سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال چهاردهم / شماره دوم) تابستان ۱۴۰۲
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیویلیکا، گوگل اسکولار
آدرس وب سایت : https://sanad.iau.ir/journal/girs

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه گونه *Vachellia tortilis* با استفاده از روش حداکثر آنتروپی در استان هرمزگان

سیروس مداحی‌نژاد[۱]، یحیی اسماعیل‌پور[۲*]، مرضیه رضایی [۳]

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶ / پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

چکیده

از عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌های گیاهی می‌توان از اقلیم، خصوصیات خاک، توپوگرافی، کاربری اراضی و مجموع ارتباطات زیستی نام برد. پژوهش حاضر به‌منظور پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه آکاسیای چتری با نام محلی گبر و با نام علمی *Vachellia tortilis* (Forssk.) Galasso & Banfi و یافتن عوامل محیطی موثر بر پراکنش جغرافیایی گونه در استان هرمزگان انجام شد. در منابع فارسی نام علمی معادل که *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne بیشتر رایج است. با توجه به هدف، اطلاعات پوشش گیاهی و عوامل رویشگاهی از قبیل پستی‌وبلندی، اقلیم، زمین‌شناسی و خاک جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری از پوشش گیاهی به روش تصادفی-سیستماتیک از طریق پلات‌گذاری در امتداد ٤ ترانسکت ۱۰۰۰ - ۲۰۰ متری انجام شد. نقشهٔ متغیرهای محیطی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. سپس نقشه‌های پیش‌بینی مربوط به پراکنش گونه با استفاده از روش مدل‌سازی آنتروپی حداکثر تهیه شد. دقّت مدل‌های پیش‌بینی حاصل با استفاده از آماره AUC مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌طورکلی نتایج نشان داد، متغیرهای مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال، تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)، مجموع بارندگی کم بارش‌ترین فصل سال، میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال، میانگین گرم‌ترین فصل سال، از مهم‌ترین ویژگی‌های اقلیمی تأثیرگذار بر پراکنش گونه گبر هستند. نتایج این تحقیق می‌تواند راهگشای مشکلات پیش روی مدیریت رویشگاه بوده و با شناخت عواملی که گونه به آن‌ها وابستگی شدیدی دارد در شرایطی که در اثر تخریب زیستگاه دچار تهدید شود، می‌توان طرح‌های حفاظتی با توجه به نیازهای زیستگاهی آن ارائه کرد.

سیروس مداحی‌نژاد[۱]، یحیی اسماعیل‌پور[۲*]، مرضیه رضایی [۳]

۱. دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

DOI: 10.30495/girs.2023.688847

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir

طرح مسئله:

برای بررسی و مدیریت جامع و بهینه اکوسیستم‌های گیاهی باید شناخت کامل از اجزا آن و درک درستی از روابط آن‌ها با یکدیگر داشته باشیم و ارتباط بوم‌شناختی موجود در طبیعت را که شامل عوامل پستی‌وبلندی، خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و موجودات زنده است را شناخت. بااین‌حال تعداد زیاد اجزاء اکوسیستم‌های گیاهی و وجود متغیرهای زیاد باعث پیچیدگی در برآورد روابط آن‌ها و اتلاف هزینه و زمان می‌شود. به‌منظور مطالعه آسان‌تر و با درصد خطای قابل‌قبول، در مطالعات اجمالی می‌توان عامل و متغیرها را کاهش داد و روابط بین پوشش گیاهی و این عوامل پی برد و از آن در مدیریت اکوسیستم استفاده کرد.

تغییرات روزافزون در گستره اکوسیستم‌های گیاهی باعث شده است که مدل‌سازی مکانی پوشش گیاهی به دلیل نیاز مدیران منابع طبیعی به تهیه نقشه‌های دقیق از پراکنش گونه‌های مختلف گیاهی، به امری عادی برای مدیران این منابع تبدیل شود. گونه آکاسیای چتری با نام محلی گبر و با نام علمی Vachellia tortilis (Forssk.) Galasso & Banfi که در منابع علمی فارسی با نام علمی معادل Acacia tortilis (Forssk.) Hayne بیشتر شناخته شده است از خانواده Fabaceae بوده و در مناطق گرم و خشک رویش دارد. پراکنش آن در جهان شامل اغلب کشورهای آفریقایی، شبه‌جزیره عربستان و ایران می باشد. این گونه گرمای شدید و دوره خشکی بیش از ۸ ماه را به تحمل خوبی می‌کند. هدف از این پژوهش شناسایی مهمترین عوامل تاثیر گذار بر پراکنش گونه Vachellia tortilis است تا با شناخت این عوامل بتوان برای مدیریت و احیا و گسترش رویشگاه این گونه تصمیمات مناسب اتخاذ گردد.

روش تحقیق

مطالعات مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه در مورد گونه‌های گیاهی در یک دهه گذشته گسترش چشمگیری داشته و مراحل و روش‌شناسی این تحقیقات از ادبیات غنی برخوردار است. بر همین اساس گام‌های انجام تحقیق حاضر با استفاده از منابع معتبر طراحی و اجرا شد. ابتدا با بازدید میدانی از منطقه رویشگاه‌های موجود شناسایی شد. سپس مختصات مناطق حضور گونه با جی‌پی‌اس برداشت شد. در این مطالعه داده های دوره زمانی پایه(حال حاضر) شامل میانگین سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۶۰ در نظر گرفته شد. لایه مدل رقومی ارتفاع(DEM) و دما و بارش ماهانه با قدرت تفکیک پذیری ۳۰ arc-seconds به صورت ریز مقیاس شده از پایگاه اطلاعاتی Worldclim اخذ گردید. از نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های درصد شیب و جهت شیب تولید شد و به‌عنوان متغیرهای فیزیوگرافی مورداستفاده قرار گرفت. کل لایه‌های محیطی از نظر محدوده، تعداد پیکسل و سیستم تصویر در نرم‌افزار ArcGIS یکسان‌سازی گردیدند. به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه از روش آنتروپی استفاده شد. آنتروپی در نظریه اطلاعات یک مفهوم پایه‌ای است. آنتروپی معیاری است که به ما نشان می‌دهد که چه گزینه‌هایی در انتخاب یا بروز یک رویداد نقش دارد؛ بنابراین توزیعی که آنتروپی بیشتر و بالاتری داشته باشد، دربرگیرنده گزینه‌ها و انتخاب‌های بیشتری است. این روش، یک روش چندمنظوره برای انجام پیش‌بینی یا استنتاج از داده‌های ناقص است. هدف این روش برآورد احتمال توزیع و پراکنش یک گونه از طریق یافت احتمال توزیعی است که دارای حداکثر آشفتگی و بی‌نظمی است برای ساخت مدل آنتروپی حداکثر، کاربر نیاز به نمونه داده‌های مربوط به گونه‌هایی که باید مورد آزمون قرار بگیرند و لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی با فرمت ENVI یا CSV نیاز دارد و باید یک مسیر به‌منظور ذخیره فایل مربوط به مدل و فایل‌هایی که دارای اطلاعات اضافی مربوط به مدل هستند، به نرم‌افزار معرفی شوند، لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی باید با فرمت ASCII و با فایلی که به نام asc ختم می‌شود یا با فرمت Diva-GIS و با پسوندهای grd و gri آماده شوند، به‌طور پیش‌فرض همه لایه‌های موجود در مسیر نرم‌افزار در مدل‌سازی مورداستفاده قرار می‌گیرند، اما این امکان هم برای کاربر وجود دارد که یک یا چند لایه را با توجه به شرایط مورد نظر خود قبل از اجرا کردن انتخاب کند. لایه‌ها می‌توانند به‌صورت پیوسته (دارای مقادیر واقعی یا صحیح) یا طبقه‌ای (مقدار کمی مقادیر گسسته) باشند. در روش آنتروپی حداکثر برای تعیین اهمیت متغیرهای محیطی از روش جک‌نایف (Jackknife) استفاده می‌شود. روش جک‌نایف به‌عنوان یک روش ارزیابی، دارای دقت قابل‌قبول است، در این روش مدل یک‌بار با همه متغیرها اجرا می‌شود، در مرحله بعد متغیرهای محیطی به‌طور متناوب از تحلیل کنار گذاشته می‌شوند و بدون این‌که به‌وسیله متغیر دیگری فرایند جایگزینی صورت گیرد، مدل با استفاده از متغیرهای باقیمانده اجرا می‌شود، در مرحله سوم مدل بار دیگر به‌طور جداگانه فقط با استفاده از دو گروه از متغیرها به‌عنوان مهم‌ترین متغیرها انتخاب می‌شوند. متغیری که وقتی کنار گذاشته می‌شود، امکان دست‌یابی به مدل مناسب کاهش

