Archive of SID

فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۵، شماره ۱، صفحه ۱۱۲-۹۳، (۱۳۹۸)

مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه آردوج (*Juniperus foetidissima* Willd.) در ذخیره‌گاه زیست‌کرهٔ ارسباران

جلیل سرهنگ‌زاده*

– استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران. (jsarhangzadeh@yazd.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۱

چکیده

هرچند گونه آردوج (*Juniperus foetidissima* Wild.) در طبقه‌بندی اتحادیه جهانی حفاظت از طبیعت و منابع طبیعی در طبقه کمترین نگرانی قرار دارد، اما دامنه انتشار این گونه دیرزیست که نماد گیاهی استان آذربایجان شرقی است، کاهش یافته است و حفاظت رویشگاه‌های آن دارای اهمیت است. در این پژوهش، مطلوبیت رویشگاه آردوج در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران بررسی شد. بدین منظور برای مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه آردوج با استفاده از نقاط حضور گونه، از روش تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی (ENFA) بهره‌گیری شد. درصد شیب و طبقات آن، طبقات جهت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و طبقات آن، شکل واحدهای اراضی خاک و زمین‌شناسی، طبقه‌بندی اقلیمی به‌عنوان متغیرهای مستقل محیط‌زیستی در مدل‌سازی استفاده شدند. نتایج نشان داد این گونه دارای آشیان بوم‌شناختی باریکی بوده و نسبت به تغییرات زیستگاه حساس است. رویشگاه‌های مطلوب گونه در محدوده ارتفاعی ۳۳۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا، شیب ۱۰ تا ۶۰ درصد، تمامی دامنه‌ها و در محدوده اقلیم‌های نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای قرار دارد. بر اساس مدل‌سازی انجام شده ۲۷/۱۷ درصد از وسعت ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران، رویشگاه مطلوبی برای آردوج است. نتایج این پژوهش برای اهداف مدیریتی در توسعه پایدار اکوسیستم‌های جنگلی، حفاظت و احیای این اکوسیستم‌ها کاربرد دارد.

واژه‌های کلیدی: آردوج، ارسباران، بایومپر، تخصص‌گرایی.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۳۵۳۸۲۱۰۳۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

جنگل‌های ارسباران یکی از بی‌نظیرترین و ارزشمندترین جنگل‌های جهان بوده و به‌علت تنوع گونه‌ای بالا و تفاوت با پوشش گیاهی شمال، به‌عنوان یکی از مناطق پنج‌گانه رویشی ایران به‌حساب می‌آید (Javanshir, 1976). به همین خاطر منطقه حفاظت‌شده ارسباران از سال ۱۹۷٦ از سوی سازمان جهانی یونسکو به‌عنوان یکی از ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره جهان ثبت شده است (Alijanpour, 2000)؛ اما بـا وجود اهمیت از جنبه‌هـای مختلـف محیط‌زیستی، روندی رو به انهدام دارد، به‌طوری‌که به‌دلیل قطع بی‌رویـه، چـرای مفـرط دام و بهره‌برداری غیراصولی روزبه‌روز وسـعت ایـن جنگـل‌هـا کم می‌شود.

انتشار آردوج (*Juniperus foetidissima*) در جهان به جنوب شرق اروپا (آلبانی، بلغارستان، صربستان، مقدونیه و یونان)، شرق اروپا (اوکراین و کریمه)، قفقاز (ارمنستان، آذربایجان و گرجستان)، آسیای مرکزی (ترکمنستان) و غرب آسیا (شمال غربی ایران، ترکیه، سوریه، لبنان و قبرس) محدود شده است. در ایران این گونه تنها در ارسباران انتشار دارد (Asri and Partonia, 2017، Farjon, 1992). این گونه بیشتر در فقیرترین شرایط زیستی مانند بسترهای به‌طور کامل صخره‌ای و سنگریزه‌ای و خاک‌های فرسایش یافته باقی‌مانده است (Ali Ahmad Koruri *et al*., 2011). این گونه چوب صنعتی ساختمانی تولید می‌کند. ارزش این چوب‌ها نه‌تنها به‌دلیل استقامت و پایداری آن در سقف منازل بلکه به‌دلیل ترکیبات معطر فراوانی است که آن را در برابر صدمات ثانویه مانند حمله آفات و موریانه حفاظت می‌کند (Ali Ahmad Koruri *et al*., 2011). آردوج با وجودی که در طبقه‌بندی اتحادیه جهانی حفاظت از طبیعت و منابع طبیعی در طبقه کمترین نگرانی قرار گرفته است (Farjon, 2013، IUCN, 2017)؛ اما به‌عنوان یک گونه دیرزیست و نماد گیاهی (Flagship Species) استان مهم بوده و امروزه حفاظت ویژه با توجه به روند کاهش وسعت رویشگاه‌ها، حائز اهمیت است (Rheissi *et al*., 2012a).

