

کاربرد بیشینه‌انترپی در پیش‌بینی رویشگاه‌های بالقوه سرخدار (*Taxus baccata* L.) در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران

جلیل سرهنگ‌زاده^{۱*}، محمدرضا علمی^۱

^۱ استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱۷)

چکیده

گونه سرخدار (*Taxus baccata* L.) از گونه‌های در معرض خطر انقراض است. دامنه انتشار این گونه دیرزیست کاهش یافته و حفاظت رویشگاه‌های آن حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر، مطلوبیت رویشگاه سرخدار در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران به‌عنوان یکی از رویشگاه‌های این گونه بررسی شد. بدین منظور مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه سرخدار با استفاده از روش بیشینه‌انترپی (Maximum Entropy (MaxEnt)) و بر مبنای نقاط حضور (۷۴ نقطه) انجام شد. عامل‌های درصد شیب، جهت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، واحدهای اراضی خاک، متوسط دما و متوسط بارندگی سالانه، طبقه‌بندی اقلیمی و کاربری فعلی زمین به‌عنوان متغیرهای مستقل در مدل‌سازی استفاده شدند. نتایج نشان داد سرخدار بیشتر تمایل به رویش در رویشگاه‌هایی در محدوده ارتفاعی ۹۰۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا، شیب ۲۵ تا ۶۰ درصد، دامنه‌های شمالی، محدوده بارندگی ۳۶۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر، متوسط دمای ۸ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد، اقلیم مدیترانه‌ای و مناطق جنگلی با تاج‌پوشش بیش از ۵۰ درصد دارد. براساس نتایج مدل‌سازی ۱/۴۸ درصد از وسعت ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران (۱۲۶۵ هکتار)، رویشگاه مطلوبی برای سرخدار است. این مناطق بیشتر در محدوده مناطق جنگلی تازه‌کند، کلالة، آینالو، نقدی و بالاسنگ قرار دارند. مقدار زیاد سطح زیرمنحنی (۰/۹۹۶) نشان‌دهنده قابلیت عالی مدل در تفکیک پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب و نامطلوب از یکدیگر است. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان مناطق مستعد حضور سرخدار را مشخص کرده و در آینده برای احیای رویشگاه‌های آن در ارسباران اقدام کرد.

واژه‌های کلیدی: پستی و بلندی، جک‌نایف، مدل‌سازی، مکسنت.

مقدمه

سازمان جهانی یونسکو جنگل‌های ارسباران را از سال ۱۹۷۶ به‌عنوان یکی از ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره جهان ثبت کرده است (Ghanbari et al., 2019). سرخدار (*Taxus baccata* L.) از مهم‌ترین گونه‌های درختی منطقه ارسباران است (Ghanbari et al., 2019). این گونه پرشاخه و

جنگل‌های ارسباران از بی‌نظیرترین و ارزشمندترین جنگل‌های جهان هستند (Asri & Partonia, 2017) که با داشتن تنوع گونه‌ای زیاد و تفاوت با پوشش گیاهی جنگل‌های هیرکانی، یکی از مناطق پنج‌گانه رویشی ایران محسوب می‌شوند.

توسعه رویشگاه باشد، بلکه باید با در نظر گرفتن همه نیازهای اکولوژیک یک گونه و انطباق آن بر شرایط محیطی، رویشگاه‌های بالقوه آن را تعیین کرد. مدل‌های پیش‌بینی رویشگاه، به‌طور معمول، از ارتباط میان متغیرهای محیطی و نقاط حضور گونه برای شناسایی شرایط محیطی که گونه در آن می‌تواند زیست کند، استفاده می‌کنند. با استفاده از این مدل‌ها، امکان ارزیابی مطلوبیت رویشگاه گونه براساس پراکنش مکانی متغیرهای محیطی در سرتاسر گستره پراکنش آن فراهم می‌شود. این رویکرد، اطلاعات ارزشمندی در زمینه جغرافیای زیستی گونه فراهم می‌کند که در زمینه‌های متنوعی (زیست‌شناسی حفاظت، بوم‌شناسی و برنامه‌ریزی حفاظت) قابل استفاده است (Zare Chahouki et al., 2018).

با توسعه نرم‌افزارهای رایانه‌ای، مدل‌سازی محیطی براساس ساختار داده و روش‌های تجزیه و تحلیل متفاوت برای بررسی اطلاعات مکانی امکان‌پذیر شده است. درصد شیب، جهت دامنه‌ها و ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین متغیرهای فیزیوگرافی هستند که به‌طور متداول در اندازه‌گیری‌ها و مدل‌سازی وقوع مکانی پوشش گیاهی به‌کار گرفته می‌شوند (Hoersch et al., 2002). از طرفی انتخاب مکان پراکنش گونه به کیفیت متغیرهای محیطی بستگی دارد. بنابراین آن دسته از متغیرهای محیطی که تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم بیشتری در نیازهای گونه دارند، برای ارزیابی رویشگاه گونه مهم‌ترند (Heydari & Jaferyan, 2017).

روش‌های متعددی در مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی استفاده می‌شوند. یکی از روش‌های غیرپارامتری که در مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی کاربرد دارد، روش‌های یادگیری ماشینی است. روش‌هایی مانند پیشینه‌انترویی^۱، درخت تصمیم‌گیری، الگوریتم‌های ژنتیکی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در این گروه قرار

سایه‌پسند، ۵ تا ۱۵ متر ارتفاع دارد و متعلق به خانواده Taxaceae است (Sabeti, 1994). این گونه بومی اروپا، غرب آسیا و شمال آفریقا (Sabeti, 1994) و درخت یا درختچه‌ای همیشه‌سبز، کندرشد و دیرزیست است (Yazdani et al., 2005) که در بیشتر خاک‌ها رشد می‌کند، ولی رشد آن در خاک‌های رسوبی بهتر است. این گیاه در مرحله رویش نهال و شل، تحمل کمتری به نور مستقیم آفتاب دارد، ولی از نور غیرمستقیم به‌خوبی استفاده می‌کند (Sabeti, 1994) و به همین دلیل اشکوب زیرین جنگل‌های مرطوب و مه‌گرفته را ترجیح می‌دهد (Yazdani et al., 2005). رویشگاه‌های سرخدار ایران انبوه‌ترین و قدیمی‌ترین جنگل‌های سرخدار جهان به‌شمار می‌آیند (Naraghi, 2003) و از ذخایر ارزشمند ژنتیکی محسوب می‌شوند (Ebady & Omidvar, 2011) که به دلایل مختلف اکولوژیکی در بسیاری از نقاط دنیا به‌تدریج از بین رفته‌اند و فقط در بعضی از نواحی پراکنش اولیه خود، به‌صورت لکه‌های محدودی باقی مانده‌اند. شرایط اصلی رویشگاه‌های موجود به‌شدت به‌هم خورده است و دخالت‌های نامناسب انسان و بهره‌برداری‌های غیراصولی، این روند را سرعت بخشیده است (Golabian et al., 2016). سرخدار از مسن‌ترین گونه‌های درختی ارسباران (بیش از ۱۵۰۰-۱۰۰۰ ساله در دره آنزا با مشاهدات میدانی) است که بهره‌برداری غیرقانونی و قطع درختان با توجه به رشد خیلی کند و دوره‌بذردهی نامنظم و طولانی، رویشگاه‌های طبیعی آن را به‌شدت تهدید کرده و به همین دلیل در فهرست گونه‌های در معرض خطر انقراض قرار گرفته است (Jafari Afrapoly et al., 2019).