می‌یابد و متغیری که وقتی به تنهایی به کار گرفته می‌شود، حداکثر سهم را در دست‌یابی به مدل ایفا می‌کند. برای ارزیابی نتایج مدل‌سازی متغیر آماری از تحلیل منحنی ویژگی عامل دریافت‌کننده منحنی ROC (Receiver Operating Characteristic) است. مساحت زیر منحنی AUC (Area Under the Curve) با امتیاز ۱ به معنی پیش‌بینی کامل و بدون حذف هیچ‌کدام از نقاط حضور است. AUC با مقدار ۰/۵ تا ۰/۷ نشان‌دهنده یک پیش‌بینی ضعیف و AUC بین ۰/۷ تا ۰/۹ مدل قابل‌قبول و مقدار AUC بیش از ۰/۹ بیانگر پیش‌بینی خوب مدل است.

نتایج:

میزان اهمیت هریک از متغیرها با استفاده از آزمون جک نایف مشخص شد. آزمون جک نایف نشان داد که مهم‌ترین عوامل به ترتیب عبارت‌اند از: مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال BIO18، تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات) BIO15، مجموع بارندگی کم بارش‌ترین فصل سال BIO17، میانگین دمای خشک ترین فصل سال BIO9، میانگین گرم‌ترین فصل سال BIO10 و دیگر عوامل از اهمیت کمتری برخوردار هستند.

بحث و نتیجه‌گیری:

در این پژوهش مطلوبیت رویشگاه گونه آکاسیا ترتلیس با استفاده از روش مکسنت شبیه‌سازی شد. همچنین آشیان اکولوژیک بالقوه این گونه در استان هرمزگان مشخص گردید. طبق مشاهدات به نظر می رسد قسمت جنوبی و جنوب شرقی بیشترین ارزش رویشگاهی را نسبت به سایر قسمت‌های استان هرمزگان را دارا هستند. عامل اقلیمی ممکن است به‌عنوان مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده احیا و گسترش این زیستگاه اثر داشته باشد. مشخص نمودن میزان سهم هر متغیر در مدل به محققان کمک می‌کند تا متغیرهایی را که دارای تأثیر بیشتری بر احتمال وقوع گونه مدنظر دارند شناسایی کنند و این امر به صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها کمک می‌کند و محققان تنها بر متغیرهای مهم تمرکز کنند. بررسی تحلیل‌ها نشان داد مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال bio 18، تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات) BIO۱۵، مجموع بارندگی کم بارش‌ترین فصل سال ۱۷bio، میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال BIO ۹، میانگین گرم‌ترین فصل سال BIO ۱۰ بیشترین تأثیر را بر پراکنش اکاسیا ترتلیس دارند. پژوهش‌های متعددی مهم‌ترین عوامل اقلیمی را بارش و دما بیان کرده‌اند.

با در نظر داشتن نتایج این پژوهش یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مطالعات مشابه دستیابی به داده‌ها و اطلاعات متغیرهای خاک‌شناسی با دقت و انطباق مناسب با شرایط مناطق مطالعاتی کشور است که عموما باعث صرفنظر از وارد کردن داده‌های خاک‌شناسی به مطالعات می‌شود. اهمیت این داده‌ها بویژه در زمانی که مدل‌سازی بر روی مطلوبیت چند گونه که دارای تداخل رویشگاه هستند صورت گیرد بیشتر به چشم می‌آید. بررسی روند تغییرات گستره پراکنش جغرافیایی این گونه در سناریوهای اقلیمی یکی از پیشنهادهای پژوهشی است که بر اساس نتایج تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود. از جمله مهم‌ترین کاربردهای نتایج این پژوهش لزوم توجه نیاز به ابیاری برای استقرار نهال‌های گونه *Vachellia tortilis* در سال‌های آغازین رویش است زیرا بنابر یافته‌های این تحقیق بارندگی در فصل کم باران و فصل گرم موثرترین عامل محدود کننده رویشگاه گبر (آکاسیای چتری) می‌باشند که به احتمال زیاد نشان دهنده آسیب‌پذیر نهال‌های گیاه در سال‌های آغازین رویش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آشیان بوم‌شناختی، اقلیم، پراکنش گونه‌ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی

لطفاً به این مقاله استناد کنید: مداحی‌نژاد، س.، اسماعیل‌پور، ی.، رضایی، م. مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه گونه *Vachellia tortilis* با استفاده از روش حداکثر آنتروپی در استان هرمزگان. نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱٤(۲): ۵۲-۳۸.

مقدمه

برای بررسی و مدیریت جامع و بهینه اکوسیستم‌های گیاهی باید شناخت کامل از اجزا آن و درک درستی از روابط آن‌ها با یکدیگر داشت و ارتباط بوم‌شناختی موجود در طبیعت را که شامل عوامل پستی‌وبلندی، خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و موجودات زنده است را شناخت. بااین‌حال تعداد زیاد اجزاء اکوسیستم‌های گیاهی و وجود متغیرهای زیاد باعث پیچیدگی در برآورد روابط آن‌ها و اتلاف هزینه و زمان می‌شود. به‌منظور مطالعه آسان‌تر و با درصد خطای قابل‌قبول، در مطالعات اجمالی می‌توان عامل و متغیرها را کاهش داد و روابط بین پوشش گیاهی و این عوامل پی برد و از آن در مدیریت اکوسیستم استفاده کرد(۱۲).

تغییرات روزافزون در گستره اکوسیستم‌های گیاهی باعث شده است که مدل‌سازی مکانی پوشش گیاهی به دلیل نیاز مدیران منابع طبیعی به تهیه نقشه‌های دقیق از پراکنش گونه‌های مختلف گیاهی، به امری عادی برای مدیران این منابع تبدیل شود (۱۵).

گونه گبر، گیاهی درختچه‌ای از خانواده Fabaceae بوده و در مناطق گرم و خشک رویش دارد. پراکنش آن در جهان شامل اغلب کشورهای آفریقایی، شبه‌جزیره عربستان و ایران می‌باشد. این گونه گرمای شدید و دوره خشکی بیش از ۸ ماه را به تحمل خوبی می‌کند (۹). این درختچه با داشتن چوب محکم و بادوام در تولید زغال، جذب زنبور عسل، استفاده در کشت تلفیقی، خوراک دام‌ها به‌ویژه شتر، کنترل ماسه‌های روان به‌عنوان بادشکن حفاظتی و مأمنی برای حیات‌وحش کاربرد دارد. این گونه یکی از ارزشمندترین درختان مناطق جنوبی کشور به‌ویژه هرمزگان می‌باشد که از اهمیت زیست‌محیطی، اکولوژیک و اقتصادی برخوردار بوده و توان استقرار در عرصه های گرم، خشک، کم باران و خاک با حاصل‌خیزی کم را دارد. تغییرات عوامل اکولوژیک ناشی از فعالیت‌های صنعتی و پروژه‌های عمرانی، بهره‌برداری از آب و تخریب بعضی از عرصه‌های رویشگاهی حیات این گونه را به خطر انداخته است. بنابراین با توجه به خطرات ذکرشده حفظ و حراست از این گونه ارزشمند در اولویت قرار دارد(۵).