پوشش گیاهی از شاخص‌های زیستی بوم‌سازگان ها و یکی از معیارهای مهم تنوع زیستی است که حفظ آن، مستلزم شناخت گونه، ارتباط گونه با متغیرهای رویشگاهی است. عدم شناخت کافی پوشش گیاهی و اهمیت آن در حفظ تنوع زیستی و تأثیرات متقابلشان بر محیط، موجب شده تا در برخی از مناطق، گونه‌های گیاهی و رویشگاه ازبین رفته و حتی در مناطق تحت مدیریت بسیاری از گونه‌ها در معرض خطر قرار گیرد (Majnoniyan, 2000). تاکنون پژوهش‌های زیادی بر مبنای این فرض که بین پوشش گیاهی و محیط فیزیکی پیرامون آنها ارتباط وجود دارد انجام شده است. کشف این ارتباط در مدل‌سازی رویشگاه گونه و تعیین الگوی توزیع گونه نسبت به شرایط محیطی مهم است. نتیجه این الگوی توزیع گونه در ارتباط با شرایط محیطی، انتخاب مکانی برای رویش و زادآوری است (Marzluff and Ewing, 2001). با توسعه GIS مدل‌سازی محیطی بر اساس ساختار داده و روش‌های تجزیه‌وتحلیل متفاوت برای بررسی اطلاعات مکانی امکان‌پذیر شده است (Wilson and Gallant, 2000). 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 (Liprieur *et al*., 1988). از طرفی انتخاب مکان رویش گونه به کیفیت درونی محیط بستگی دارد (Bahrami and Ghorbani, 2016)؛ بنابراین آن دسته از متغیرهای محیطی که تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم بیشتری

www.SID.ir

Archive of SID

در نیازهای گونه دارند برای ارزیابی رویشگاه گونه مهم‌تر هستند.

مدل‌های مطلوبیت رویشگاه، مدل‌های آماری احتمالی هستند که توزیع جغرافیایی گونه را به خصوصیات محیط‌زیست آن مرتبط می‌کند. این مدل‌ها قدرت سامانه اطلاعات جغرافیایی را با ابزارهای آماری چند متغیره درهم می‌آمیزد و ارتباط بین گونه و رویشگاه را به‌صورت فرمول درآورده و تأثیر متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت رویشگاه را کمی کند (Carvalho and Gomes, 2004). روش‌های زیادی برای مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه استفاده می‌شود:

– مدل‌هایی که به داده‌های حضور و عدم حضور (هر دو) نیاز دارند: مانند مدل‌های General (GLM) Linear models، General additive models (GAM) طبقه‌بندی و تجزیه‌وتحلیل درخت رگرسیونی و شبکه عصبی (Manel *et al*., 1999; Guisan and Zimmerman, 2000).

– مدل‌هایی که فقط بر اساس داده‌های حضور ارزیابی می‌شوند: مانند مدل‌های تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی (Ecological Niche Factor (ENFA)) Analysis) و تحلیل بیشینه آنتروپی. این نوع روش‌ها زمانی به کار می‌روند که اطلاعات مربوط به عدم حضور گونه ناکافی است و دسترسی به اطلاعات امکان‌پذیر نیست (Hirzel and Arletaz, 2003).

از بین مدل‌های مختلف ارزیابی مطلوبیت رویشگاه، روش تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی با استفاده از مفهوم آشیان بوم‌شناختی به مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه گونه می‌پردازد.

