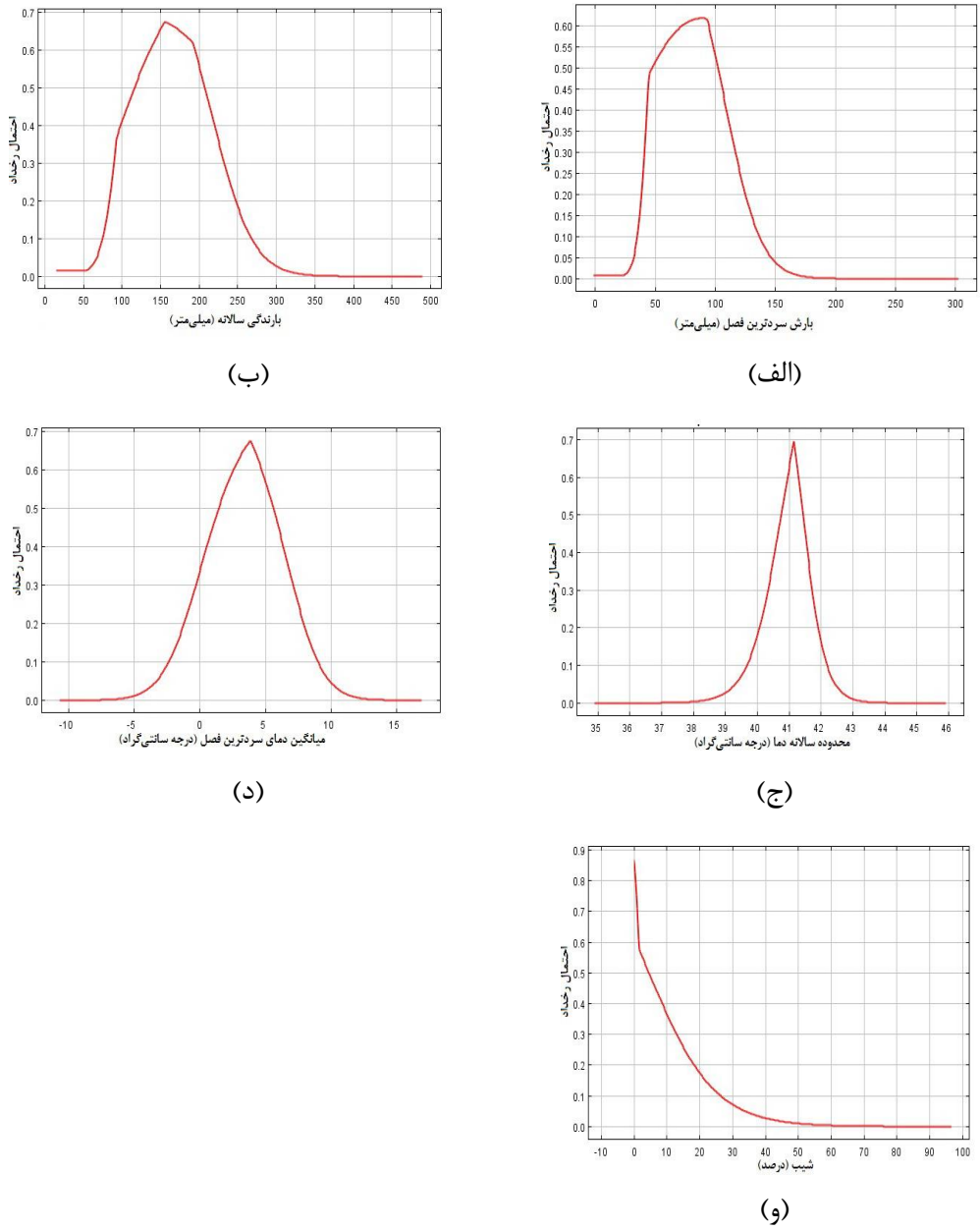
شکل ۳- آزمون جک نایف برای بررسی اهمیت متغیرهای محیطی در پیش بینی پراکنش گونهٔ *T .ramosissima*

نتایج حاصل از مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای نشان داد که مساحت قابل توجهی از استان اصفهان کمترین قابلیت رویشگاهی برای گونه گز پرشاخه را دارد. به طوری که در بیش از ۶۹/۵ درصد از مساحت استان (نیمه شرقی، بخشی از جنوب و غرب)، کمترین احتمال حضور گونه را می‌توان پیش بینی کرد.