مدل‌های پراکنش گونه‌ای[1] پرکاربردترین روش‌ها به‌منظور پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر تغییرات پراکنش گونه‌های گیاهی هستند(۱۶). با استفاده از مدل‌سازی پیش‌بینی توزیع جغرافیایی می‌توان در یک محدودهٔ مشخص، مناطقی را که قادر است نیازمندی‌های مربوط به آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها را برآورده سازد، مشخص کرد یا بخشی از پراکنش پتانسیل گونه‌ها را برآورد کرد(۱۷). هدف اصلی در این گونه مطالعات تعیین مهم ترین متغیرهای اثرگذار بر پراکنش گونه می‌باشد. استفاده از نتایج این مطالعات می‌تواند راهگشای مشکلات پیش روی مدیریت رویشگاه باشد. در واقع هرگاه گونه‌ای در اثر تخریب زیستگاه دچار تهدید شود، با شناخت عواملی که گونه به آن‌ها وابستگی شدیدی دارد، می‌توان طرح‌های حفاظتی با توجه به نیازهای زیستگاهی گونه ارائه کرد(۳). تحلیل رابطه بین گونه و محیط همواره مسئله مهمی در بوم‌شناسی بوده است. پیشرفت ابزار تحلیل آماری و توسعه نرم‌افزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) منجر به توسعه مدل‌های پیش‌بینی‌کننده مطلوبیت رویشگاه گونه‌ها شده است. این مدل‌ها می‌توانند پراکنش رویشگاه‌های مطلوب گونه در سطح منطقه را پیش‌بینی کنند(۷).

از دیگرسو تغییرات اقلیمی و گرم شدن آب و هوا باعث تغییرات اساسی در الگوهای زمانی و مکانی بارندگی و در پی آن تغییر دامنه جغرافیای زیستی گونه‌های مختلف شده است. چنین ضرورت‌هایی به پژوهش‌های پرشمار در این زمینه انجامیده است، از جمله در مطالعه‌ای در مورد گیاهان کمیاب و در معرض خطر در شمال غربی چین تحت سناریوهای تغییرات آب‌وهوایی بر کاربرد این مدل‌های توزیع گونه‌ای به عنوان مرجع علمی برای شناخت و بازسازی زیستگاه‌های تخریب‌شده و همچنین بهبود سیستم حفاظتی در شمال غربی چین تاکید شده است. در این پژوهش بر اساس الگوریتم MaxEnt، ۸۱۳ منطقه حضور و ۱۱ متغیر عوامل محیطی موثر

[1] Species Distribution Models

بر گیاهان مورد مطالعه مشخص و تغییرات دامنه زیستی گیاهان کمیاب و در معرض خطر در شمال غربی چین تحت تغییرات آب‌وهوایی مشخص گردید. دقت پیش‌بینی مدل MaxEnt به روش مساحت زیر منحنی مناسب ارزیابی شد. عوامل محیطی شامل ارتفاع، دما و بارش عوامل اصلی بودند که بر نقاط داغ تنوع زیستی گیاهان در شمال غربی چین تأثیر می‌گذارند (۱۹).

در پژوهشی دیگر عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌های در خطر انقراض *Ammopiptanthus mongolicus* و *Ammopiptanthus nanus*، در چین بررسی شد این گونه‌ها عمدتاً در مناطق خشک و نیمه خشک شمال غربی چین توزیع می‌شوند. آن‌ها نقش مهمی در اکوسیستم‌ها دارند و داروهای گیاهی ارزشمندی هستند. اثر تغییرات آب‌وهوایی و دخالت انسان منجر به بررسی توزیع جغرافیایی این دوگونه از جنس *Ammopiptanthus* با استفاده از مدل MaxEnt برای پیش‌بینی محدوده زیستگاه جغرافیایی بالقوه آنها شد و نتایج نشان داد سه عامل بارندگی سردترین فصل، دمای فصلی و بارندگی مرطوب‌ترین ماه مهم‌ترین عوامل هستند(۳).

در یک تحقیق کاربردی دیگر از مدل‌های توزیع جغرافیایی برای شناخت گونه *Osmanthus fragrans* که دارای ارزش تزئینی گسترده در محوطه‌سازی و فضای سبز، آشپزی و دارویی است و با توجه به اینکه زیستگاه ترجیحی و عوامل محیطی که پراکندگی آن را تعیین می کنند، تا حد زیادی ناشناخته مانده است؛ استفاده شد. مدل‌سازی بر اساس داده‌های حضور و ۳۰ متغیر محیطی، با مدل Maxent برای زیستگاه های مناسب کنونی و آینده گونه انجام شد. نتایج نشان داد که فصلی بارندگی (۱۸/۸)، محدوده دمای سالانه (۱۳/۱) و میانگین محدوده دمای روزانه (۱۲/۵) مهم ترین عواملی هستند که برای تفسیر نیازهای محیطی برای این مورد استفاده می‌شوند (۱۰).

وزن‌دهی و رتبه‌بندی اهمیت نسبی عوامل محیطی جنبه دیگری از تحقیقات مدل‌سازی توزیع گونه‌ای است. به عنوان نمونه در تونس طی مطالعه‌ای مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه *Acacia tortilis* با روش مکسنت مورد بررسی قرار گرفت. مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر اساس نتایج آزمون جک نایف به ترتیب شامل: بارش در خشک‌ترین فصل، میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل، بارش فصلی و بارندگی مرطوب‌ترین ماه بودند(۱۳). همچنین مهم‌ترین عوامل موثر بر پراکنش گونه *Camellia sinensis* در چین نیز به روش مکسنت به ترتیب مجموع بارندگی سالانه bio12 ، حداقل دمای سردترین ماه bio6 ، مجموع بارندگی کم بارش‌ترین ماه bio14، مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال bio18 تعیین شدند (۲٤).

پیش بینی اثرات تغییرات آب و هوایی نیز در تحقیقات مدل‌سازی توزیع گونه‌ای جایگاه درخوری دارند. از آن جمله می‌توان به پژوهشی در مورد برخی گونه‌های گیاهان دارویی در پاکستان با استفاده از مدل سازی Maxent اشاره نمود. نتایج نشان داد برای گونه *P. spiralis* متغیرهای مجموع بارندگی پربارش‌ترین ماه، تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات) تغییرات فصلی دما و میانگین پر بارش‌ترین فصل سال و برای گونه *T. hirsute* تغییرات فصلی دما، میانگین دمای سالانه، مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال و مجموع بارندگی کم بارش‌ترین ماه مهمترین عوامل بودند. برای گونه *V. arnottianum* مهمترین عوامل شامل مجموع بارندگی سالانه، تغییرات فصلی دما و میانگین گرم‌ترین فصل سال بودند.

پیش بینی مناطق کشت فعلی و آینده *Carthamus tinctorius* نیز با استفاده از مدل MaxEnt تحت تغییرات آب و هوا در چین مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد دمای حداکثر و بارندگی گرم ترین فصل سال مهمترین عوامل در پراکنش این گونه هستند.

در پژوهش حاضر به‌منظور پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne بر اساس پتانسیل و مطلوبیت بوم‌شناسی مناطق مختلف استان، یافتن عوامل محیطی موثر و ترتیب اهمیت نسبی آنها در استان هرمزگان انجام شد.