هر گونه گیاهی با توجه به خصوصیات رویشگاه و نیازهای اکولوژیکی و دامنه بردباری، با برخی از عامل‌های محیطی رویشگاه خود رابطه دارد (Zare Chahouki & Zare Chahouki, 2010). تنها مناسب بودن یک متغیر نمی‌تواند دلیل کافی برای

¹ Maximum Entropy (MAXENT)

اکولوژیکی در چگونگی پراکنش گونه‌ سرخدار و نحوه‌ زادآوری آن در جنگل‌های ارسباران در دو رویشگاه کلاله و کوران پرداختند و نشان دادند که سرخدار، محدوده‌ ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ متر از سطح دریا، شیب‌های ۵۱ تا ۷۵ درصد و دامنه‌های شمالی را ترجیح می‌دهد. (Ghanbari Sharafeh et al. (2010) در تحقیقی به بررسی وضعیت تجدید حیات طبیعی سرخدار در جنگل‌های ارسباران پرداختند و نشان دادند که در هر هکتار، ۵۲۰ نهال سرخدار وجود دارد که از سلامت و شادابی بسیار زیادی برخوردارند و بیشتر آنها منشأ دانه‌زاد دارند. (Ebady et al. (2009) در تحقیقی به بررسی اوت اکولوژی گونه‌ سرخدار و عوامل مؤثر در محدودیت پراکنش سرخدار در جنگل‌های ارسباران پرداختند و نشان دادند که با افزایش شیب، تعداد در هکتار، کیفیت و پراکنش گونه‌ زیاد می‌شود. دما و جهت‌های جغرافیایی نیز از عوامل تأثیرگذار بر شاخصه‌های کمی و کیفی سرخدار هستند، بهترین تراکم و بیشترین سطح گسترش سرخدار مربوط به دامنه‌های شمالی است. از طرفی در رویشگاه‌های با ارتفاع بیش از ۱۳۰۰ متر با کاهش دما، شرایط حیات برای سرخدار مشکل شده و از فراوانی و شاخصه‌های کمی و کیفی آن کاسته می‌شود. آنان در کل نشان دادند که ارتفاع از سطح دریا، تأثیرگذارترین عامل بر پراکنش و کیفیت رویش سرخدار در منطقه‌ ارسباران است. (Alavi et al. (2020a) در تحقیقی در جنگل‌های هیرکانی ایران به مدل‌سازی پراکنش و پیش‌بینی رویشگاه بالقوه‌ گونه‌ سرخدار پرداختند و نشان دادند که متغیرهای درصد شیب و تغییرات بارندگی فصلی بیشترین و تابش خورشیدی کمترین تأثیر را در پراکنش گونه‌ سرخدار دارند و احتمال حضور گونه‌ در مناطق بررسی‌شده از شیب ۳۰ درصد به بعد بیشتر می‌شود و بعد از آن ثابت می‌ماند. (Mohammadi et al. (2019) در تحقیقی در جنگل خیرود نوشهر با استفاده از مدل حداکثر انترویی

می‌گیرند. این روش‌ها به‌طور معمول احتمال عضویت هر کلاس به هریک از طبقات مربوط به متغیرهای پاسخ را براساس توزیع فراوانی در داده‌های استفاده‌شده برای آموزش مدل پیش‌بینی می‌کنند (Piri sahragard et al., 2014). روش بیشینه‌انترویی به ارزیابی احتمال توزیع مقادیر بیشینه‌انترویی متأثر از محدودیت‌های ناشی از متغیرهای تأثیرگذار بر نحوه‌ توزیع مکانی گونه‌ می‌پردازد. در این روش، حداقل تعداد نقاط جمع‌آوری حضور گونه‌، به عوامل متعددی همچون یکنواختی محدوده‌ تحقیق از نظر درصد شیب، ارتفاع، تخصصی بودن گونه‌ و دقت تحقیق بستگی دارد. برای مدل بیشینه‌انترویی لازم نیست داده‌های کاملی از همه‌ نقاط حضور وجود داشته باشد، بلکه نمونه‌ معرفی از نقاط حضور که بیشتر رویشگاه‌های مهم را پوشش دهد، کافی است (Phillips et al., 2006). حساسیت این روش به تعداد نقاط حضور لازم برای تولید یک مدل صحیح کمتر از دیگر روش‌های مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه مانند الگوریتم ژنتیک (GARP¹) است (Elith et al., 2006). به‌نحوی که در پاره‌ای از پژوهش‌ها تنها پنج نقطه برای تولید یک مدل کافی بوده است (Pearson et al., 2007). همچنین این روش نسبت به مدل‌های مشابه، حساسیت کمتری به همبستگی میان متغیرهای محیطی دارد. از این‌رو با توجه به اهمیت و کاربرد این مدل، به‌منظور مدل‌سازی رویشگاه‌های سرخدار در ارسباران، از این روش استفاده شد.

Ghanbari et al. (2019) در تحقیقی در جنگل‌های ارسباران به تحلیل کمی ترکیب و ساختار توده‌های جنگلی سرخدار در وضعیت‌های حفاظتی متفاوت پرداختند و نتیجه گرفتند که میانگین ارتفاع درختان سرخدار در دو رویشگاه کلاله و وایقان حدود ۵ متر و در رویشگاه کورن، ۴ متر است. (Ebady & Omidvar, 2011) در تحقیقی به بررسی اثر برخی از عوامل

¹ Genetic Algorithm for Rule Set Prediction

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران با مساحت ۸۵۷۹۴ هکتار در شهرستان‌های کلیبر و خداآفرین (شمال استان آذربایجان شرقی) در محدوده جغرافیایی $46^{\circ}39'48''$ تا $47^{\circ}03'01''$ طول شرقی و $38^{\circ}43'28''$ تا $39^{\circ}08'02''$ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). منطقه تحقیق، از سال ۱۳۵۲ به‌عنوان منطقه حفاظت‌شده ارسباران و از سال ۱۳۵۵ به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره تحت مدیریت است. به‌علاوه بخشی از منطقه با وسعت ۸۹۲۶ هکتار از سال ۱۳۹۱ به پارک ملی ارسباران ارتقا یافته است.

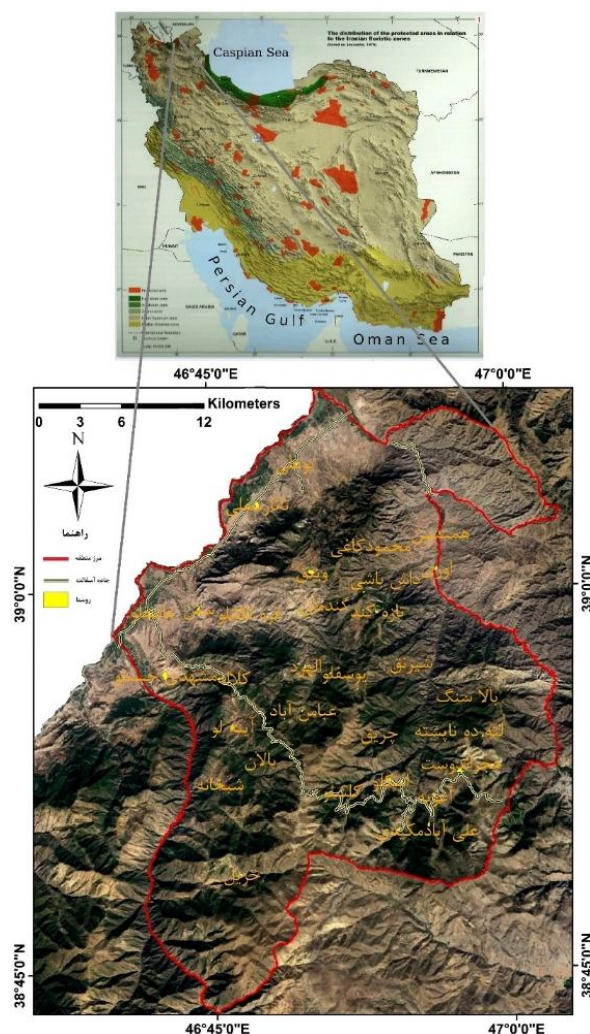
در منطقه حفاظت‌شده ارسباران، ۶۶ پارچه آبادی مسکونی وجود دارد که از آن میان می‌توان به روستاهای عاشقلو، توعلی سفلی، تاتارسفلی، آینالو، کلاله، خریل، کلاسور، اسکلو، آغویه، هجراندوست، ناپشته، تازه‌کند، الهرد، بالاسنگ، یوسفلو، عباس‌آباد، گندمان، وینق و داش‌آراسی اشاره کرد. پراکنش فعلی سرخدار بیشتر در محدوده مناطق جنگلی روستاهای تازه‌کند، کلاله و نقدی است. مرتفع‌ترین نقطه منطقه، قله زینقانلو در جنوب غربی منطقه با ارتفاع ۲۸۹۶ متر است و پست‌ترین آن در شمال شرقی منطقه در خروجی رودخانه ارس با ارتفاع ۲۷۰ متر از سطح دریا قرار دارد (Sarhangzadeh, 2019). میانگین سالانه بارندگی منطقه، از ۲۵۰ میلی‌متر در خروجی حوضه تا ۶۳۰ میلی‌متر در ارتفاعات کلن و دغرون، میانگین سالانه دما از ۲ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد و نوع اقلیم آن براساس ضریب خشکی دومارتن از نیمه‌خشک تا خیلی مرطوب تعیین شد (Sarhangzadeh, 2019). مهم‌ترین گونه‌های درختی و درختچه‌ای منطقه بلوط *Quercus macranthera* Fisch. & C.A.Mey. سیاه (ex Hohen. *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.))، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، کرب (*Acer campestre* L.)، بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، آردوج (*Juniperus foetidissima*)

رویشگاه بالقوه ملج را بررسی کردند و نشان دادند که مدل برای تعیین رویشگاه گونه دارای عملکرد خوبی است و ارتفاع از سطح دریا و عمق دره مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در تعیین رویشگاه گونه هستند. Payam et al. (2012) در تحقیقی در بررسی وضعیت تجدید حیات طبیعی سرخدار در جنگل‌های ارسباران، نتیجه گرفتند که بیشترین درصد زادآوری سرخدار به طبقه ارتفاعی ۱۳۰۰-۱۲۰۰ متر، شیب ۵۱ تا ۶۰ درصد و دامنه‌های شمالی اختصاص دارد. Tarkesh & Jetschke, (2012) در پژوهشی با مقایسه شش روش مدل‌سازی BIOCLIM، GARP، MAXENT، LRT، MARS و NPMR در پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی در مقیاس محلی، نتیجه گرفتند که از بین این شش روش، مدل‌های MAXENT و MARS بهترین روش‌ها در پیش‌بینی رویشگاه گونه‌ها هستند.