مساحت قابل رویش مشتمل بر حدود ۱۹ درصد از مساحت استان است که در یک نوار مورب غربی - شرقی در مرکز و بخشی متمایل به شمال استان مشاهده می‌شود (شکل ۵ و جدول ۲).

بحث

مدل حداکثر آنتروپی بر اساس داده‌های حضور با تعداد نمونه کم بخوبی می‌تواند برهم کنش متغیرهای مختلف را بررسی و در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها نسبت به سایر مدل‌های نیچ اکولوژیک نتایج قابل قبولی ارایه نماید [۸].

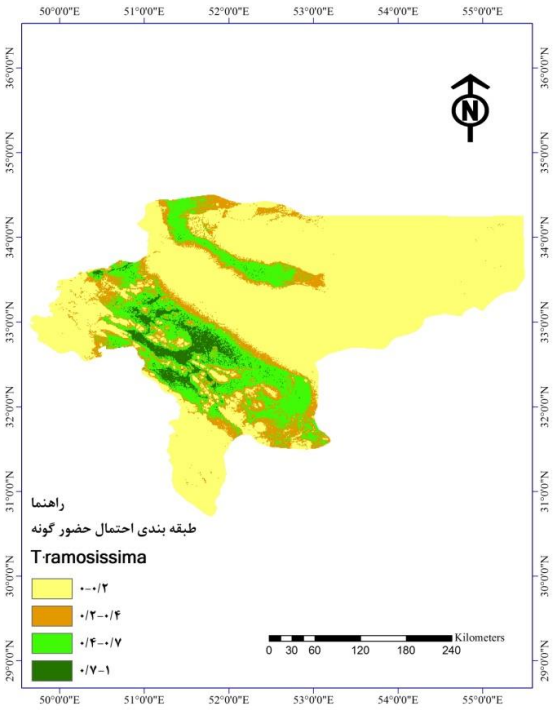


شکل ۴- منحنی‌های پاسخ گونه *T.ramosissima* به عوامل محیطی تأثیرگذار

نیچ اکولوژیک یک گونه، تعامل فضا و شرایطی است که در آن قادر به زنده ماندن، دوام و ادامه توانایی باروری خود برای ماندن در جمعیت‌های زنده است. نیچ‌های اکولوژیک نقش مهمی در شرح خاستگاه گونه‌ها، تداوم، پراکنش و ظرفیت رقابت آنها ایفا می‌کنند. آب و هوا، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، کاربری زمین و فعل و انفعالات بیولوژیکی به عنوان محرک‌های اصلی پراکنش و نیچ اکولوژیکی گونه‌ها در مقیاس‌های مختلف جغرافیایی شناخته شده است [۱]. در این پژوهش از مدل حداکثر آنتروپی برای پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی بالقوه گیاه گز پرشاخه (*T. ramossisima*) استفاده شد. نتایج مدل حداکثر آنتروپی برای گونه *T.ramosissima* با AUC برابر با ۰/۹۶۷ نشان دهنده عملکرد مناسب مدل در پیش‌بینی رخداد گونه می‌باشد. با توجه به مقدار AUC و بر اساس طبقه بندی سطح زیر منحنی [۲۳] دقت مدل پیش‌بینی برای گونه *T. ramosissima* عالی برآورد شد [۱۸].

یافته‌های این پژوهش با نتایج حاصل از ارزیابی پراکنش گونه گز پرشاخه در گاریزات استان یزد با ۰/۹۹ =AUC [۲۶] و همچنین با کاربرد این مدل بر روی