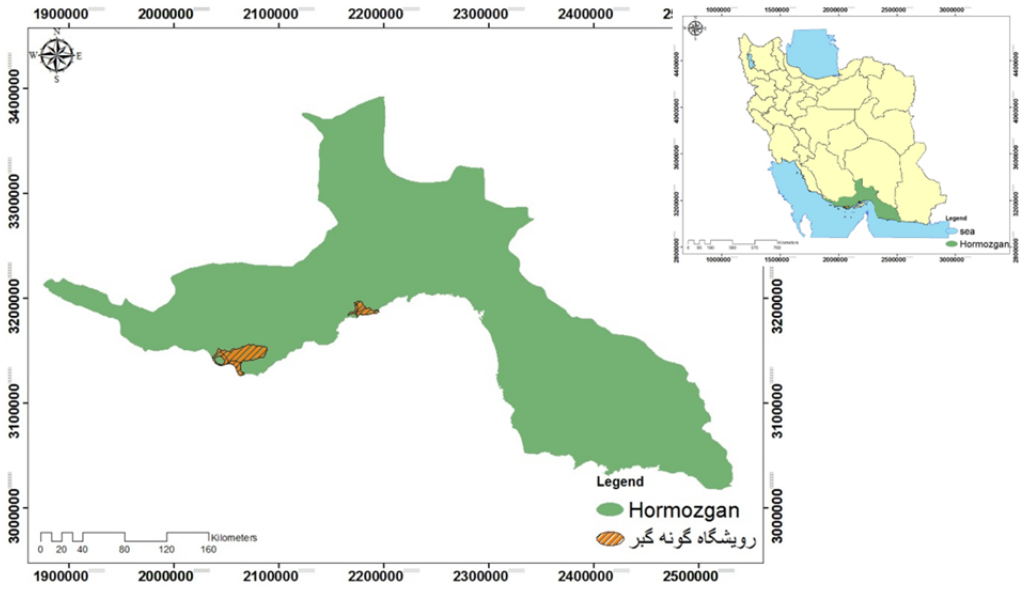
مواد و روش‌ها

گونه و منطقهٔ مورد مطالعه

گونه *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne یا گبر، گونه درختی از خانواده Fabaceae بوده و در مناطق گرم و خشک

رویش دارد. پراکنش آن در جهان شامل اغلب کشورهای آفریقایی، شبه‌جزیره عربستان و ایران می‌باشد. این گونه گرمای شدید و دوره خشکی بیش از ۸ ماه را به تحمل خوبی می‌کند. یکی از رویشگاه‌های این گونه استان هرمزگان است.

استان هرمزگان در حدفاصل بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲٤ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ٤۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع‌شده است. این استان حدود ٦۸ هزار کیلومتر مساحت دارد. هرمزگان از جهت شمال و شمال شرقی با استان کرمان، غرب و شمال غربی با استان‌های فارس و بوشهر از شرق با سیستان و بلوچستان همسایه بوده و جنوب آن را آب‌های خلیج فارس و دریای عمان در نواری به طول تقریبی ۹۰۰ کیلومتر دربرگرفته است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و سایت‌های ثبت نقاط حضور گونه در استان هرمزگان

Figure 1. Study area and sites of recording species occurrence points in Hormozgan Province

مطالعات مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه در مورد گونه‌های گیاهی در یک دهه گذشته گسترش چشمگیری داشته و مراحل و روش‌شناسی این تحقیقات از ادبیات غنی برخوردار است. بر همین اساس گام‌های انجام تحقیق حاضر با استفاده از منابع معتبر طراحی و اجرا شد. ابتدا با مطالعات کتابخانه‌ای و بازدید میدانی سایت‌های رویشگاهی شناسایی شد. سپس مختصات مناطق حضور گونه با جی‌پی‌اس برداشت شد. در این مطالعه داده‌های دوره زمانی پایه (حال حاضر) شامل میانگین سال‌های ۱۹۹۰-۱۹٦۰ در نظر گرفته شد. لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) و دما و بارش ماهانه با قدرت تفکیک پذیری ۳۰ ثانیه (arc-seconds) به صورت ریز مقیاس شده از پایگاه اطلاعاتی Worldclim اخذ گردید(۲۲). نقشه‌های درصد شیب و جهت شیب از نقشه مدل رقومی ارتفاع در به‌عنوان متغیرهای فیزیوگرافی محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تولید شد. کل لایه‌های محیطی از نظر محدوده، تعداد پیکسل و سیستم تصویر در نرم‌افزار ArcGIS یکسان‌سازی گردیدند (۱۷). به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه از روش آنتروپی استفاده شد (۲٤و۲۵). آنتروپی در نظریه اطلاعات، یک مفهوم پایه‌ای است. آنتروپی معیاری است که نشان می‌دهد چه گزینه هایی در انتخاب یا بروز یک رویداد نقش دارد؛ بنابراین توزیعی که آنتروپی بیشتر و بالاتری داشته باشد، دربرگیرنده گزینه‌ها و انتخاب‌های بیشتری است(۲۳). این روش، یک روش چندمنظوره برای انجام پیش‌بینی یا استنتاج از داده‌های ناقص است (۲۱). هدف این روش برآورد احتمال توزیع و

پراکنش یک گونه از طریق یافت احتمال توزیعی است که دارای حداکثر آشفتگی و بی‌نظمی است برای ساخت مدل آنتروپی حداکثر، کاربر نیاز به نمونه داده‌های مربوط به گونه‌هایی که باید مورد آزمون قرار بگیرند و لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی با فرمت ENVI یا CSV نیاز دارد و باید یک مسیر به‌منظور ذخیره فایل مربوط به مدل و فایل‌هایی که دارای اطلاعات اضافی مربوط به مدل هستند، به نرم‌افزار معرفی شوند، لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی باید با فرمت ASCII و با فایلی که به نام asc ختم می‌شود یا با فرمت Diva-GIS و با پسوندهای grd و gri آماده شوند، به‌طور پیش‌فرض همه لایه‌های موجود در مسیر نرم‌افزار در مدل‌سازی مورداستفاده قرار می‌گیرند، اما این امکان هم برای کاربر وجود دارد که یک یا چند لایه را با توجه به شرایط مورد نظر خود قبل از اجرا کردن انتخاب کند. لایه‌ها می‌توانند به‌صورت پیوسته (دارای مقادیر واقعی یا صحیح) یا طبقه‌ای (مقدار کمی مقادیر گسسته) باشند. در روش آنتروپی حداکثر برای تعیین اهمیت متغیرهای محیطی از روش جکنایف (Jackknife) استفاده می‌شود. روش جکنایف به‌عنوان یک روش ارزیابی، دارای دقت قابل‌قبول است، در این روش مدل یک‌بار با همه متغیرها اجرا می‌شود، در مرحله بعد متغیرهای محیطی به‌طور متناوب از تحلیل کنار گذاشته می‌شوند و بدون این‌که به‌وسیله متغیر دیگری فرایند جایگزینی صورت گیرد، مدل با استفاده از متغیرهای باقیمانده اجرا می‌شود، در مرحله سوم مدل بار دیگر به‌طور جداگانه فقط با استفاده از دو گروه از متغیرها به‌عنوان مهم‌ترین متغیرها انتخاب می‌شوند. متغیری که وقتی به تنهایی به کار گرفته می‌شود، حداکثر سهم را در دست‌یابی به مدل ایفا می‌کند. برای ارزیابی نتایج مدل‌سازی متغیر آماری از تحلیل منحنی مشخصه عملکرد (Receiver Operating Characteristic curve) استفاده می‌شود. مساحت زیر منحنی(Area Under the ROC Curve) با امتیاز ۱ به معنی پیش‌بینی کامل و بدون حذف هیچ‌کدام از نقاط حضور است. AUC با مقدار ۰/۵ تا ۰/۷ نشان‌دهنده یک پیش‌بینی ضعیف و AUC بین ۰/۷ تا ۰/۹ مدل قابل‌قبول و مقدار AUC بیش از ۰/۹ بیانگر پیش‌بینی خوب مدل است (٤).