روش‌هایی که بر اساس داده‌های حضور و عدم حضور گونه استوار هستند با پدیده عدم حضور کاذب روبه‌رو هستند. به‌عبارت‌دیگر مشاهده گونه توسط مشاهده‌گر به‌دلایل متعددی مانند دقت مشاهده‌گر سبب می‌شود تا آن نقطه به‌عنوان نقطه عدم حضور گونه ثبت شود. این خطا می‌تواند نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها را با خطای بالایی همراه سازد؛ اما تحلیل ENFA به‌دلیل اینکه فقط از داده‌های حضور استفاده می‌کند با مشکل مذکور روبه‌رو نیست (Hirzel *et al*., 2002). اصول کار این روش مشابه آنالیز تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یا PCA (Principal Component Analysis) بوده و متغیرهای محیطی که در پراکنش گونه تأثیرگذار هستند به تعداد کمی عامل‌های متعامد و غیرهمبسته تبدیل می‌شوند. با این تفاوت که در رویکرد ENFA، عامل‌های استخراج‌شده از نظر بوم‌شناختی معانی ویژه ای دارند. اولین عامل حاشیه‌گرایی (Marginality) است و بیان می‌دارد که حد بهینه گونه موردنظر در چه فاصله‌ای از حد میانگین رویشگاه مورد بررسی قرار دارد. دومین عامل، تخصص‌گرایی (Specialization) گونه است که به‌ترتیب از دومین عامل تا آخرین عامل اطلاعات موجود در آنها به‌تدریج کاهش می‌یابد. این عامل‌ها وسعت آشیان بوم‌شناختی گونه را نسبت به متغیرهای مستقل محیط‌زیستی نشان می‌دهند (Hirzel *et al*., 2002). این روش کاربرد وسیعی داشته و در زمینه‌های متعددی همچون ارزیابی رویشگاه و پیش‌بینی رویشگاه‌های گونه‌ها به‌کار رفته است.

Esfanjani و همکاران (2017) مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه گونه‌های گیاهی مراتع جنوب استان گلستان را با استفاده از روش تحلیل آشیان بوم‌شناختی در نرم‌افزار بایومپر (Biomapper) انجام دادند. آنها نشان دادند که مدل‌های تولید شده می‌تواند برای شناسایی مناطق مستعد به‌منظور انجام عملیات اصلاحی مورد استفاده قرار گیرد.

Zare Chahouki and Abasi (2016b) با استفاده از مدل تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی، رویشگاه آویشن کوهی را در مراتع طالقان میانی مدل‌سازی کردند و نشان

www.SID.ir

Archive of SID

دادند که گونه تخصصی بوده و دارای آشیان بوم‌شناختی به‌نسبت محدودی است و تمایل به زندگی در شرایط رویشگاهی خاص دارد. همچنین رویشگاه مطلوب گونه در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا و در دامنه‌های شمالی و شرقی قرار دارد.

Zare Chahouki and Abasi (2016a) با استفاده از مدل تحلیل عامل بوم‌شناختی رویشگاه *Stipa barbata* را در مراتع طالقان میانی مدل‌سازی کرده و نشان دادند که متغیرهای محیطی ارتفاع، جهت شمالی، هدایت الکتریکی و پتاسیم تأثیر منفی و متغیرهای عمق، آهک، ماده آلی و اسیدیته تأثیر مثبت داشتند و گونه به شرایط خاصی از متغیرهای محیطی تخصص پیدا کرده و دامنه خاصی از متغیرهای محیطی را تحمل می‌کند.

در مورد آردوج تاکنون پژوهشی با عنوان تعیین رویشگاه‌های بالقوه انجام نشده است و تنها چند مورد مانند ویژگی‌های رویشگاهی و جنگل‌شناسی گونه (Asri and Partonia, 2017)، نیاز رویشگاهی گونه (Ebrahimi Gajoti *et al*., 2015)، شناسایی مولکولی گونه در معرض تهدید گیاه آردوج در منطقه ارسباران بر اساس ژن 18SrDNA (Rheissi *et al*., 2012b) و ایجاد بانک DNA جمعیت‌های گونه در معرض خطر تهدید انقراض ارس منطقه حفاظت‌شده ارسباران (Rheissi *et al*., 2012a) بررسی شده است.

Asri and Partonia (2017) در پژوهشی در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران نتیجه گرفتند آردوج در محدوده ارتفاعی ۵۵۰ تا ۱۵۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. حضور گونه به جهت جغرافیایی بستگی ندارد ولی بیشترین تراکم در دامنه‌های شمالی و بیشترین ارتفاع درخت در دامنه‌های جنوبی بوده است و در محدوده شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد حضور دارد.

Ebrahimi Gajoti و همکاران (2015) در پژوهشی در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران نتیجه گرفتند که گونه *Juniperus foetidissima* در محدوده ارتفاعی ۶۱۰ تا ۱۴۱۰ متر از سطح دریا، شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد، تمامی دامنه‌های منطقه حضور دارد.

در سال‌های اخیر پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها یکی از اجزای مهم در برنامه‌ریزی حفاظت بوده است و طیف گسترده‌ای از فن‌های مدل‌سازی نیز بدین منظور گسترش یافته است؛ بنابراین مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها از ابعاد مختلفی دارای اهمیت است که از آنها می‌توان به یافتن مکان‌های جدید حضور گونه، برنامه‌های مدیریتی انتقال گونه‌ها به مکان‌های جدید، تعیین کاربری‌های اراضی و تعیین حدود قلمرو پراکنش گونه‌ها و کمک به گونه‌های در معرض خطر اشاره کرد (Blackburn, 2006).