پراکنش گونه *Rosa arabica* در مصر (AUC=0.985) مطابقت دارد [۱]. نتایج مدل سازی Qin و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که میانگین مقادیر AUC در بررسی تناسب رویشگاهی حال و آینده گیاهان اصلی مورد استفاده در رژیم غذایی خرس گوبی برای گونه‌های قره داغ (*N. sibirica, N. roborowskii* and *N. sphaerocarpa*)، افدرا (*Ephedra equisetina*)، ریواس (*Rheum nanum*) بین ۰/۹۹۳ تا ۰/۹۹۶ بود و چنین نتیجه‌گیری کردند که این مدل بسیار قابل اعتماد است و می‌تواند توزیع گونه‌های گیاهی مربوطه را تحت سناریوهای آب و هوایی فعلی و آینده منعکس کند. همچنین Malekpour و همکاران (۲۰۱۸) کاربرد این مدل برای ارزیابی زیستگاه میش و قوچ در منطقه تنگ صیاد در استان چهار محال بختیاری را از ۰/۶۱ تا ۰/۷۹ در فصول مختلف به دست آوردند و آن را نشان دهنده عملکرد مناسب مدل دانستند [۱۲].



شکل ۵- نقشهٔ پیش‌بینی پراکنش گونه گز پرشاخه بر مبنای پتانسیل رویشگاهی. (رنگ زرد: عدم یا حضور کم، رنگ قهوه‌ای: حضور متوسط، رنگ سبز کم‌رنگ: حضور خوب، رنگ سبز تیره: حضور ایدآل، بیشترین احتمال حضور گونه). لازم به ذکر است که در مدل آنتروپی خروجی مدل حداکثر آنتروپی نقشه‌ای است که مقادیر آن از صفر تا یک متغیر است و هر پیکسل مقدار و ارزش ویژه خود را دارد؛ اما در این پژوهش، به منظور درک بهتر و آسان‌تر نقشه از طبقه‌بندی نقشه در نرم افزار ArcGIS استفاده گردید و طبقه ۰-۰/۲ چنانچه در نقشه هم قید شده، نشان‌دهنده عدم‌حضور تا حضور کم است که صفر نشانگر عدم حضور یا زیستگاه نامطلوب است.

نقش عوامل محیطی

نتایج پژوهش حاضر، پاسخ گز پرشاخه نسبت به متغیرهای محیطی تأثیرگذار در پراکنش آن را به خوبی نشان داد. بر اساس این پژوهش، میزان بارش، دما و توپوگرافی مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار بودند. اثر متغیرهای بارشی و دمایی بر پراکنش گز پرشاخه توسط محققین قبلاً گزارش شده است و پژوهش حاضر نیز تایید کننده آنهاست.

مدل‌سازی رویشگاه گونه‌های گز (*T. chinensis* و *T. ramosissima*) و اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش آنها در شمال غربی ایالات متحده با استفاده از مدل تناسب زیستگاهی (ENFA) و در نظر گرفتن متغیرهای محیطی شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، میزان بارش، میزان تابش خورشیدی و فاصله تا سطح منابع آبی تجزیه و تحلیل شده است. نتایج حاکی از این بود که دمای کمینه، درجه حرارت‌های روزانه و روزهای یخبندان بیشترین تأثیر

را در پراکنش این گونه‌ها داشتند و بیان کردند که داده‌های مربوط به منابع آب هیچ تأثیر مثبتی در پراکنش گونه نداشته است.

نتایج آنها همچنین نشان داد که مراکز اصلی پراکنش جمعیت این گونه به گرم‌ترین و خشک‌ترین محیط‌ها در دشت مرکزی و حوضه شمالی و دامنه‌ها محدود بودند. نتایج نشان داد که ۲۱ درصد از منطقه قابلیت زیستگاه‌های مناسب گز را پشتیبانی می‌کند. این در حالی بود که کمتر از ۱ درصد از این مناطق توسط گز اشغال شده بود. همچنین بیان کردند که اگرچه عدم‌قطعیت قابل ملاحظه‌ای در مورد تغییرات آب و هوایی آینده وجود دارد، اما افزایش ۲ تا ۱۰ برابری رویشگاه بسیار مناسب را برای گونه‌های مورد مطالعه در پایان قرن پیش‌بینی کردند [۹].