با وجود اهمیت اقتصادی، اکولوژیک و کاهش پراکنش رویشگاه‌های سرخدار، پژوهشی برای تعیین رویشگاه‌های بالقوه آن در ارسباران صورت نگرفته است (Ghanbari Sharafeh et al., 2010; Ebady & Omidvar, 2011; Payam et al., 2012). این گیاه، یکی از گونه‌های درختی کمیاب، دیرزیست و کهنسال استان آذربایجان شرقی است که در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران قرار دارد و اطلاعات اندکی از عوامل محدودکننده پراکنش آن به‌دست آمده است. به‌دلیل حمایت از این گونه دارویی، بررسی‌های بیشتر درباره جنبه‌های پراکنش مکانی و امکان توسعه کاشت آن ضروری است. هدف این پژوهش، تطبیق نیازهای اکولوژیک گونه با خصوصیات اکولوژیک منطقه برای مکان‌یابی و تعیین مناطق مستعد کاشت است. از این‌رو تنها مناسب بودن یک متغیر نمی‌تواند دلیل کافی برای کاشت گونه باشد، بلکه باید با در نظر گرفتن همه نیازهای اکولوژیک یک گونه و تطبیق آن با شرایط محیطی، رویشگاه‌های بالقوه گونه را تعیین کرد.

Paliurus spina christi) سیاه‌تلو (*excelsior*)، گلابی (*Miller Malus*)، سیب جنگلی (*Ulmus minor* Mill.)، گردو (*Juglans regia* L.) و گیلان وحشی (*Cerasus avium* L.) هستند (Sarhangzadeh, 2019; Ghanbari et al. 2019).

انار (*Punica granatum* L.)، سرخدار، زغال‌اخته (*Cornus mas* L.)، ال (*Cornus australis*)، سماق (*Rhus coriaria* L.)، کیکم (*Acer monspessulanum* L.)، فندق (*avellana*)، پر (*Cotinus coggygia* Scop.)، قره‌قات (*Ribes biebersteinii* Berland) و ون (*Fraxinus*)



شکل ۱- موقعیت ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران در کشور

و ورود آنها به نرم‌افزار مکسنت استفاده شد.

-نمونه‌برداری

نمونه‌برداری نقاط حضور گونه سرخدار، با بازدیدهای میدانی به‌همراه کارشناس‌های محیط زیست شهرستان کلبر در قسمت‌های مختلف منطقه

شیوه اجرای پژوهش

در این پژوهش از نرم‌افزار مکسنت نسخه 3.3.K3 در تعیین مدل مطلوبیت (Phillips et al., 2006) برای تعیین مدل مطلوبیت رویشگاه در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران، و از نرم‌افزار Arc GIS 10.5 برای ساخت لایه‌های اطلاعاتی

تحلیل وارد شوند. زیرا حضور متغیرهای با همبستگی بیش از ۷۰ درصد در تحلیل‌ها ممکن است به برآزش بیش از حد مدل و بروز مشکلاتی در تفسیر نتایج منجر شود (Peterson et al., 2007). بررسی همبستگی متغیرها در نرم‌افزار Arc GIS 10.5 با استفاده از تحلیل گر Band Collection Statistics که جزء تحلیل‌گرهای چندمتغیره است، انجام گرفت. متغیر طبقه شیب کمتر از ۱۰ درصد با مناطق بدون جهت به‌علت همبستگی بیشتر از ۷۰ درصد از فهرست متغیرهای واردشونده حذف شد.

-مدل‌سازی پیشینه‌انترپوی با استفاده از

نرم‌افزار مکسنت

در پژوهش حاضر ۷۵ درصد نقاط حضور به‌صورت تصادفی برای آموزش مدل و ۲۵ درصد باقی‌مانده به‌عنوان نقاط آزمون برای ارزیابی نتایج مدل استفاده شد (Zare Chahouki et al., 2018). ۲ تکرار برای مدل‌سازی رویشگاه‌ها و با روش بوت‌استرپ^۳ در نظر گرفته شد. با فرض اینکه در محدوده جمع‌آوری داده‌ها، نقاطی که گونه حضور نداشته است بالاترین احتمال را دارد که به‌عنوان نقاط عدم حضور گونه در نظر گرفته شود (عدم حضور کاذب)، به‌صورت تصادفی ۱۰۰۰۰ نقطه از پس‌زمینه به‌عنوان عدم حضور جهت محاسبه خطای ارتکاب^۴ انتخاب شد. برای تعیین اهمیت متغیرهای محیطی، از آزمون جک‌نایف استفاده شد که به‌عنوان نوعی روش ارزیابی با دقت قابل قبول پذیرفته شده است (Zare Chahouki et al., 2018). برای ارزیابی دقت و صحت مدل از معیار سطح زیرمنحنی^۵ (AUC) استفاده شد. معیار سطح زیرمنحنی ناشی از منحنی مشخص عملکرد پذیرنده^۶ (ROC) است (Phillips et al., 2006). نمودار ROC در واقع صحت

در بهار و تابستان ۱۳۹۶ به‌صورت تصادفی انجام گرفت و سعی شد از همه مناطق که گونه حضور دارد نمونه‌برداری شود. در مسیرهای بازدید با مشاهده گونه، مختصات جغرافیایی نقطه با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی^۱، به‌عنوان نقطه حضور ثبت می‌شد. در مجموع ۷۴ نقطه حضور قابل استفاده در نرم‌افزار در طول پژوهش ثبت شد.

-متغیرهای محیطی

برای شناسایی متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر انتخاب رویشگاه‌های گونه با مرور پژوهش‌های پیشین (Alavi et al., 2020a; Alavi et al., 2020b; Golabian et al., 2016; Alami et al., 2014; Alemi et al., 2014; Payam et al., 2012; Esmailzadeh et al., 2012; Ebady & Omidvar, 2010; Ghanbari Sharafteh et al., 2011)، مجموعه عوامل تأثیرگذار در تأمین نیازهای رویشگاهی گونه تعیین شدند. متغیرهای مستقل محیطی که در این پژوهش انتخاب شدند، شامل طبقات درصد شیب (۱۰-، ۰-۲۵، ۲۵-۴۰، ۴۰-۶۰ و بیش از ۶۰ درصد)، طبقات جهت جغرافیایی (مناطق بدون جهت، شمال، شرق، جنوب و غرب)، طبقات ارتفاع (۱۰۰۰-، ۲۷۰، ۱۶۰۰-۱۶۰۰ و ۲۸۶۸-۱۶۰۰ متر از سطح دریا)، طبقات واحدهای اراضی خاک، طبقات میانگین دما، طبقات میانگین بارندگی سالیانه، طبقات اقلیم و نوع کاربری اراضی بودند. شایان ذکر است که در کل از ۳۳ فقره نقشه به‌عنوان متغیرهای مستقل محیطی در مدل‌سازی رویشگاه سرخدار استفاده شد. نقشه‌های درصد شیب، ارتفاع و دامنه جغرافیایی با استفاده از نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی و نقشه راقومی ارتفاع^۲ منطقه تهیه شدند. لایه‌های اطلاعاتی همه متغیرهای مستقل پس از راقومی‌سازی با اندازه سلول ۳۰×۳۰ متر (با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) به نقشه‌های رستری و در نهایت به متغیرهای کمی تبدیل شدند.

-بررسی همبستگی متغیرها

همبستگی متغیرهای محیطی بررسی شد تا تنها متغیرهایی که همبستگی کمتر از ۷۰ درصد دارند در

¹ Global Positioning System (GPS)

² Digital Elevation Model (DEM)

³ Bootstrap

⁴ Commission error

⁵ Area under the curve (AUC)

⁶ Receiver Operating Characteristic (ROC)

آستانه‌ای مورد نیاز است که براساس احتمالات پیش‌بینی شده توسط مدل برای هر سلول را به‌عنوان حضور یا عدم حضور گونه در نظر می‌گیرد. برای اینکه مدل نمایانگر بیش از ۱۰ درصد نقاط حضور استفاده شده باشد، از آستانه منطقی صدک ۱۰ داده‌های حضور به کار گرفته شده استفاده شد. منطق استفاده از این آستانه بر این فرض استوار است که ممکن است ۱۰ درصد داده‌های جمع‌آوری شده اشتباه جمع‌آوری یا زمین مرجع شده باشند (Raes et al., 2009). بعد از تعیین آستانه بهینه، نقشه پیوسته پیش‌بینی به نقشه رویشگاه مطلوب و نامطلوب طبقه‌بندی شد و در مرحله بعد رویشگاه‌های مطلوب به سه طبقه متوسط، خوب و خیلی خوب تقسیم شد.