جنگل‌های آردوج با وجود اهمیت بسیار از جنبه‌های مختلف محیط‌زیستی و ژنتیکی، روندی رو به انهدام دارند و این وضعیت به‌ویژه در مناطقی که تحت کنترل و مدیریت نیست، حادتر و بحرانی‌تر است، به‌طوری‌که به‌دلیل قطع بی‌رویه، چرای مفرط دام و بهره‌برداری غیراصولی روزبه‌روز از وسعت این جنگل‌ها کاسته می‌شود. از طرفی این گونه یکی از عناصر رلیک (بازمانده) و گونه نادر و ارزشمندی است که در ترکیب و تنوع عناصر رویشی جنگل‌های ارسباران می‌تواند جایگاه بسیار ویژه‌ای داشته باشد (Asri and Partonia, 2017).

برای فراهم آوردن اطلاعات و شناخت در مورد نیازهای رویشگاهی آردوج و مطابق با آن شناخت رویشگاه‌های دارای ویژگی‌های بالقوه استقرار این گونه در عملیات اصلاحی، مدل مطلوبیت رویشگاه گونه با استفاده از روش تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی تهیه شد تا نتایج حاصل از پژوهش در مناطق دارای شرایط بالقوه، به‌منظور بازسازی به‌کار گرفته شود. این گونه از نظر اقتصادی و دارویی دارای اهمیت زیادی بوده و تنها

www.SID.ir

Archive of SID

در شهرستان‌های کلیبر و خدآفرین پراکنش دارد و با توجه به عدم پهنه‌بندی رویشگاه‌های بالقوه آن، تعیین رویشگاه‌های مطلوب ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران برای آردوج و متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت رویشگاه و پهنه‌بندی آن هدف این پژوهش بوده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

منطقه حفاظت‌شده ارسباران با مساحت ۸۵۷۹٤ هکتار در شهرستان‌های کلیبر و خدآفرین و در شمال استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این ناحیه در محدوده جغرافیایی ″٤٨′٣٩°٤٦ تا ″٠١′٠٣°٤٧ طول شرقی و ″٢٨′٤٣°٣٨ تا ″٠٢′٠٨°٣٩ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد بررسی، در سال ۱۳۵۲ به‌عنوان منطقه حفاظت‌شده ارسباران و از سال ۱۳۵۵ به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره تحت مدیریت قرار گرفته است. به‌علاوه قسمتی از منطقه با وسعت ۸۹۲٦ هکتار از سال ۱۳۹۱ به پارک ملی ارسباران ارتقا یافته است.

مرتفع‌ترین نقطهٔ منطقه، قله زینقانلو در جنوب غربی منطقه با ارتفاع ۲۸۹٦ متر و گودترین آن در شمال شرقی منطقه در خروجی رودخانه ارس با ارتفاع ۲۷۰ متر از سطح دریا قرار دارد.

برای تحلیل عوامل آب و هوایی به‌طور عمده از آمار ایستگاه‌های موجود در اطراف منطقه استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا ایستگاه‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفتند و سپس با توجه به طول دوره آماری (۲۰۱٤-۱۹۷۵ میلادی)، ایستگاه‌های مناسب انتخاب و آمار آنها استخراج شد و اقدام به تطویل و تکمیل نواقص آماری در دوره آماری منتخب شد و از روش‌های جرم مضاعف و ران تست اقدام به بررسی همگنی آمار شد (Alizadeh, 2013). با بررسی ایستگاه‌های هواشناسی منتخب، به بررسی شاخص‌های مختلف هواشناسی پرداخته و با تحلیل آنها در یک دورهٔ آماری مناسب و تعیین مقادیر نرمال، اقلیم منطقه تعیین شد (Mahdavi, 1995). میانگین سالانه بارندگی منطقه، از ۲۵۰ میلی‌متر در خروجی حوزه تا ٦۳۰ میلی‌متر در ارتفاعات کلن و دغرون، میانگین سالانه دما از ۲ °C تا ۱۷ °C و نوع اقلیم آن بر اساس ضریب خشکی دمارتن از نیمه‌خشک تا خیلی مرطوب تعیین شد (Fathzadeh, 2014). مهم‌ترین گونه‌های درختی و درختچه‌ای منطقه بلوط، ممرز، کرب، بنه، گیلاس‌وحشی، آردوج، انار، زغال‌اخته، ال، سرخدار، سماق، کیکم، سیب‌وحشی، گوجه‌وحشی، ازگیل، گلابی‌وحشی و گردو هستند (Alijanpour, 2016; Sarhangzadeh, 1996; Javanshir, 1991).