جدول ۲- مساحت طبقات رویشگاه در نقشه پیش‌بینی شده برای گونه گز پرشاخه بر منبای مدل حداکثر آنتروپی

احتمال حضور	طبقات رویشگاه	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۰-۰/۲	نامناسب	۷۴۵۰۵۹۶/۲۵	۶۹/۵۳
۰/۲-۰/۴	متوسط	۱۲۶۹۶۳۳/۴۷	۱۱/۸۵
۰/۴-۰/۷	مناسب	۱۶۰۱۹۵۷/۹۹	۱۴/۹۵
۰/۷-۱	بسیار مناسب	۳۹۳۴۲۶/۷۹	۳/۶۷

یافته‌های یک پژوهش در ایران حاکی از این است که متوسط دمای سردترین فصل سال، بارش کم باران‌ترین (خشک‌ترین) فصل سال و ارتفاع به ترتیب، سه متغیر مهم در پراکنش گونه در زمان حال و آینده به شمار می‌روند. پراکنش گونه *T. ramosissima* در آینده نسبت به زمان حال به سمت شمال‌شرق و مرکز ایران کشیده خواهد شد. همچنین سطح زیستگاه‌های مطلوب برای این گونه در آینده افزایش پیدا خواهد کرد [۲۲].

این نتایج تا حدود زیادی یافته های پژوهش حاضر را تأیید می‌کند، به‌عبارت دیگر عوامل متوسط دمای سردترین فصل و همچنین ارتفاع به طور غیرمستقیم در هر دو پژوهش به عنوان عوامل تأثیرگذار شناسایی گردیدند. بدیهی است درصد شیب از نقشه رقومی ارتفاع استخراج می‌شود و این دو عامل با هم مرتبط هستند.

مطالعه پراکنش گز پرشاخه با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در منطقه گاریزات یزد نشان داد هدایت الکتریکی (EC) و رطوبت در دسترس اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش گز پرشاخه بودند. به عبارت دیگر، این گونه احتمال وقوع بالایی در مناطقی با EC بیش از ۵۰dS/m و رطوبت بیش از ۸ درصد (تقریباً ۸ تا ۱۰) دارد [۲۶].

از سوی دیگر Xu و همکاران (۲۰۰۶) نقش شرایط خاک در الگوی پراکنش گیاه گز پرشاخه را در دامنه‌های شمالی کوه‌های تیانشان مورد بررسی قرار دادند. آنها در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که جامعه *گیاهی Tamarix ramosissima* ترجیح خاصّی نسبت به شوری یا عمق سطح ایستابی ندارد، اما رویشگاه‌های با ظرفیت رطوبتی بالای خاک را ترجیح می‌دهد [۲۵].

اگرچه در مواردی درختان گز در آبراهه‌ها و نقاطی که سطح ایستابی بالایی دارند استقرار یافته اند و به شوری خاک هم بردبار هستند، لیکن در پژوهش حاضر به دلیل استفاده از مدل حداکثر آنتروپی که تأکید بر عوامل اقلیمی و داده های رقومی دارد، بررسی سطح ایستابی و میزان شوری نواحی پراکنش گز پرشاخه مورد بررسی قرار نگرفت و پیشنهاد می‌شود در مطالعه‌ای دیگر به طور جامع نقش عوامل اقلیمی، خاکی و سطح ایستابی به صورت توأم در پراکنش گونه مورد نظر بررسی گردد. علاوه بر این، تحقیق حاضر نوعی مدل‌سازی است و قطعیت آن با انجام تحقیقات مرتبط می‌تواند تکمیل گردد.

نتیجه‌گیری

توان بالقوّهٔ گیاه گز برای استقرار در مناطق خشک می‌تواند با ایجاد پوشش گیاهی، دستیابی به اهداف کنترل بیابان را امکان‌پذیر نماید. گز پرشاخه از گونه‌های مستقر در مناطق مرکزی ایران است که پراکنش خوبی در مناطق بیابانی دارد و مطالعه رویشگاه و عوامل تأثیرگذار در

گسترش قلمرو آن می‌تواند به حفظ پوشش و احیای مناطق خشک کمک شایانی نماید.

با استفاده از مدل پیش‌بینی حداکثر آنتروپی مکان‌های مناسب رویشگاهی این گونه در اصفهان شناسایی شد که متصدّیان حفاظت از منابع طبیعی را برای برنامه‌ریزی پروژه‌های احیا و اصلاح مراتع و مسدودنمودن کانون‌های بحران بیابانی یاری خواهد نمود. حسب انطباق نقشه پیش‌بینی پراکنش گونه گز پرشاخه به دست آمده در این تحقیق می‌توان گفت این گونه می‌تواند در شهرستان‌های زرین‌شهر، اصفهان، تیران با وسعت بیشتر و شهرستان‌های ورزنه، بادرود و بخش‌هایی از شهرستان کاشان با وسعت کمتر با رعایت تناسب زیستگاهی مورد استفاده قرار گیرد.