نتایج

شکل ۲، نتایج حاصل از عملیات آزمون جک‌نایف را برای تعیین اهمیت متغیرها در توزیع جغرافیایی گونه تحت بررسی نشان می‌دهد. مطابق شکل مهم‌ترین متغیرها در حضور و پراکنش گونه در منطقه، ارتفاع ۲۷۰ تا ۱۰۰۰ متر از سطح دریا، ارتفاع از سطح دریا، تپه‌های به نسبت مرتفع با قله مسطح، اقلیم نیمه‌خشک، اقلیم مدیترانه‌ای، محدوده دمایی ۸ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد و مقدار بارندگی ۳۶۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر هستند. نتایج تلفیق نقشه رویشگاه‌های بالقوه سرخدار با نقشه درصد شیب نشان داد که از کل وسعت رویشگاه‌های مطلوب (۱۲۶۵ هکتار)، ۲۷/۵ درصد در طبقه شیب ۲۵-۱۰ درصد، ۳۱/۳ درصد در طبقه شیب ۴۰-۲۵ درصد، ۲۰/۹ درصد در طبقه شیب ۶۰-۴۰ درصد و ۱۸/۲ درصد در طبقه شیب بیش از ۶۰ درصد قرار دارد. همچنین بیش از ۹۹ درصد از وسعت رویشگاه‌های سرخدار در محدوده ارتفاعی ۱۶۰۰-۱۰۰۰ متر از سطح دریا، بارندگی ۳۶۰-۴۸۰ میلی‌متر، میانگین دمای ۸ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد و اقلیم مدیترانه‌ای واقع شده است. نقشه

حضور پیش‌بینی شده را در مقابل صحت عدم حضور پیش‌بینی شده نشان می‌دهد. سطح زیرمنحنی برابر با ۰/۵ بیان‌کننده تصادفی بودن مدل است و هرچه این مقدار به ۱ نزدیک باشد، قدرت تشخیص نقاط حضور از عدم حضور بیشتر خواهد شد. اگر مقدار سطح زیرمنحنی بین ۰/۷ تا ۰/۸ باشد، مدل خوب فرض می‌شود؛ اگر بین ۰/۸ تا ۰/۹ باشد، مدل عالی و اگر بیش از ۰/۹ باشد، بسیار عالی در نظر گرفته می‌شود (Virkkala et al., 2010). برای تعیین دقت نقشه رویشگاه بالقوه گونه و تطبیق آن با واقعیت زمینی از آماره کاپا و صحت کلی^۱ (با استفاده از جمع‌آوری نقاط حضور و عدم حضور واقعی مستقل از نقاط به‌کاررفته در مدل) استفاده شد. ضریب کاپا بیانگر مقدار توافق مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده است و مقدار آن از منفی ۱ تا مثبت ۱ تغییر می‌کند. هرچه مقدار کاپا به ۱ نزدیک باشد، نشان‌دهنده توافق بهتر مدل با دنیای واقعی است. برای حساسیت‌سنجی و تعیین اهمیت هر یک از متغیرهای موجود در مدل از آماره‌های محاسبه شده به‌وسیله نرم‌افزار بیشینه‌انترپوی شامل بهره نسبی مشارکت برای هر متغیر (Phillips et al., 2006)، منحنی‌های پاسخ متغیرها برای مدل‌های تک‌متغیره و فرایند جک‌نایف برای ارزیابی تغییرات AUC هنگام حذف هر متغیر استفاده شد (Yost et al., 2008).

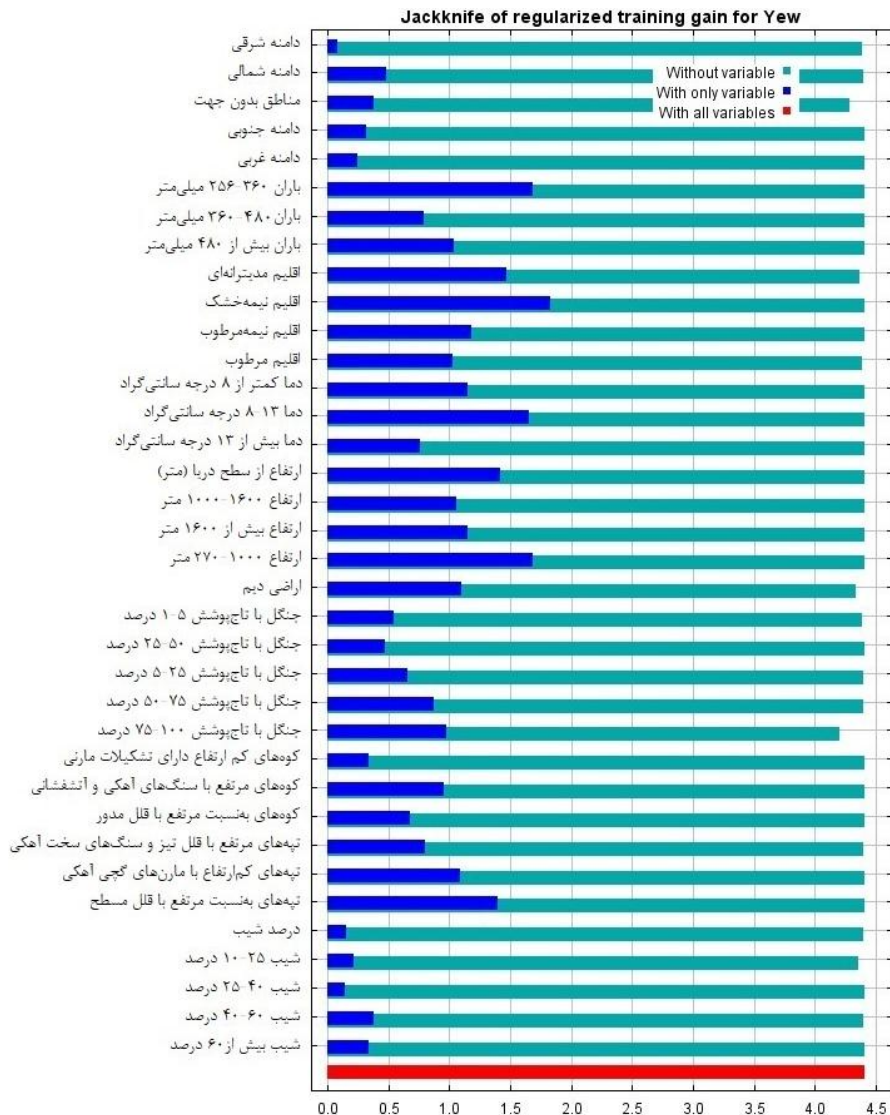
-محاسبه مطلوبیت رویشگاه

نقشه مطلوبیت رویشگاه، دامنه‌ای از مطلوبیت را برای رویشگاه ارائه می‌کند. نقشه به‌صورت پیوسته، از صفر تا ۱ است. ۱ نشان‌دهنده مطلوبیت زیاد و صفر نشان‌دهنده مطلوبیت کم است. یک تصمیم مهم در انتخاب رویشگاه مطلوب و نامطلوب انتخاب آستانه است (Gormley et al., 2011). برای تعیین الگوی پراکنده سرخدار به‌صورت نقشه گسسته‌ای که رویشگاه‌های مطلوب و نامطلوب را نشان می‌دهد، حد

¹ Overall accuracy

نیمه عمیق با بافت متوسط تا سنگین و ۱۹/۸ درصد در واحد کوه‌های کم‌ارتفاع و بریده‌بریده و دارای تشکیلات مارنی با خاک کم‌عمق تا نیمه عمیق سنگریزه‌دار با بافت متوسط تا سنگین قرار دارد. همچنین نتایج تلفیق نقشه رویشگاه‌های سرخدار با نقشه مناطق جنگلی نشان داد که از وسعت رویشگاه‌های مطلوب گونه، ۲۴/۶ درصد در مناطق جنگلی با تاج پوشش ۱۰۰-۷۵ درصد، ۳۱/۷ درصد در مناطق جنگلی با تاج پوشش ۷۵-۵۰ درصد و ۱۹/۸ درصد در مناطق جنگلی با تاج پوشش ۵۰-۲۵ درصد قرار دارد.