جدول۱. طبقه‌بندی سطح زیر منحنی **AUC**

Table 1. Classification of the area under the curve AUC

طبقه‌بندی ضرایب	ضعیف	قابل‌قبول	خوب
دامنه	۰/۷-۰/۵	۰/۹-۰/۷	۱-۰/۹

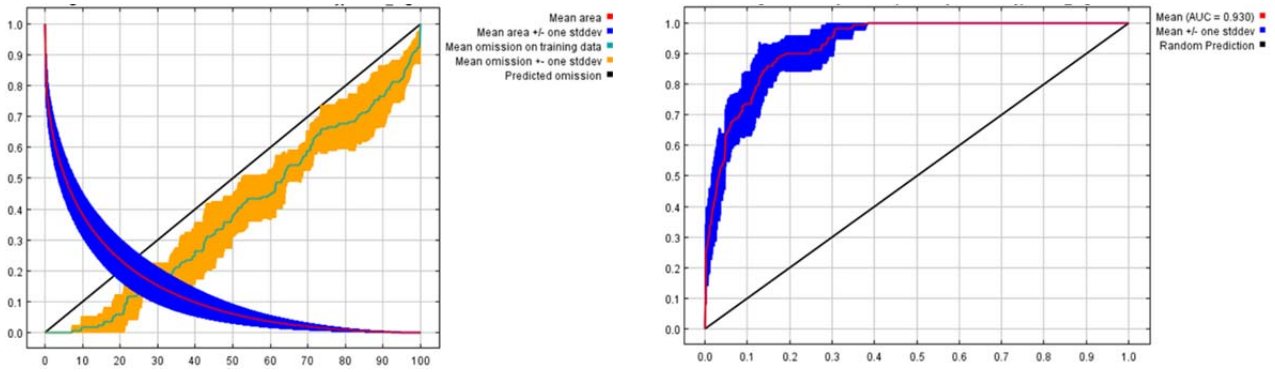
جدول۲. طبقه‌بندی لایه‌های زیست‌اقلیمی

Table 2. Classification of bioclimatic layers

نمایه	توصیف اقلیمی	نمایه	توصیف اقلیمی	نمایه	توصیف اقلیمی
BIO1	میانگین دمای سالانه	BIO7	دامنه دمای سالانه (BIO5-BIO6)	BIO13	مجموع بارندگی پربارش‌ترین ماه
BIO2	میانگین دمای روزانه	BIO8	میانگین پر بارش‌ترین فصل سال	BIO14	مجموع بارندگی کم بارش‌ترین ماه
BIO3	شاخص هم‌دمایی ۱۰۰*(BIO2/BIO7)	BIO9	میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال	BIO15	تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)
BIO4	تغییرات فصلی دما (انحراف معیار *۱۰۰)	BIO10	میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال	BIO16	مجموع بارندگی پربارش‌ترین فصل سال
BIO5	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	BIO11	میانگین دمای سردترین فصل سال	BIO17	مجموع بارندگی کم بارش‌ترین فصل سال
BIO6	حداقل دمای سردترین ماه	BIO12	مجموع بارندگی سالانه	BIO18	مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال
				BIO19	مجموع بارندگی سردترین فصل سال

نتایج

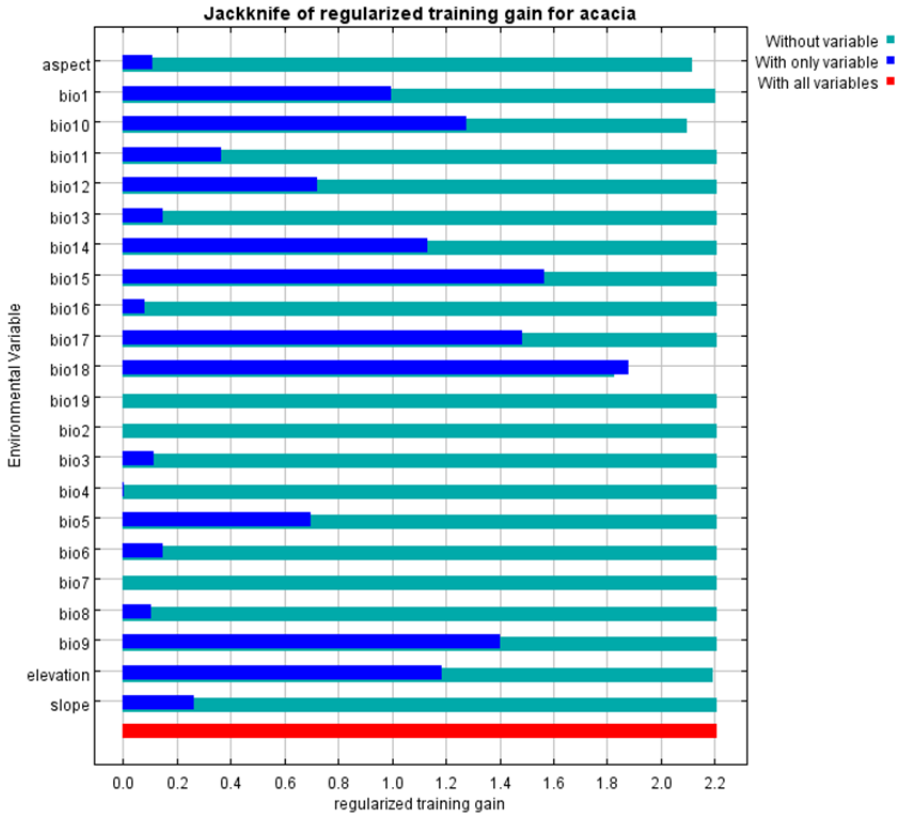
مقدار AUC و ROC در شکل ۲ آورده شده است و با توجه به شکل ۲ که میزان AUC را نشان می‌دهد. مدل قابل‌قبول است زیرا مقدار AUC بیش از ۰/۹ است که بیانگر پیش‌بینی خوب مدل است.



شکل ۲. مقدار AUC و منحنی ROC

Fig. 2- AUC value and ROC curve

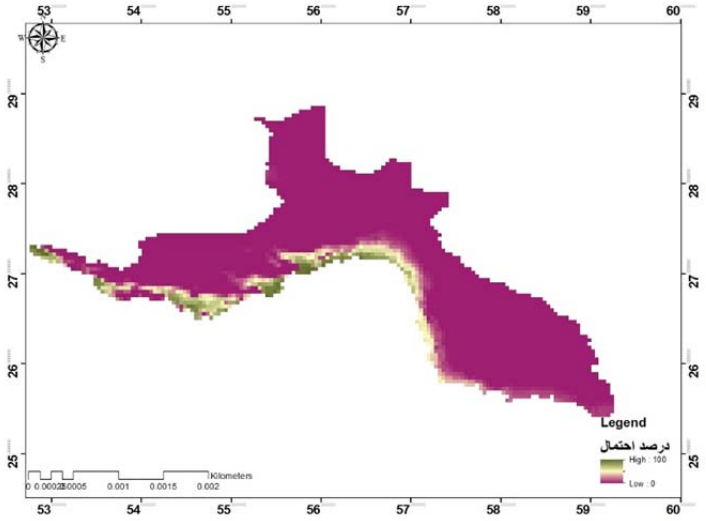
نسبت اهمیت هریک از متغیرها با استفاده از آزمون جک نایف مشخص شد. آزمون جک نایف نشان داد که مهم‌ترین عوامل به ترتیب شامل مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال BIO18، تغییرات فصلی بارندگی یا ضریب تغییرات BIO15، مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین فصل سال BIO17، میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال BIO9، میانگین گرم‌ترین فصل سال BIO10 بوده‌اند.



شکل ۳- نتایج آزمون جک نایف و تعیین اهمیت نسبی عوامل محیطی بر توزیع جغرافیایی گونه *Vachellia tortilis*

Figure 3 - Results of the jackknife test and determination of the relative importance of environmental factors on the geographical distribution of *Vachellia tortilis*

پتانسیل رویشی مناطق مختلف استان هرمزگان برای گونه گیاهی گبر با توجه به نتایج مدل‌سازی با استفاده از روش حداکثر انتروپی در شکل ٤ آمده است. رنگ سز نشان دهنده مناطق دارای پتانسیل مناسب و رنگ قرمز مناطق نامناسب برای استقرار گونه را مشخص می‌کند.