روش پژوهش

اساس تجزیه‌وتحلیل به‌کار برده شده در این پژوهش را روش تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی تشکیل می‌دهد. در این بررسی از نرم‌افزار بایومپر (Hirzel *et al*., 2004) برای تعیین مدل مطلوبیت رویشگاه و از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.5 و Idrisi برای ساخت لایه‌های اطلاعاتی و ورود آنها به نرم‌افزار بایومپر استفاده شد. اساس کار مدل، مقایسه ویژگی‌های محیط‌زیستی نقاط حضور گونه با ویژگی‌های محیط‌زیستی منطقه است.

لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز برای اجرای مدل در نرم‌افزار بایومپر را می‌توان به دو دسته لایه‌های اطلاعاتی شامل نقشه کار (Work map) و نقشه‌های اکوجغرافیایی (Ecogeographical maps) طبقه‌بندی کرد. این لایه‌ها در آغاز در نرم‌افزارهای ArcGIS و Idrisi تهیه و تنظیم و سپس به نرم‌افزار بایومپر وارد شدند. نقشه کار شامل نقشه نقاط حضور آردوج در سطح منطقه است. نقشه‌های اکوجغرافیایی شامل اطلاعات متغیرهای مستقل زیستگاهی هستند که حضور و یا عدم حضور

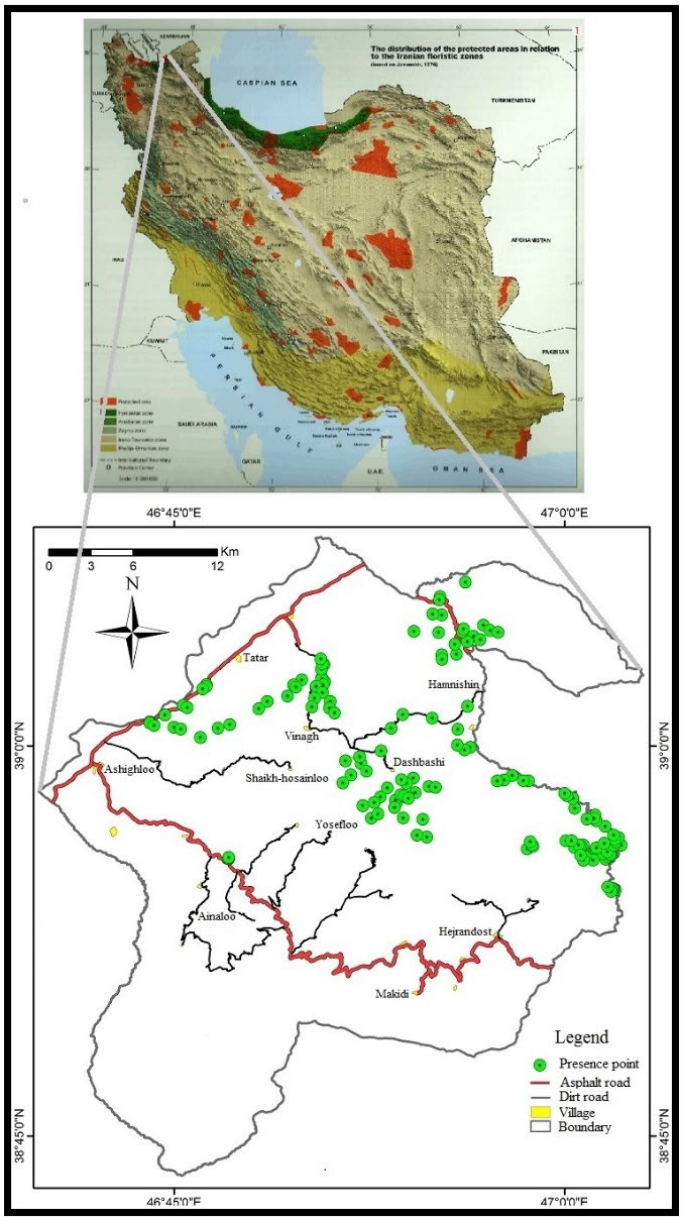
www.SID.ir

Archive of SID

آردوج به آنها بستگی دارد. مثل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت جغرافیایی، اقلیم و زمین‌شناسی.