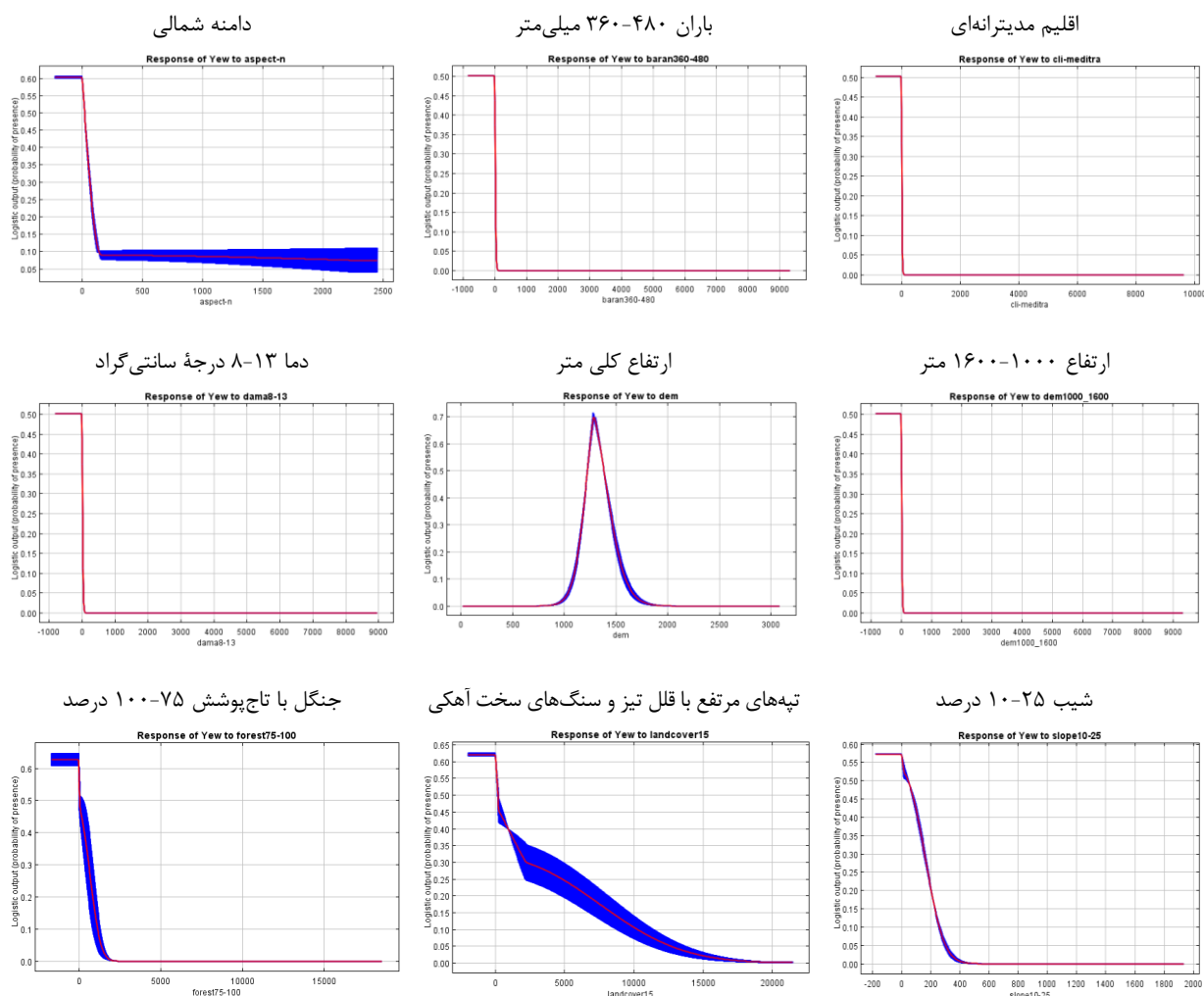
رویشگاه‌های بالقوه سرخدار با نقشه جهات جغرافیایی روی هم‌گذاری شد و نتایج نشان داد که از رویشگاه‌های مطلوب سرخدار، ۵۲/۲ درصد در محدوده دامنه‌های شمالی، ۲۷/۸ درصد دامنه‌های شرقی و ۲۰ درصد در دامنه‌های غربی واقع شده است. نتایج تلفیق نقشه رویشگاه‌های بالقوه سرخدار با نقشه واحدهای اراضی خاک نشان داد که از کل وسعت رویشگاه‌های مطلوب، ۵۵/۷ درصد در واحد اراضی تپه‌های مرتفع با قله تیز و سنگ‌های سخت آهکی با خاک بسیار کم‌عمق تا کم‌عمق، ۲۳/۹ درصد در واحد کوه‌های مرتفع با سنگ‌های آهکی و آتشفشانی و گاهی دگرگونی با خاک کم‌عمق تا



شکل ۲- نمودار نتایج آزمون جک‌نایف در تعیین اهمیت متغیرهای استفاده‌شده در توسعه مدل

رویشگاه زیاد می‌شود. با افزایش فاصله از متغیرهای ارتفاع ۱۶۰۰-۱۰۰۰ متر از سطح دریا، دامنه شمالی، شیب ۲۵-۱۰ درصد، اقلیم مدیترانه‌ای، دمای ۸ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد، بارندگی ۴۸۰-۳۶۰ میلی‌متر، جنگل با تاج‌پوشش ۱۰۰-۷۵ درصد و تپه‌های مرتفع با قلل تیز و سنگ‌های سخت آهکی احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد.

تحلیل منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی (شکل ۳) نشان داد که با افزایش ارتفاع ۲۷۰ تا ۹۰۰ متر و بیش از ۱۷۰۰ متر از سطح دریا تأثیری در مطلوبیت رویشگاه ندارد و از ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۳۵۰ متر مطلوبیت رویشگاه زیاد می‌شود و مجدداً از ارتفاع ۱۳۵۰ تا ۱۷۰۰ متر مطلوبیت رویشگاه کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش درصد شیب، مطلوبیت

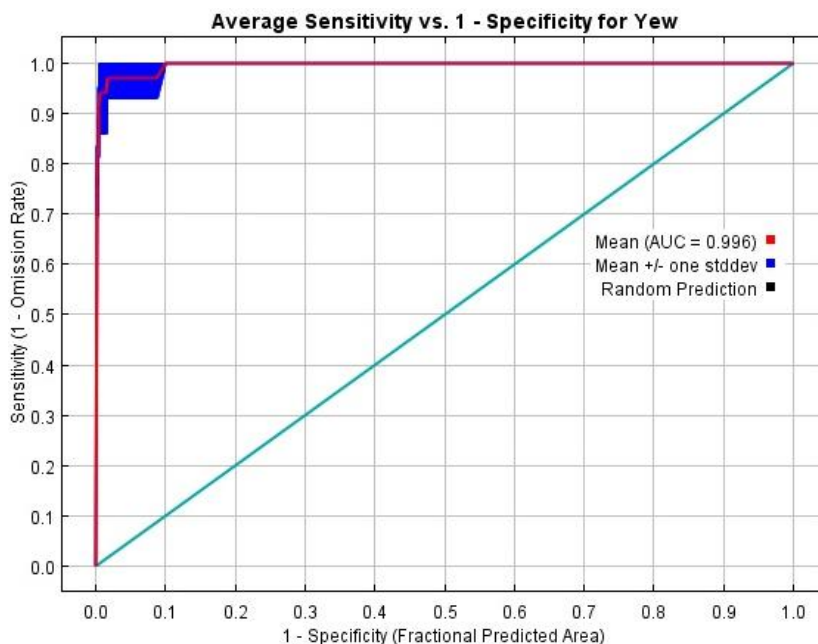


شکل ۳- منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرها در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران

برای داده‌های آزمون ۰/۹۹۹ است که نشان‌دهنده قدرت تشخیص بسیار عالی است (شکل ۴). همچنین مقدار تطابق نقشه تهیه‌شده با واقعیت زمینی در رویشگاه سرخدار براساس ضریب کاپا، ۰/۷۹۴ و

نتایج ارزیابی مدل با استفاده از سطح زیرمنحنی ROC نشان داد که مدل مذکور از حالت تصادفی، پیش‌بینی بهتری دارد. در این مدل، متوسط سطح زیرمنحنی ROC برای داده‌های یادگیری ۰/۹۹۶ و

صحت کلی ۰/۹۰ محاسبه شد.