References

[1]. Abdelaal, M., Fois, M., Fenu, G., & Bacchetta, G. (2019). Using MaxEnt modeling to predict the potential distribution of the endemic plant *Rosa arabica* Crép. in Egypt. Ecological Informatics, 50: 68-75.

[2]. Assadi M. (1998). Flora of Iran, No. 1: Tamaricaceae. Research Institute of Forests and Rangelands. Tehran. 73 Pp. (in Farsi)

[3]. Bazrmanech A, Tarkesh Isfahani M, & Bashari H. (2018). The effect of climate change on climatic ecological nests of *Bromus tomentellus* Boiss. Using Maxent model in Isfahan province. Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources. 71(4): 857-867. (in Farsi)

[4]. Bing, L., Wenzhi, Z., & Rong, Y. (2008). Characteristics and spatial heterogeneity of *Tamarix ramosissima* Nebkhas in desert-oasis ecotones. Acta Ecologica Sinica, 28(4): 1446-1455.

[5]. Carter, J.M. and Nippert, J.B. (2012). Leaf-level physiological responses of *Tamarix ramosissima* to increasing salinity. Journal of Arid Environments, 77: 17-24.

[6]. Evangelista, P. H., Stohlgren, T. J., Morisette, J. T., & Kumar, S. (2009). Mapping invasive tamarisk (*Tamarix*): a comparison of single-scene and time-series analyses of remotely sensed data. Remote Sensing, 1(3): 519-533.

[7]. Graham, J. Young, N. Jarnevich, CS. Newman, G. Evangelista, P. & Stohlgren, TJ. (2013). The hyper-envelope modeling interface (HEMI): A novel approach illustrated through predicting Tamarisk (*Tamarix* spp.) habitat in the western USA. Environmental management, 52(4): 929-938.

[8]. Jing, WAN., QI, GJ. Jun, MA. Ren, Y. Rui, WANG., & McKirdy, S. (2020). Predicting the potential geographic distribution of *Bactrocera bryoniae* and *Bactrocera neohumeralis* (Diptera: Tephritidae) in China using MaxEnt ecological niche modeling. Journal of Integrative Agriculture, 19(8): 2072-2082.

[9]. Kerns, B. K., Naylor, B. J., Buonopane, M., Parks, C. G., & Rogers, B. (2009). Modeling tamarisk (Tamarix spp.) habitat and climate change effects in the northwestern United States. Invasive Plant Science and Management, 2(3): 200-215.

[10]. Kumar, S., & Stohlgren, TJ. (2009). Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree Canacomyrica monticola in New Caledonia. Journal of Ecology and the Natural Environment, 1(4): 094-098.

[11]. Landis, J.R., Koch, G.G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. Biometric, 33: 159-174.

[12]. Malekpour H, Morovati M., Tazeh M, Taghizadeh R. (2018). Evaluation of optimal habitat capacity of rams and ewes using MaxEnt model (Case study: Tang Sayad protected area). Animal Environment Quarterly, 10 (4): 45-54. (in Farsi)

[13]. Matinkhah S, Kaveh Sedeh Z. (1396). Relationship between soil and vegetative characteristics of *Tamarix ramosissima* in Abyaneh, Isfahan province. Applied Ecology, 6(3): 89-99. (in Persian).

[14]. Mohammadi M, Mirzaei J, Moradi M. and Naji HR. (2017). Soil physicochemical properties of Tamarisk (*Tamarix ramosissima* Ledeb.) sites in Ilam province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25(3): 419-430. (in Farsi)

[15]. Nasri, M., & Modarres, R. (2009). Dry spell trend analysis of Isfahan Province, Iran. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 29(10): 1430-1438..

[16]. Natale, E., Zalba, S.M., Oggero, A. & Reinoso, H., (2010). Establishment of *Tamarix ramosissima* under different conditions of salinity and water availability: implications for its management as an invasive species. Journal of Arid Environments, 74: 1399-1407.