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری نقاط حضور گونه آردوج، با بازدیدهای میدانی به‌همراه کارشناسان محیط‌زیست شهرستان کلیبر در قسمت‌های مختلف منطقه در بهار و تابستان ۱۳۹۶ به‌صورت تصادفی انجام و سعی شد مناطق مختلف حضور گونه مورد بازدید قرار گیرد (شکل ۱). در مسیرهای بازدید با مشاهده گونه، مختصات جغرافیایی نقطه با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، به‌عنوان نقطه حضور ثبت می‌شد و از ثبت نقاط حضور با فاصله نزدیک با ویژگی‌های مشابه خودداری می‌شد. در مجموع ۱۵۷ نقطه حضور در طول تحقیق ثبت و در مدل‌سازی از آنها استفاده شد (شکل ۱).



شکل ۱ – پراکنش نقاط حضور آردوج در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران

Figure 1. Distribution of recorded Juniper presence points in Arasbaran Biosphere Reserve

www.SID.ir

Archive of SID

متغیرهای محیط‌زیستی

برای شناسایی متغیرهای محیط‌زیستی تأثیرگذار بر انتخاب زیستگاه گونه با مرور تحقیقات انجام شده بر روی زیست‌شناسی گونه با رویشگاه (Asri and Sarhangzadeh *et al*., 2017، Partonia, 2017، Ebrahimi Gajoti *et al*., 2015، Maghsoudlou Nezhad *et al*., 2013، Ali Ahmad Koruri *et al*., 2011، Shirzad and Tabari, 2011، Ali Ahmad Korori and Khoshnevis, 2000، Gardner and Fisher, 1996). مجموعه عواملی که در تأمین نیازهای رویشگاهی گونه تأثیرگذار هستند، تعیین شدند. متغیرهای مستقل محیط‌زیستی که در این پژوهش انتخاب و مورد پژوهش قرار گرفتند، شامل درصد شیب و طبقات آن (۲۵-۱۰، ۴۰-۲۵، ۶۰-۴۰ و بیش از ۶۰ درصد)، طبقات جهت جغرافیایی (مناطق بدون جهت، شمال، شرق، جنوب و غرب)، ارتفاع از سطح دریا و طبقات آن (۶۰۰-۲۰۰، ۹۰۰-۶۰۰، ۱۲۰۰-۹۰۰، ۱۶۰۰-۱۲۰۰ و ۳۰۰۰-۱۶۰۰ متر از سطح دریا)، واحدهای خاک، طبقه‌بندی اقلیم و سازندهای زمین‌شناسی هستند. شایان ذکر است در کل تعداد ۳۹ فقره نقشه به‌عنوان متغیرهای مستقل رویشگاهی در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه طبقات درصد شیب، طبقات ارتفاع و دامنهٔ جغرافیایی با استفاده از نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی و نقشه رقومی ارتفاع منطقه تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی تمام متغیرها پس از رقومی‌سازی با اندازه سلول ۳۰×۳۰ متر به نقشه‌های رستری تبدیل شدند. تمامی متغیرها (مانند طبقات دامنه، طبقه‌بندی اقلیمی) به متغیرهای فاصله‌ای تبدیل و کمی شدند.

بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها

روش تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی تا حدودی به عادی بودن داده‌های اولیه حساسیت دارد و رعایت نشدن این اصل سبب انحراف از محاسبات درست و تولید خروجی‌های بی‌اعتبار خواهد شد؛ بنابراین تمامی لایه‌ها توسط تبدیل باکس-کاکس (Box-Cox) نرمال شدند تا در نرم‌افزار قابل استفاده باشند (Hirzel *et al*., 2004) (رابطه ۱).

$$T(X)=\frac{(X^{Y}-1)}{Y}$$ رابطه (۱)

در این رابطه X متغیر اصلی، T(X) مقادیر تبدیل یافته و Y ضریب همبستگی بین داده‌ها است.

بررسی همبستگی داده‌ها

با اطمینان از نرمال بودن متغیرها، در مرحله بعد همبستگی متغیرهای محیط‌زیستی بررسی شد. محاسبات در آنالیز ENFA بر پایهٔ عواملی است که بین آنها همبستگی وجود ندارد. استفاده از لایه‌های هم‌بسته می‌تواند در یک آزمون سبب افزایش مصنوعی ضریب همبستگی شود. این همبستگی در غالب ماتریس همبستگی (Correlation matrix) در نرم‌افزار بایومپر بررسی می‌شود. در این مرحله از بین دو یا چند متغیری که دارای همبستگی بیش از ۸۵ درصد بودند یکی از آنها با نظر کارشناسی از فهرست متغیرهای وارد شونده حذف شد (Hirzel *et al*., 2004).