شکل ٤- نقشه پتانسیل توزیع جغرافیایی گونه *Vachellia tortilis*

Fig. 4 Map of potential geographical distribution of *Vachellia tortilis* species

با توجه به نتایج آزمون جک نایف (شکل ۳) مهمترین عوامل محیطی تعیین شدند و سپس منحنی‌های پاسخ این عوامل تهیه و در شکل ۵ نشان داده شده‌اند که عبارتند از: (الف) مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال BIO18، (ب) مجموع بارندگی کم بارش‌ترین فصل سال BIO17 و (ج) تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات) BIO15

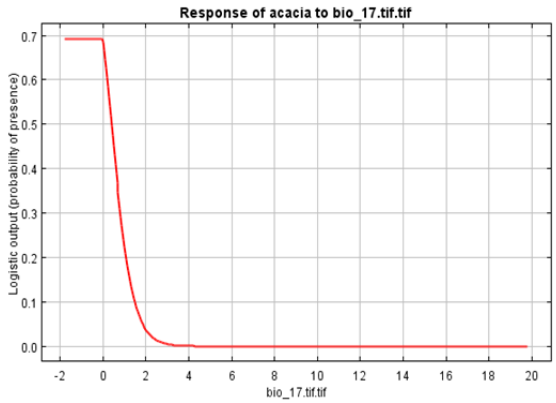
بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش مطلوبیت رویشگاه گونه گبر با استفاده از روش مکسنت مدل‌سازی و آشیان اکولوژیک بالقوه این گونه در استان هرمزگان مشخص گردید. طبق مشاهدات به نظر می رسد قسمت جنوبی و جنوب شرقی بیشترین تناسب رویشگاهی را در استان دارند. عامل اقلیمی ممکن است به‌عنوان مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده احیا و گسترش این زیستگاه اثر داشته باشد. مشخص نمودن میزان سهم هر متغیر در مدل به محققان کمک می‌کند تا متغیرهایی را که دارای تأثیر بیشتری بر احتمال وقوع گونه مدنظر دارند شناسایی کنند و این امر به صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها کمک می‌کند و محققان تنها بر متغیرهای مهم تمرکز کنند. بررسی تحلیل‌ها این تحقیق نشان داد مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال BIO18، تغییرات فصلی بارندگیBIO15، مجموع بارندگی کم بارش ترین فصل سال BIO17، میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال BIO9 و میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال BIO10 بیشترین تأثیر را بر پراکنش این گونه اکاسیا دارند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش مچرگویی و همکاران(١٤) بر پراکنش گونه اکاسیا ترتلیس در تونس که مهم‌ترین عوامل مؤثر را میزان بارش در خشک‌ترین فصل، میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل، بارش فصلی و بارندگی مرطوب‌ترین ماه اعلام کردند، همخوانی دارد. همچنین مگاوایا به بررسی عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌های جنگلی تانزانیا پرداخت که نتایج نشان داد که عوامل دمای فصلی، دمای متوسط سالانه، دمای فصل خشک، بارندگی سالانه و بارندگی فصل خشک مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه اکاسیا چتری هستند و این تحقیق نیز با نتایج پژوهش حاضر همراستا بوده است. بهاندری و همکاران به

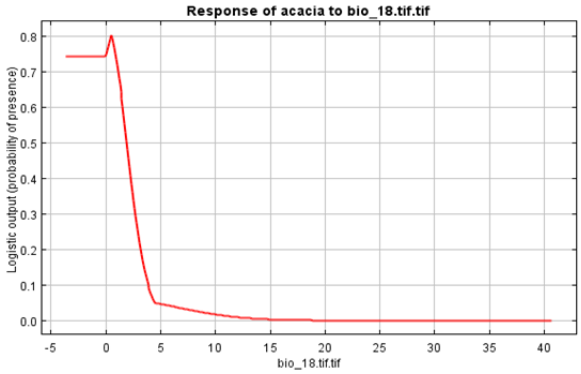
بررسی عوامل مؤثر بر پراکنش اکاسیا چتری در منطقه خشک هند پرداختند. بررسی آنها نشان داد که عوامل موثر بر پراکنش گونه آکاسیا چتری یا گبر شامل بارش گرم‌ترین فصل سال BIO18، بارش سالانه، بارش مرطوب‌ترین ماه، بارش سردترین فصل سال و حداکثر دمای گرم‌ترین ماه بودند که عمدتا با نتایج پژوهش حاضر یکسان بوده و البته تفاوت‌هایی نیز دیده می‌شود. شایان توجه است که گونه آکاسیا چتری بنابر منابع علمی بومی منطقه هند و پاکستان نبوده و از جمله گونه‌های معرفی شده به فلور این مناطق است که می‌تواند تا حدی توجیه کننده تفاوت گستره شرایط اکولوژیک موثر بر این گونه در این کشورها در مقایسه با ایران و آفریقا باشد. مگایویو ۲۰۱۸ مهمترین عوامل موثر بر پراکنش گونه اکاسیا چتری در شمال تانزانیا را به ترتیب جهت شیب، ارتفاع، میانگین دمای سالانه، دمای فصلی، دمای خشکترین فصل سال، بارش سالانه و بارش خشکترین فصل سال ارزیابی کرد که با این تحقیقات همخوانی دارد. همچنین برای گونه *Acacia robusta* مهمترین عوامل به ترتیب ارتفاع ،میانگین دمای خشکترین فصل سال، بارش خشک ترین فصل سال و درصد شیب مشخص شد که تقریبا با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. برای گونه .*Albizia Petersiana* مهمترین عوامل به ترتیب ارتفاع ،میانگین دمای خشکترین فصل سال، بارش خشک ترین فصل سال و میانگین دمای سالانه تشخیص داده شد. برای گونه *Celtis Africana* مهمترین عوامل به ترتیب ارتفاع ،میانگین دمای خشکترین فصل سال، بارش خشک ترین فصل سال و میانگین دمای سالانه تشخیص داده شد. برای گونه *Euclea divinorum* مهمترین عوامل مهمترین عوامل به ترتیب ارتفاع ، ، شیب و میانگین دمای سالانه تشخیص داده شد. برای گونه *Ficus sycomorous* مهمترین عوامل به ترتیب میانگین دمای سالانه، شیب، ارتفاع و بارش خشک ترین فصل سال تشخیص داده شد. برای گونه *Ficus thoningii* مهمترین عوامل به ترتیب ارتفاع، میانگین دمای خشکترین فصل سال میانگین دمای سالانه، میانگین دمای سالانه و دمای فصلی تشخیص داده شد.

با در نظر داشتن نتایج این پژوهش یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مطالعات مشابه دستیابی به داده‌ها و اطلاعات متغیرهای خاک‌شناسی با دقت و انطباق مناسب با شرایط مناطق مطالعاتی کشور است که عموما باعث صرفنظر از وارد کردن داده‌های خاک‌شناسی به مطالعات می‌شود. اهمیت این داده‌ها بویژه در زمانی که مدل‌سازی بر روی مطلوبیت چند گونه که دارای تداخل رویشگاه هستند صورت گیرد بیشتر به چشم می‌آید. بررسی روند تغییرات گستره پراکنش جغرافیایی این گونه در سناریوهای اقلیمی یکی از پیشنهادهای پژوهشی است که بر اساس نتایج تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود. از جمله مهم‌ترین کاربردهای نتایج این پژوهش لزوم توجه نیاز به ابیاری برای استقرار نهال‌های گونه *Vachellia tortilis* در سال‌های آغازین رویش است زیرا بنابر یافته‌های این تحقیق بارندگی در فصل کم باران و فصل گرم موثرترین عامل محدود کننده رویشگاه گبر (آکاسیای چتری) می‌باشند که به احتمال زیاد نشان دهنده آسیب‌پذیر نهال‌های گیاه در سال‌های آغازین رویش می‌باشد.