[17]. Philips, S.J. and Dudik, M. (2008). Modelling of species distribution with Maxent: New extensions and a comprehensive evalution. Ecography, 31 (2), 161-175.

[18]. Phillips, S. J., Anderson, R. P., and Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological modelling, 190(3-4): 231-259.

[19]. Qin, A., Jin, K., Batsaikhan, M. E., Nyamjav, J., Li, G., Li, J. & Xiao, W. (2020). Predicting the current and future suitable habitats of the main dietary plants of the Gobi Bear using MaxEnt modeling. Global Ecology and Conservation, 22, 1-12.

[20]. Remya, K., Ramachandran, A., & Jayakumar, S. (2015). Predicting the current and future suitable habitat distribution of Myristica dactyloides Gaertn. Using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India. Ecological engineering, 82: 184-188.

[21]. Rouhi Moghaddam, E., Sargazy, E. and Gholamalizadeh, A., 2015. Ecological properties of Tamarix habitats in Sistan Plain, Iran. Ecopersia, 3(4): 1-9.

[22]. Shahriari Sani, Farashi A, Karimian Z, Al-Ranaei M. (2017). Modeling of *Tamarix ramosissima* species in urban green space using Biomod2 package in R software and based on current and future local climate of Iran. The Second National Conference on New Thoughts and Technologies in Geographical Sciences. December 25, 2017. Zanjan University. Zanjan, Iran.

[23]. Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240(4857): 1285-1293.

[24]. Xu, L., Liu, H., Chu, X., & Su, K. (2006). Desert vegetation patterns at the northern foot of Tianshan Mountains: The role of soil conditions. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 201(1), 44-50.

[25]. Yi, Y. J., Cheng, X., Yang, Z. F., & Zhang, S. H. (2016). Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour) in Yunnan, China. Ecological Engineering, 92: 260-269.

[26]. Zare Chahouki Ali, and Sahragard Hossein Piri. (2016). Evaluation of MaxEnt method for habitat distribution modeling of three plant species in Garizat rangelands of Yazd province, Iran. Range Management and Agroforestry, 37(2): 142-147.

[27]. Zhang, Q., & Zhang, X. (2012). Impacts of predictor variables and species models on simulating *Tamarix ramosissima* distribution in Tarim Basin, northwestern China. Journal of plant ecology, 5(3): 337-345.

Modeling The Distribution of *Tamarix ramosissima* Ledeb. In Isfahan Province Based on Maximum Entropy Model (MAXENT)

1- Seyed Abbas Mirjalili*, Associate professor, Imam Khomeini Higher Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Tehran, Iran.
a.mirjalili@areeo.ac.ir
2- Zahra Jaberalansar, Researcher, Isfahan agricultural research and education center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.
3- Mohammad Ali Ghavampour, Ph.D. in Rangeland, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 28 Nov. 2021
Accepted: 01 Mar. 2022

Abstract

Tamarix ramosissima, due to its high potential for settling in arid and semi-arid lands, considered as one of the valuable plants for creating vegetation in these areas. The use of the plant in the east of Isfahan can be reproduced and expanded for desertification purposes; however, information on its habitat and ecological requirements is limited. The aim of this study was to identify the factors affecting the distribution of this species and to model the potential habitats for the growth of this species in Isfahan province. The distribution points of the plant were determined according to the flora of Iran and by referring to the region, sampling was performed and its geographical and ecological characteristics were recorded. A total of 55 distribution locations were registered in 14 cities. Using the maximum entropy model, 19 bioclimatic and three topographic variables were used to model the distribution of the species and the importance of each of them in the modeling process was evaluated by Jack Knife test. The results showed the area under the receiving operator curve was equal to 0.967 by using Maxent model. The produced model had an acceptable accuracy as its Kappa coefficient index was 0.80. .Environmental factors related to topography including slope percentage and climatic factors precipitation of coldest quarter, annual precipitation, temperature annual range and mean temperature of coldest quarter had the greatest impact on species distribution, respectively. According to the prediction of the presence of the species based on habitat potential, about 19% of the area of Isfahan province, provided the absence of limiting factors, has the desired potential for the presence of this species.

Keywords: Desertification, Distribution, Environmental variables, Habitat, *Tamarix ramosissima*