شکل ۴- منحنی ROC و مقدار AUC مدل پراکنش سرخدار در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران

شد. به کارگیری معیارهای ارزیابی مدل نشان‌دهنده کارایی مناسب روش بیشینه‌انترویی در مدل‌سازی پراکنش گونه است. دقت مدل‌سازی در روش‌های مبتنی بر حضور نسبت به روش‌های مبتنی بر داده‌های حضور و عدم حضور بیشتر است، زیرا زمانی که بنابه دلایلی رویشگاه مناسب است، ولی گونه حضور ندارد یا زمانی که رویشگاه برای حضور گونه نامساعد است، استفاده از داده‌های عدم حضور سبب ایجاد آریبی در نتایج می‌شود. بنابراین استفاده از روش‌های مبتنی بر حضور گونه نتایج مطلوب‌تر با هزینه کمتری خواهد داشت (Hirzel et al., 2006; Phillips et al., 2006). نتایج نشان داد که مطابق طبقه‌بندی پژوهشگران، توافق نقشه رویشگاه‌های بالقوه و واقعیت زمینی سرخدار براساس صحت کلی (۰/۹۰) در سطح عالی و ضریب کاپا (۰/۷۹۴) در سطح بسیار خوب قرار دارد (Landis & Koch, 1977; Monsserud & Leemans, 1992). محققان ضریب کاپا را معیار مناسبی برای محاسبه نیکویی پیش‌بینی

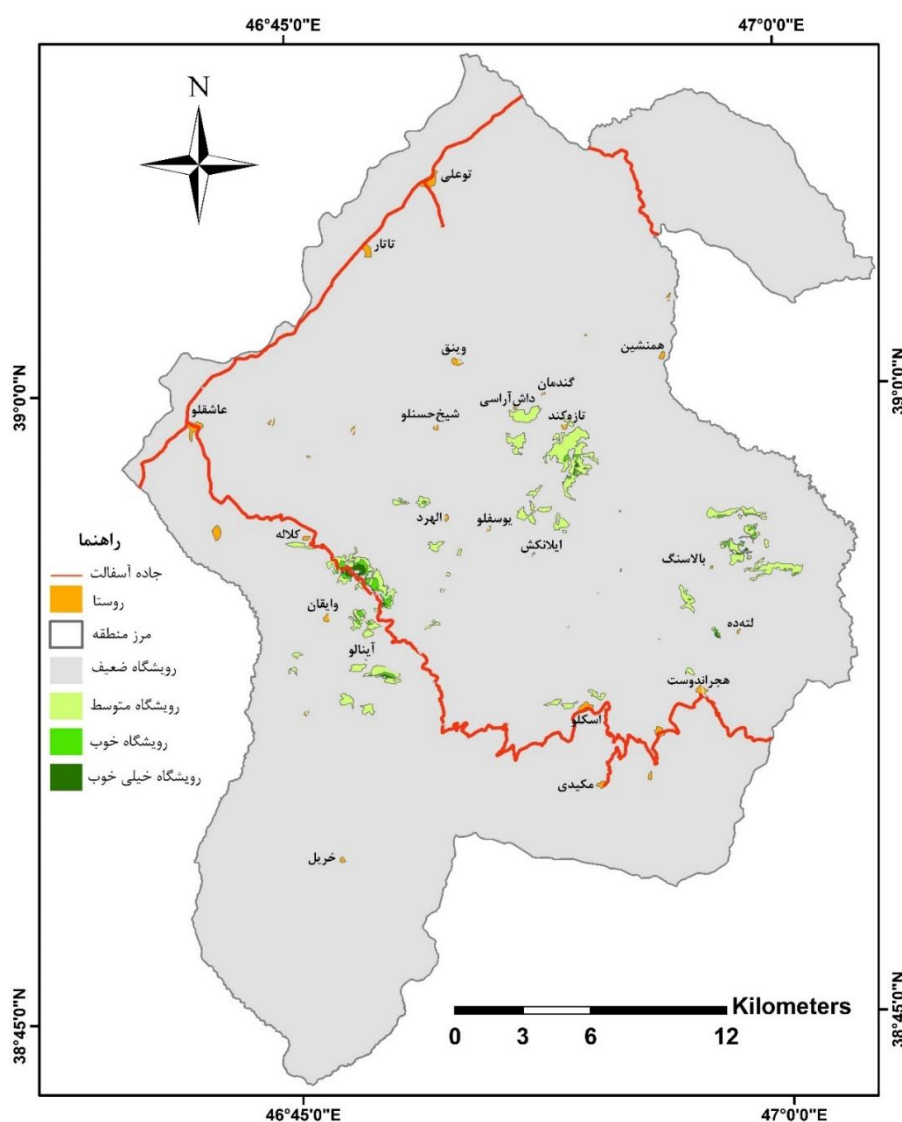
با استفاده از آستانه مطلوبیت به‌دست‌آمده از مدل (۰/۳۱۵۴)، نقشه مطلوبیت رویشگاه سرخدار در دو کلاس رویشگاه مطلوب و نامطلوب طبقه‌بندی شد (شکل ۵). وسعت رویشگاه‌های مطلوب سرخدار در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران ۱۲۶۵ هکتار (۱/۴۸ درصد وسعت ذخیره‌گاه) برآورد شد. همچنین از رویشگاه‌های مطلوب، ۱۰۵۸ هکتار رویشگاه متوسط، ۱۳۶ هکتار رویشگاه خوب و ۷۱ هکتار رویشگاه خیلی خوب تعیین شد.

بحث

در پژوهش حاضر، رویشگاه‌های بالقوه گونه در معرض خطر انقراض سرخدار با استفاده از روش بیشینه‌انترویی و متغیرهای استخراج‌شده از نقشه‌های درصد شیب و طبقات آن، طبقات جهت جغرافیایی، ارتفاع و طبقات آن، واحدهای اراضی خاک، طبقات میانگین دما، طبقات میانگین بارندگی سالیانه، طبقه‌بندی اقلیمی و نوع کاربری اراضی پیش‌بینی

در بررسی رویشگاه کاهو وحشی (*Lactuca spp.*) در Zare Chahouki et al. (2018)، Trans Caucasus رویشگاه *Stipa barbata* در مراتع طالقان جنوبی و Mohammadi et al. (2019) در بررسی رویشگاه ملج (*Ulmus glabra*) در خیرود نوشهر، روش بیشینه‌انترویی را روشی دقیق در پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه‌های گیاهی بیان کردند.

دانستند (Landis & Koch, 1977). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای محیطی استفاده‌شده در تعیین مدل، توانایی لازم را در پیش‌بینی رویشگاه سرخدار دارند و نتیجه اطمینان‌بخشی از مدل را ارائه کردند. همچنین دقت و توانایی طبقه‌بندی مدل پیش‌بینی برای گونه براساس مقدار سطح زیر منحنی (Cobben et al. (2015)، بسیار عالی است.



شکل ۵- نقشه پراکنش رویشگاه‌های مطلوب پیش‌بینی‌شده سرخدار در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران

۲۷۰ تا ۱۰۰۰ متر از سطح دریا، ارتفاع از سطح دریا، تپه‌های به‌نسبت مرتفع با قله مسطح، اقلیم

نتایج تجزیه متغیرهای اصلی (شکل ۲) نشان داد که از بین متغیرهای بررسی‌شده، متغیرهای ارتفاع

کاهش رطوبت خاک و افزایش ناپایداری درختان، از تعداد درختان کاسته شده و زادآوری کم می‌شود (Moradi Dirmandrik et al., 2015). شیب تند موجب می‌شود تا تنها فرایندهای خاک‌ساختی ابتدایی همچون هوازدگی، تشکیل ساختمان و تجمع بقایای آلی در این نواحی روی دهد (Rezaei et al., 2016). همچنین غلظت فسفر قابل جذب، درصد کربن و درصد نیتروژن کل خاک با افزایش شیب کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده رابطه معکوس غلظت عناصر با مقدار شیب دامنه است (Karamian & Hosseini, 2014). با توجه به اینکه سرخدار در خاک‌های ضعیف و کم‌عمق رشد خوبی ندارد و برای رشد به مواد معدنی مانند پتاسیم و فسفر نیاز دارد، در این نواحی، به دلیل کمبود مواد معدنی در خاک، حضور سرخدار با مشکل مواجه می‌شود (Golabian et al., 2016; Rezaei et al., 2016; Moradi Dirmandrik et al., 2015; Karamian & Hosseini, 2014; Mossadegh, 2001).