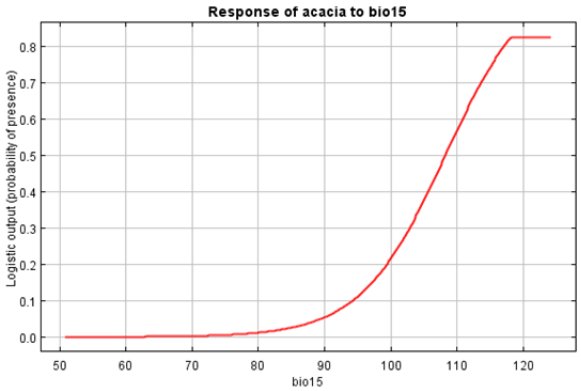
الف



ب



ج



شکل ۵- منحنی پاسخ مهمترین متغیرهای مؤثر بر پراکنش جغرافیایی گونه *Acacia tortilis*

Figure 5- Response curves of the most important variables affecting the geographical distribution of *Vachellia tortilis* species, (a) Total rainfall of the warmest season of the year BIO18, (b) Total rainfall of the coldest season of the year BIO17, (c) Seasonal variation of rainfall (coefficient of variation) BIO15

منابع

1. Allen, A. W., Jordan, P. A., & Terrell, J. W. 1987. Habitat suitability index models: moose, Lake Superior region (Vol. 82). US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Research and Development.
2. Anand, V., Oinam, B., & Singh, I. H. 2021. Predicting the current and future potential spatial distribution of endangered Rucervus eldii eldii (Sangai) using MaxEnt model. Environmental Monitoring and Assessment, 193(3), 147.
3. Bhandari, M.S., Shankhwar, R., Maikhuri, S., Pandey, S., Meena, R.K., Ginwal, H.S., Kant, R., Rawat, P.S., Martins-Ferreira, M.A.C. and Silveira, L.H.C., 2021. Prediction of ecological and geological niches of Salvadora oleoides in arid zones of India: causes and consequences of global warming. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*(6), pp.1-18.
4. Du, Z., He, Y., Wang, H., Wang, C. and Duan, Y., 2021. Potential geographical distribution and habitat shift of the genus Ammopiptanthus in China under current and future climate change based on the MaxEnt model. *Journal of Arid Environments*, *184*, p.104328.
5. Ebrahimi, M. Piri Sahragard, H. madahinejad, c. 2015. Modeling the habitat suitability of plant species using MaxEnt method in Jiroft plain. MS.c Thesis, Zabol University, Faculty of Natural Resources (in Persian).
6. Edgar, P., and Bird, D.R. 2006: Action Plan for the Conservation of the Meadow Viper (Vipera ursinii) in Europe. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats Standing Committee, 26th meeting, Strasbourg, 27-29.
7. Emtehani, M.H. 2003. Native acacias of Iran. 1sd edn, Yazd University Press, Yazd, Iran, 122 pp (In Persian).
8. Teimoori Asl, S., Naghipour, A. A., Ashrafzadeh, M. R., & Haidarian Aga Khani, M. 2020. Predicting the effects of the climate change on the geographical

distribution of Astragalus verus Olivier in the Central Zagros region. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 11(2), 68-85 (In Persian).
9. Khalil, T., Asad, S. A., Khubaib, N., Baig, A., Atif, S., Umar, M., ... & Baig, S. (2021). Climate change and potential distribution of potato (Solanum tuberosum) crop cultivation in Pakistan using Maxent. AIMS Agriculture and Food, 6(2), 663-676.
10. Kong, F., Tang, L., He, H., Yang, F., Tao, J. and Wang, W., 2021. Assessing the impact of climate change on the distribution of Osmanthus fragrans using Maxent. *Environmental Science and Pollution Research*, pp.1-9.
11. Kumar, S., and Stohlgren, T. 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia *Journal of Ecology and Natural Environment*. 1(4) :094-098.
12. Khanum, R., Mumtaz, A.S. and Kumar, S., 2013. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling. *Acta Oecologica*, *49*, pp.23-31.
13. Loth, P.E., Boer, W.F.de, Heitkönig, I.M.A. and Prins, H.H.T., 2005. Germination strategy of the East Africa savanna tree Acacia tortilis. Journal of Tropical Ecology, 21: 509-517
14. Mechergui, K., Altamimi, A. S., Jaouadi, W., Naghmouchi, S., & El Wellani, S. 2021. Modelling current and future potential distributions of Vachellia tortilis (Forssk.) Hayne subsp. raddiana (Savi.) Brenan var. raddiana under climate change in Tunisia. African Journal of Ecology, 59(4), 944-958.
15. Mgaywa, W. J. (2018). Influence of environmental variables on the distribution of selected tree species in lake Manyara upper catchment, northern-Tanzania (Doctoral dissertation, Sokoine University of Agriculture).
16. Naghiloo, M., Jafari, M., Tahmoures, M., Kohandel, A., & Hamedanian, F. 2010. An Investigation on Relationships between Soil Physiochemical Attributes and Vegetation Cover for DeterminingIndex Species in Savoj-bolagh Region. *Journal of Range and Watershed Managment*, *63*(1), 119-11, (in Persian).
17. Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning (p. 83).
18. Purohit, S. and Rawat, N., 2021. MaxEnt modeling to predict the current and future distribution of Clerodendrum infortunatum L. under climate change scenarios in Dehradun district, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, pp.1-13.
19. Qayyumi, R., Ebrahimi, A., Hosseini Taifeh, F, Keshtkar, M. 2019. Predicting the effects of climate change on the distribution of mangrove forests in Iran using the maximum entropy model, Remote Sensing and GIS in Natural Resources, 10 (2), pp. 34-47. (in Persian)
20. Saha, A., Rahman, S., & Alam, S. 2021. Modeling current and future potential distributions of desert locust Schistocerca gregaria (Forskål) under climate change scenarios using MaxEnt. Journal of Asia-Pacific Biodiversity, 14(3), 399-409.
21. Scott, J.M., P.J. Heglund., M.L. Morrison., J.B. Haufler., M.G. Raphael, W.A. Wall and F.B. Samson, 2002. Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale. Island Press, Washington DC.
22. Sinclair, S. J., White, M. D., & Newell, G. R. 2010. How useful are species distribution models for managing biodiversity under future climates? Ecology and Society, 15(1).
23. Teymouri Asl, S., Naghipour Borj, A., Ashrafzadeh, M., Heidarian Agakhani, M. 2020. Predicting the Consequences of Climate Change on the Geographical Distribution of Yellow Astragalus (Astragalus verus Olivier) in the Central Zagros', Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources, 11 (2), pp. 68-85 (in Persian).
24. Wei, B., Wang, R., Hou, K., Wang, X. and Wu, W., 2018. Predicting the current and future cultivation regions of Carthamus tinctorius L. using MaxEnt model under climate change in China. *Global Ecology and Conservation*, *16*, p.e00477.
25. Zare Chahouki, M.A., Khalasi Ahvazi, L. and Azrnivand, H. 2012. Comparison of three modelin approaches for predictiong species distribution in mountainous scrub vegetation (Semnan rangelands, Iran). Polish Journal of Ecology, 60(2): 105-117.
26. Zarinkamar, F. 1996. Investigation of anatomical and ecological characteristics of 14 species of Astragalus spp. Research Institute of Range and Forest, 98p.
27. Zhang, H., & Zhao, H. 2021. Study on rare and endangered plants under climate: maxent modeling for identifying hot spots in northwest China. Cerne, 27, e-102667.
28. Zhao, Y., Deng, X., Xiang, W., Chen, L. and Ouyang, S., 2021. Predicting potential suitable habitats of Chinese fir under current and future climatic scenarios based on Maxent model. *Ecological Informatics*, 64, p.101393.
29. Zhao, Y., Zhao, M., Zhang, L., Wang, C. and Xu, Y., 2021. Predicting Possible Distribution of Tea (Camellia sinensis L.) under Climate Change Scenarios Using MaxEnt Model in China. *Agriculture*, *11*(11), p.1122.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 14/ Issue 2) Summer 2023
Indexed by ISC, SID, Magiran, Noormags, Civilica, Google Scholar
journal homepage: https://sanad.iau.ir/journal/girs

Original paper

Modeling the habitat suitability of *Vachellia tortilis* species using maximum entropy method in Hormozgan province

Cyrus Maddahinejad[1], Yahya Esmaeilpour[2*], Marziyeh Rezaei[3]

Received: 2021-12-27 / Accepted: 2022-02-04 / Published: 2023-03-21

Abstract
The distribution of plant species is influenced by various factors, including climate, soil properties, topography, land use, and overall biological interactions. This study aimed to predict the geographical distribution of "umbrella thorn acacia", commonly known as "Gebr" in Hormozgan, and scientifically referred to as *Vachellia tortilis* (Forssk.) Galasso & Banfi, while also identifying the environmental factors that influence its distribution in Hormozgan province. In Persian literature, the synonym scientific name *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne is more frequently used.