اجرای تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی

با انجام تحلیل توسط نرم‌افزار چندین خروجی به‌دست می‌آید: اولین عامل خروجی در این روش عامل حاشیه گرایی (M) نام دارد که مطابق رابطه ۲ عبارت است از قدر مطلق تفاوت بین میانگین یک متغیر در کل منطقه (m_G) و میانگین توزیع گونه در آن متغیر (m_S) بر انحراف معیار هر متغیر در کل منطقه (S_G). مقادیر مثبت M نشان‌دهنده این است که گونه، مقادیری بیشتر از میانگین رویشگاه را در مورد آن متغیر ترجیح می‌دهد.

$$M=\frac{|m_s-m_G|}{1.96\,S_G}$$ رابطه (۲)

www.SID.ir

Archive of SID

دومین عامل خروجی تخصص‌گرایی (S) نام دارد که با تقسیم انحراف معیار توزیع کل (σ_G) بر انحراف معیار سلول‌های مشاهده گونه (σ_S) به‌دست می‌آید (رابطه ۳) و نشان‌دهنده این است که تا چه مقدار گونه در استفاده از منابع منطقه، به‌صورت تخصصی عمل می‌کند (Hirzel, 2001).

رابطه (۳) $$S = \frac{\sigma_G}{\sigma_S}$$

عامل تخصص‌گرایی بین صفر و بی‌نهایت تغییر می‌کند اما مقدار عکس آن (T) بین صفر و یک تغییر می‌کند که هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده تحمل کم گونه نسبت به تغییر شرایط رویشگاه است (رابطه ٤).

رابطه (٤) $$\mathrm{T} = \frac{1}{\mathrm{S}}$$

سومین عامل خروجی ماتریس امتیازها است و نشان‌دهنده نقش هر یک از متغیرهای محیط‌زیستی در مطلوبیت رویشگاه گونه است.

انتخاب تعداد عامل مورد استفاده

تعداد کمی از عامل‌ها می‌توانند بخش زیادی از حاشیه گرایی و تخصص‌گرایی گونه را توضیح دهند. انتخاب تعداد کمتری از عامل‌ها انجام محاسبات را راحت‌تر و تفسیر نتایج به‌دست‌آمده را آسان‌تر می‌کند. برای انتخاب تعداد عامل مناسب و استفاده از آنها در محاسبه نقشه رویشگاه از مدل عصای شکسته (Broken Stick Model) استفاده شد (Hirzel *et al*., 2002). بر اساس روش عصای شکسته چهار عامل از ۳۹ عامل محاسبه‌شده برای تهیه نقشه مطلوبیت رویشگاه انتخاب شد.

ارزیابی و تأیید اعتبار مدل مطلوبیت رویشگاه

با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده، نقشه مطلوبیت رویشگاه محاسبه شد. برای محاسبه مطلوبیت رویشگاه بایستی الگوریتم مناسب را انتخاب کرد. در نرم‌افزار بایومپر سه الگوریتم میانه (Median Algorithm)، میانگین هندسی (Geometric Distance Mean) و میانگین هارمونیک (Harmonic Distance Mean) برای محاسبه مطلوبیت ارائه شده است (Hirzel and Arletaz, 2003؛ Hirzel *et al*., 2004؛ Hirzel *et al*., 2002).

الگوریتم میانه، سریع و در بیشتر موارد صحیح بوده و قدرت تعمیم خوبی دارد. توزیع گونه در هر عامل باید تک‌جمله‌ای بوده و قرینه باشد.

میانگین هندسی فاصله، کند، قدرت خوب تعمیم دادن، هیچ‌گونه پیش‌فرضی در زمینه توزیع گونه ندارد.

میانگین هارمونیک فاصله، کند، قدرت تعمیم دادن متوسط، هیچ فرضی در زمینه توزیع گونه‌ها ندارد. به هر مشاهده وزن یکسانی داده و بنابراین هنگامی‌که اندازه نمونه خیلی کوچک است نتیجه بهتری ارائه می‌دهد و هر مشاهده اطلاعات مرتبطی به مدل ارائه می‌دهند.

در این پژوهش اعتبار پیش‌بینی مدل با استفاده از هر یک از الگوریتم‌ها بررسی و بهترین الگوریتم بر اساس مقادیر محاسبه شده انتخاب شد (جدول ۲).