نتایج نشان داد که سرخدار بیشتر در دامنه‌های شمالی، دامنه‌های شرقی و غربی پراکنش دارد و از دامنه‌های جنوبی دوری می‌کند. این یافته مشابه نتایج (Payam et al., 2012; Ebady & Omidvar, 2011) و (Alami et al., 2014) است. در دامنه‌های شمالی رطوبت بیشتر، رژیم حرارتی و نوری نیز در محدوده نیاز گونه است. همچنین بیش از ۹۹ درصد رویشگاه‌های مطلوب سرخدار در محدوده اقلیم مدیترانه‌ای قرار دارد و گونه این مناطق را برای استقرار انتخاب می‌کند که مشابه یافته‌های (Alami et al., 2014) است. دلیل آن را به این صورت می‌توان بیان کرد تغییرات ارتفاع، تغییرات اقلیمی را در پی دارد و این موضوع، مقدار ماده آلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Karamian & Hosseini, 2014) همچنین سرمایه سخت به گیاه آسیب می‌رساند و در منطقه حفاظت‌شده ارسباران با افزایش ارتفاع، اقلیم مرطوب‌تر می‌شود و دما کاهش می‌یابد و کاهش دما برای حضور سرخدار به‌ویژه زادآوری آن محدودیت

نیمه‌خشک، اقلیم مدیترانه‌ای، محدوده دمایی ۸ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد و مقدار بارندگی ۳۶۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر بیشترین تأثیر را در پراکنش سرخدار دارند. نتایج نشان داد که رویشگاه مطلوب سرخدار در حد فاصل ۹۰۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا، قرار دارد و در طبقه‌بندی ارتفاعی، مناسب‌ترین طبقه، کلاس ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ متر از سطح دریاست. در واقع مناسب بودن رویشگاه برای گونه، به فراهم بودن مجموعه شرایط بستگی دارد و تنها یک متغیر مطلوبیت رویشگاه را مشخص نمی‌کند. این یافته‌ها مشابه نتایج (Ebady & Mossadegh, 2001)؛ (Omidvar, 2011)؛ (Alami et al., 2014)؛ (Alavi et al., 2020b) است. سرخدار گونه‌ای است که به رطوبت زیاد و محیط خنک نیاز دارد و ارتفاعات پایین به دلیل گرم بودن و رطوبت کم و نیز خاک‌های خشک و شنی مناسب حضور سرخدار نیست (Alavi et al., 2019; Darzi et al., 2019). حضور کم سرخدار در ارتفاعات بالا ممکن است تا حدی به دلیل تغییرات اکولوژیک نظیر کاهش دما، تغییر نوع و مقدار بارندگی و کوتاه شدن دوره رویش گیاهی باشد (Alavi et al., 2020b). همچنین در ارسباران در ارتفاعات بالا، خاک‌های منطقه جوان و دارای زهکشی ضعیف است و سرخدار با خاک‌های جوان با زهکشی ضعیف سازگار نیست (Darzi et al., 2019).

نتایج نشان داد که رویشگاه مطلوب سرخدار در ارسباران در حد فاصل شیب‌های ۱۰ تا بیش از ۶۰ درصد و بیشتر در محدوده شیب ۲۵ تا ۶۰ درصد قرار دارد. این یافته مشابه نتایج (Esmailzadeh et al., 2011)؛ (Ebady & Omidvar, 2011)؛ (Alami et al., 2014)؛ (Alami et al., 2014)؛ (Alami et al., 2014)؛ (Alavi et al., 2020a) است. شایان ذکر است که در بررسی‌های میدانی در مناطق بازدیدشده، سرخدارها بیشتر در مناطق با شیب متوسط قرار داشتند. با افزایش شیب، استقرار نامناسب بذر، از دست رفتن لایه هوموس و کاهش حاصلخیزی خاک بر اثر آبشویی،

پراکنش محدودی دارد، حفاظت بیشتر از رویشگاه‌های مطلوب آن و پیشگیری از تخریب این رویشگاه‌ها به‌ویژه از راه کاهش تعداد دام‌های روستایی و کنترل گردشگری با مشارکت همه‌سازمان‌های ذی‌ربط و مردم محلی پیشنهاد می‌شود و تا زمانی که ساکنان محلی مسئول حفظ رویشگاه‌ها نباشند، احساس مسئولیت جدی در قبال آن نخواهند داشت. از طرفی براساس نتایج پژوهش و موقعیت رویشگاه‌های مطلوب گونه، برای افزایش مساحت رویشگاه‌های فعلی سرخدار، باید به احیای رویشگاه‌ها در ارسباران پرداخت. همچنین پیشنهاد می‌شود برای تعیین دقیق رویشگاه‌های بالقوه سرخدار، مناطقی که گونه بر اثر عوامل تخریبی (تغییر کاربری، حضور دام و... در بلندمدت) و تغییرات اقلیمی از آن حذف شده، مشخص شود و همه‌عوامل به تفکیک پهنه‌بندی شود و مدل‌سازی رویشگاه‌های بالقوه گونه مجدداً انجام گیرد.

سیاسگزاری

از همکاری آقایان مهندس عبدالرضا کلانتری ریاست محترم و مهندس جابر سرهنگ‌زاده و مهندس ظریفی کارشناسان محترم اداره محیط زیست شهرستان کلپیر؛ الیاس اویسی و منوچهر محمدی دبیران آموزش و پرورش؛ و همچنین محیط‌بانان پاسگاه‌های وینق، آینالو و تازه‌کند که در انجام این پژوهش این‌جانب را یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌شود.

به‌وجود می‌آورد (Mossadegh, 2001). از طرفی رویشگاه‌های مطلوب سرخدار در محدوده‌های دمایی ۸ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد و مقدار بارندگی ۳۶۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر واقع شده است.

براساس نتایج، سرخدار به استقرار در مناطق با پوشش جنگلی متراکم و نیمه‌متراکم با تاج‌پوشش بیش از ۵۰ درصد تمایل دارد. این یافته‌ها مشابه نتایج Mossadegh. (2001)؛ Ebady & Omidvar. (2011)؛ Payam et al. (2012)؛ Alami et al. (2014) و Alemi et al. (2014) است. با توجه به اینکه سرخدار گونه‌ای سایه‌پسند است و در مرحله رویش نهال و شل، تحمل کمتری به نور مستقیم آفتاب دارد و از نور غیرمستقیم به‌خوبی استفاده می‌کند، اشکوب زیرین جنگل‌های متراکم را ترجیح می‌دهد. از طرفی در مناطق جنگلی با پوشش متراکم، وجود بقایای گیاهی، سبب شده که خاک‌های منطقه دارای کربن آلی فراوانی باشند که نیازهای غذایی گونه را به‌خوبی تأمین می‌کند (Rezaei et al., 2020).

این پژوهش رویشگاه‌های مطلوب سرخدار را در متنوع‌ترین منطقه حفاظت‌شده کشور مشخص و متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش گونه را تعیین کرد و نشان داد که وسعت ناچیزی از ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران (۱/۴۸ درصد) برای سرخدار مطلوب است. رویشگاه‌های مطلوب گونه، بیشتر در مناطق مرکزی محدوده و در حوزه مناطق جنگلی تازه‌کند، کلاله، آینالو، نقدی و بالاسنگ قرار دارند (شکل ۵). با توجه به اینکه سرخدار یکی از گونه‌های در خطر انقراض بوده و محدوده پراکنش آن در ایران، به‌شدت کاهش یافته است و در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران

References

- Alami, A., Eslami, A., Elith, J., & Hashemi, S.A. (2014). The query of suitable areas for plantation and development of *Taxus baccata* L. species by using GIS in northern Iran. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 86: 1497-1505.

- Alavi, S.J., Ahmadi, K., Hosseini, S.M., Tabari, M., & Nouri, Z. (2019). The response of English yew (*Taxus baccata* L.) to climate change in the Caspian Hyrcanian Mixed Forest ecoregion. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1495-1506.
- Alavi, S.J., Ahmadi, K., Hosseini, S.M., Tabari Kouchksaraei, M., & Nouri, Z. (2020a). Modeling the potential habitat of English yew (*Taxus baccata* L.) in the Hyrcanian forests of Iran. *Forest Research and Development*, 5(4): 513-525.
- Alavi, S.J., Ahmadi, K., Hosseini, S.M., Tabari, M., & Nouri, Z. (2020b). The importance of climatic, topographic, and edaphic variables in the distribution of yew species (*Taxus baccata* L.) and prioritization of areas for conservation and restoration in the north of Iran. *Iranian Journal of Forest*, 11(4): 477-492.
- Alemi, A., Eslami, A., & Shataee Joibari, S.H. (2014). Investigation on development potential of endangered species of *Taxus baccata* at Golestan Province, based on GIS technology (Case study: Pooneh Aram reserve). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(4): 678-689.
- Asri, Y., & Partonia, L. (2017). Site and silvicultural characteristics of *Juniperus foetidissima* Willd, endangered species in Arasbaran Biosphere Reserve. *Iranian Journal Forest and Poplar Research*, 24 (4): 687-699.
- Cobben, M.M.P., Van Treuren, R., Castañeda-Álvarez, N.P., Khoury, C.K., Kik, C., & Vanhantum, T.J.L. (2015). Robustness and accuracy of Maxent niche modelling for *Lactuca* species distributions in light of collecting expeditions. *Journal of Plant Genetic Resources*, 13(2): 153-161.
- Darzi, M., Ravanbakhsh, H., Moshki, A., Amiri, M., & Kianian, M.K. (2019). Forest types of Gzoo *Taxus baccata* L. researve and the analysis of vegetation in relation to environmental variables (Savadkooh, Mazandaran). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 7(14): 237-252.
- Ebady, A., & Omidvar, A. (2011). Relationship between some ecological factors and distribution of Yew tree (*Taxus baccuta* L.) in Arasbaran forests (Case study: Ilganechay and Horand regions). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(3): 327-339.
- Ebady, A., Payam, H., Fallahchai, M.M., & Omidvar, A. (2009). Study of Yew tree (*Taxus baccuta* L.) Aut Ecology (Case study in Ilgana Chi area). *Journal of Biology Science*, 3(2): 47-59.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M.S., & Zimmermann, N.E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2): 129-151.
- Esmailzadeh, O., Hosseini, S.M., Asadi, H., Ghadiripour, P., & Amadi, A. (2012). Plant biodiversity in relation to physiographical factors in Afratakhteh Yew (*Taxus baccata* L.) habitat, NE Iran. *Journal of Plant Biology*, 4(12): 1-12.
- Ghanbari, S., Sefidi, K., & Fathizadeh, O. (2019). Composition and structure of english yew forest stands (*Taxus baccata* L.) in different conservation systems of Arasbaran forests, Iran. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 26(2): 31-49.
- Ghanbari Sharafeh, A., Marvie Mohajer, M.R., & Zobeiri, M. (2010). Natural regeneration of Yew in Arasbaran forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(3): 380-389.
- Golabian, B., Marvie Mohajer, M.R., & Zobeiri, M. (2016). A study of some structural attributes of Yew (*Taxus baccata* L.) in Gazoo forest, Mazandaran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(4): 594-604.
- Gormley, A., Forsyth, D., Griffioen, P., Lindeman, M., Ramsey, D., Scroggie, M., & Woodford, L. (2011). Using presence-only and presence-absence data to estimate the current and potential distributions of established invasive species. *Journal of Applied Ecology*, 48: 25-34.