To achieve this objective, data on vegetation and habitat factors such as elevation, climate, geology, and soil were gathered. Vegetation sampling was conducted using a random-systematic approach along four transects, each measuring between 1000 and 200 meters. A geographic information system was employed to create a map of the environmental variables. Subsequently, prediction maps for the species' distribution were generated using the maximum entropy modeling method, and the accuracy of these prediction models was assessed using the AUC statistic. The findings indicated that key climatic factors influencing the distribution of the gabar species include total rainfall during the warmest season, seasonal rainfall variability (coefficient of variation), total rainfall in the driest season, and average temperatures during both the driest and warmest seasons. This study's results can inform habitat management strategies, helping to identify critical factors for the species in the face of habitat destruction and guiding the development of conservation plans tailored to its habitat requirements.

Cyrus Maddahinejad[1], Yahya Esmaeilpour[2](✉), Marziyeh Rezaei[3]
1. Ph.D. of Combatting desertification, Natural Resources Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Hormozgan, Iran
2. Associate Professor, Department Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Hormozgan, Iran
3. Assistant Professor, Department Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Hormozgan, Iran

DOI: 10.30495/girs.2023.688847

e-mail: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir

Extended Abstract
To effectively study and manage plant ecosystems, it is essential to have a thorough understanding of their components, their interrelationships, and the ecological dynamics present in nature, which encompass factors such as elevation, soil, climate, vegetation, and living organisms. However, the complexity arising from the numerous components and variables within plant

ecosystems can hinder the assessment of these relationships, leading to inefficiencies in time and resources. To facilitate easier study with an acceptable margin of error, it is possible to simplify the factors and variables in broad studies, allowing for a clearer understanding of the relationships between vegetation and these elements, which can then be applied to ecosystem management.

The increasing changes in plant ecosystem extents have made spatial modeling of vegetation cover a common practice among resource managers, who require accurate maps detailing the distribution of various plant species.

One such species is "umbrella thorn acacia", commonly referred to as "Gebr" in Hormozgan province and scientifically known as *Vachellia tortilis* (Forssk.) Galasso & Banfi. In Persian scientific literature, it is often cited as *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne. This species, belonging to the Fabaceae family, thrives in hot and arid regions, with a global distribution that spans most African countries, the Arabian Peninsula, and Iran. It is well-adapted to endure extreme heat and dry periods lasting over eight months.

The objective of this study is to identify the key factors influencing the distribution of Vachellia tortilis. By understanding these factors, we can make informed decisions regarding the management, restoration, and expansion of this species' habitat.

Methods:

Habitat suitability modeling studies on plant species have expanded over the past decade, and the stages and methodology of this research have a rich literature. Therefore, the steps of the present study were designed and implemented using reliable sources. Existing habitats were first identified through a field visit to the area. Then the coordinates of the species' presence areas were collected by GPS. In this study, the data of the base time period (present) including the average of the years 1990-1960 were considered. Digital elevation model (DEM) layer and monthly temperature and precipitation with a resolution of 30 arc-seconds in microscale from www.worldclim.org (Worldclim) database were used. Using DEM in GIS, slope and aspect were created, and all environmental layers, number of pixels, and system coordinates were used in ArcGIS software. Habitat modeling using the entropy method was applied. Entropy is a basic concept in information theory. Entropy is a measure that shows us what options play a role in the selection or occurrence of an event; thus, a distribution with a higher entropy includes more options. This method is a multi-purpose method for predicting or inferring incomplete data. The purpose of this method is to estimate the probability of distribution of a species by finding the probability of distribution that has maximum turbulence and irregularity. To build the maximum entropy model, the user needs to sample data on the species to be tested and layers on environmental variables. This requires ENVI or CSV format, and a path to save the model file and files that contain additional model information must be introduced into the software. Layers for the environmental variables must be in ASCII format with a file called "asc." Finished or prepared in Diva-GIS format with "grd" and "gri" extensions.

In the entropy method, to determine the importance of environmental variables, the Jackknife method is used. The Jackknife method, as an evaluation method, has acceptable accuracy. In this method, the model is implemented once with all variables. They are excluded from the analysis, and without being replaced by another variable, the model is executed using the remaining variables. In the third stage, the model is again used separately, using only two groups of variables as the most important variables. The variable that, when left out, reduces the possibility of achieving the appropriate model, and the variable that, when used alone, plays the maximum role in achieving the model, are evaluated using the statistical variable Curve (Receiver Operating Characteristic curve). The area under the curve (Area Under the ROC Curve) with a score of 1 means a complete forecast without removing any points of presence. AUC between 0.7 and 0.9 indicates an acceptable heart rate, and an AUC value of more than 0.9 indicates good model prediction.

Results and Discussion:

The importance of each variable was determined using the Jackknife test. The Jackknife test showed that the most important factors are: total rainfall of the warmest season of the year (BIO18), seasonal changes of rainfall (coefficient of variation) (BIO15), total rainfall of the rainiest season of the year (BIO17), average temperature of the driest season of the year (BIO9), the average of the hottest season of the year (BIO10), and other factors are less important.

Conclusion:

In this study, the habitat suitability of Acacia tortilis species was simulated using the Maxent method. Also, the potential ecological niches of this species in Hormozgan province were identified. According to the observations, it seems that the southern and southeastern parts have the highest habitat value compared to other parts of Hormozgan province. Climatic factors may be the most important factors controlling the regeneration and expansion of this habitat. Determining the share of each variable in the model helps researchers identify the variables that have the greatest impact on the probability of occurrence of the species, and this saves time and money, allowing researchers to focus only on the important variables. The analysis showed that the total rainfall of the hottest season of the year (BIO18), the seasonal variation of rainfall (coefficient of variation) (BIO15), the total rainfall of the driest season of the year (BIO17), the average temperature of the driest season (BIO9), and the average temperature of the warmest season (BIO10) have an impact on the distribution of Acacia tortilis. Numerous studies have

stated that the most important climatic factors are rainfall and temperature.

Considering the results of this study, one of the most important challenges in similar studies is to obtain data and information on soil variables with accuracy and appropriate adaptation to the conditions of the study areas of the country, which generally leads to the neglect of including soil data in studies. The importance of this data is especially evident when modeling the suitability of several species that have habitat interference. Investigating the trend of changes in the geographical distribution of this species in climate scenarios is one of the research proposals that is based on the results of the present study. Among the most important applications of the results of this study is the need to pay attention to the need for irrigation for the establishment of seedlings of the species Vachellia tortilis in the early years of growth, because according to the findings of this study, rainfall in the low and warm seasons is the most effective limiting factor for the habitat of "Gebr" ("umbrella thorn acacia"), which most likely indicates the vulnerability of plant seedlings in the early years of growth.

Keywords: Habitat suitability, *Acacia tortilis (Forssk. Hayne)*, Maximum entropy, Climatic factors

Please cite this article as: Maddahinejad C, Esmaeilpour Y, Rezaei M. Modeling the habitat suitability of *Vachellia tortilis* species using maximum entropy method in Hormozgan province. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 14(2): 38-52