- Heydari, M., & Jaferyan, E. (2017). Study the effect of physiographic and anthropogenic factors on the spatial distribution of *Pestacia atlantica* using GIS in Dareh Shahr forests. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(3): 560-570.
- Hirzel, A.H., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C., & Guisan, A. (2006). Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling*, 199(2): 142-152.
- Hoersch, B., Braum, G., & Schmidt, U. (2002). Relation between landform and vegetation in alpine regions of Wallis, Switzerland. A multiscale remote sensing and GIS approach. *Computers Environment and Urban Systems*, 26: 113-139.
- Jafari Afrapoly, M., Sefidi, K., Varamesh, S., & Waez-Mousavi, S.M. (2019). Structural Characteristic of English Yew (*Taxus baccata* L.) Stands in the Afratakhteh Forests Reserve. *Ecology of Iranian Forest*, 7 (13): 11-19.
- Karamian, M., & Hosseini, V. (2014). Effect of altitude, slope and canopy on absorbable phosphorus, carbon and total nitrogen in forest soils (Case study: The forest of Ilam province, Dalab). *Journal Management System*, 1(1): 57-71.
- Landis, J.R., & Koch, G.G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1): 159-174.
- Mohammadi, A., Alavi, S.J., & Hosseini, S.M. (2019). Predicting the potential habitat of Wych elm (*Ulmus glabra* Huds.) using the Maxent model in Kheyrod forest. *Iranian Journal of Forest*, 10(4): 475-486.
- Monsserud, D.M., & Leemans, R. (1992). Comparing Global Vegetation relationships in coastal desert plain of southern Sinai. *J. Arid Environments*, 55: 607-628.
- Moradi Dirmandrik, S.h., Ramezani Kakroudi, E., Alijanpour, A., & Banj Shafiei, A. (2015). Quantitative and qualitative characteristics of Arasbaran Forest Protected Area in slope gradient classes. *Forest Research and Development*, 1 (1): 1-15.
- Mossadegh, A. (2001). *Taxus baccata* forests, in Iran. *Journal of Environmental studies*, 27(28): 73-84.
- Naraghi, T.S. (2003). In vitro propagation of *Taxus baccata* through shoot tip culture. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic*, 12(4): 335-344.
- Payam, H., Fallahchai, M. M, Ebadi, A., & Omidvar, A. (2012). Study of natural regeneration status of Yew tree (*Taxus baccata* L.) in Arasbaran forests (case study in Ilganachai area and Horand area). *Journal of Biology Science*, 5(4): 15-34.
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M., & Peterson, A.T. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Biogeography*, 34: 102-117.
- Peterson, A.T., Papes, M., & Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling. A comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 30: 550-560.
- Piri sahragard, H., Zare Chahouki, M.A., & Azarnivand, H. (2014). Modelling of plant species distribution in the Hoze sultan west rangelands of by Logistic regression analysis. *Journal of range management of Gorgan university*. 1(1): 15-25.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- Raes, N., Roos, M.C., Slik, J.V.F., Van Loon, E.E., & Ter Steege, H. (2009). Botanical richness and patterns of Borneo derived from species distribution models. *Ecography*, (32): 180-192.
- Rezaei, H., Jsfarzadeh, A.A., Alijanpour, A., Shahbazi, F., & Valizadeh Kamr, K.H. (2020). Soil Organic Matter Condition in Forest Stands of Arasbaran. *Journal of Water and Soil*. 34(1):115-127.

- Rezaei, H., Jsfarzadeh, A.A., Alijanpour, A., Shahbazi, F., & Valizadeh Kamr, K.H. (2016). Genetically Evolution of Arasbaran Forests Soils along Altitudinal Transects of Kaleybar Chai Sofla Sub-Basin. *Water and Soil Science*. 26(4):151-166.
- Sabeti, H. (1994). Forests, trees, and shrubs of Iran. Yazd: Yazd university press. 807p.
- Sarhangzadeh, J. (2019). Habitat suitability modeling for Juniper (*Juniperus foetidissima*) in Arasbaran Biosphere Reserve. *Forest Research and Development*, 5(1): 93–112.
- Tarkesh, M., & Jetschke, M. (2012). Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. *Journal of Environmental and Ecological Statistics*, 19: 437–457.
- Virkkala, R., Marmion, M., Heikkinen, R.K., Thuiller, W., & Luoto, M. (2010). Predicting range shifts of northern bird species: influence of modelling technique and topography. *Acta Oecologica*, 36(3): 269-281.
- Yazdani, D., Shahnazi, S., Rezazadeh, S., & Pirali Hamedani, M. (2005). A review on Yew (*Taxus baccata* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 3: 15. 1-8.
- Yost, A.C., Petersen, S.L., Gregg, M., & Miller, R. (2008). Predictive modeling and mapping sage grouse (*Centrocercus urophasianus*) nesting habitat using Maximum Entropy and a long-term dataset from Southern Oregon. *Ecological Informatics*, 3: 375–386.
- Zare Chahouki, M.A., Abbasi, M., & Azarnivand, H. (2018). Prediction of potential habitat for *Stipa barbata* species using maximum entropy model (Case Study: Taleghan Miany rangelands). *Journal of Rangeland*, 12(1): 35–47.
- Zare Chahouki, M.A., & Zare Chahouki, A. (2010). Predicting the distribution of plants species using logistic regression (Case study: Garizat rangelands of Yazd province). *Desert*, 15(2): 151-158.



Research Article

Application of Maximum Entropy in Prediction of Common Yew (*Taxus baccata* L.) potential habitats in the Arasbaran biosphere reserve

J. Sarhangzadeh^{1*}, M.R. Elmi¹

¹ Associate Prof., Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, I. R. Iran

(Received: 14 January 2020, Accepted: 7 July 2020)

Abstract

Common yew (*Taxus baccata* L.) is classified as an Endangered (En) species and its distribution has been decreased as a long-lived species during last decades, indicating the need for protecting its habitats. In this research, the habitat suitability of common yew in the Arasbaran biosphere reserve, was explored. Using the Maximum Entropy (MaxEnt) approach and based on the presence locations (74 points) the suitable habitats were modelled. The predictor variables included in the model were slope, aspect, elevation, landform, land use, and climate. Results showed that 1.48% (1265 ha) of the Arasbaran biosphere reserve is suitable for Common Yew. Based on the habitat suitability map, common yew prefers the elevation 900-1700, slope 25-60%, northern aspect, rainfall 360-480 mm, the average temperature 8-13°C, Mediterranean climate, and forested areas with canopy cover > 50%. The suitable habitats for Common Yew are generally distributed in the Tazekand, Kalaleh, Ainehloo, Nooghdi and Balasang forest areas. The accuracy and the ability of predictions model was assessed great for this species based on the area under the curve (AUC= 0.996). Using the findings of this study we can specify suitable areas for yew's plantation, and restore its habitat in Arasbaran in the future.

Keywords: Jackknife, MaxEnt, Modelling, Topography.