ارزیابی اعتبار مدل

برای ارزیابی صحت پیش‌بینی‌های مدل تهیه‌شده فرآیند اعتبارسنجی متقابل (Cross-Validation) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این فرآیند بررسی اعتبار حدود اطمینان صحت پیش‌بینی مدل مطلوبیت رویشگاه توسط نرم‌افزار بایومپر محاسبه می‌شود. K-۱ مجموعه برای محاسبه مدل استفاده شده و بخش کنار گذاشته برای تأیید اعتبار آن استفاده می‌شود. این فرآیند K بار تکرار شده و در هر بار یک مجموعه کنار گذاشته می‌شود. این فرآیند منجر به K نقشه مطلوبیت رویشگاه متفاوت می‌شود. با استفاده از این نقشه‌ها و بررسی نوسانات آنها نمایه پیوسته بویس (Continuous Boyce Index) در نرم‌افزار بایومپر محاسبه و نمودار فراوانی تنظیم شده بر اساس سطح (Area Adjusted Frequency (AAF)

www.SID.ir

Archive of SID

ترسیم می‌شود (Hirzel *et al*., 2006). با تفسیر نمودار فراوانی تنظیم‌شده بر اساس سطح می‌توان مقدار صحت پیش‌بینی‌های مدل را بررسی کرد (شکل ۲).

نمایه بویس عبارت است از همبستگی بین نسبت نقاط تأیید اعتبار (نقاط حضور گونه که به‌منظور بررسی اعتبار مدل به‌کار گرفته شده‌اند) قرار گرفته در هر طبقه مطلوبیت زیستگاه (Fi) و شماره آن طبقه (Fi.(i با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$Fi = Pi / Ei$$ رابطه (۵)

در رابطه فوق Pi عبارت است از بخشی از نقاط تأیید اعتبار که در طبقه مطلوبیت رویشگاه i قرار می‌گیرند. مقدار Ei برابر است با سطحی از منطقه که توسط طبقه مطلوبیت i پوشانده می‌شود. انتظار بر این است که با افزایش مطلوبیت رویشگاه سهم بیشتری از نقاط حضور در آن طبقه از مطلوبیت رویشگاه قرار گرفته و وسعت طبقه نیز کاهش یابد. در نتیجه در مدلی که از اعتبار مناسبی برخوردار باشد با افزایش مطلوبیت رویشگاه مقدار Fi افزایش می‌یابد و همبستگی بین نسبت محاسبه شده و شماره طبقه مثبت است.

مقدار نمایه بویس از ۱ تا ۱- تغییر می‌کند. مقادیر مثبت نمایه نشان‌دهنده آن است که پیش‌بینی‌های مدل همسو با توزیع داده‌های حضور است. مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده آن است که پیش‌بینی‌های مدل متفاوت از یک مدل تصادفی نیست. مقادیر منفی نیز نشان‌دهنده مدل نامناسب است (Hirzel *et al*., 2006).

با تفسیر نمودار فراوانی تنظیم شده بر اساس سطح می‌توان آستانه مطلوبیت رویشگاه را تعیین و رویشگاه را به طبقات مطلوب و نامطلوب تقسیم کرد (Hirzel *et al*., 2006). در این پژوهش الگوریتمی که بالاترین نمایه پیوسته بویس را به‌خود اختصاص می‌داد، انتخاب شد. برای تعیین مقدار دقت نقشه رویشگاه بالقوه آردوج و تطبیق آن با واقعیت زمینی از آماره کاپا در نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد. ضریب کاپا بیانگر مقدار توافق مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده است و مقدار آن از صفر تا یک تغییر می‌کند. هرچه مقدار کاپا به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهندهٔ توافق بهتر مدل با دنیای واقعی است.

با استفاده از الگوریتم انتخاب شده، نقشه کمی مطلوبیت رویشگاه محاسبه و ترسیم شد. سپس با استفاده از نمودار فراوانی تنظیم شده بر اساس سطح، ابتدا نقشه مطلوبیت رویشگاه به دو طبقه مطلوب و نامطلوب و سپس محدوده رویشگاه‌های مطلوب خود به سه طبقه با مطلوبیت (کم، متوسط و زیاد) تقسیم‌بندی شد.

نتایج

مقدار تخصص‌گرایی آردوج (۱۲/۱۹۶) نشان‌دهندهٔ تخصصی بودن گونه در استفاده از منابع رویشگاهی است. ماتریس امتیازات تولید شده در جدول ۱ نشان‌دهنده سهم هر یک از متغیرها در مطلوبیت رویشگاه گونه است. در جدول ۱ عامل اول علاوه بر تخصص‌گرایی، ۱۰۰ درصد حاشیه‌گرایی را نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه عامل اول علاوه بر ۱۰۰ درصد حاشیه‌گرایی ۵۵/۹۵ درصد تخصص‌گرایی، عامل دوم ۲۳/٤٦ درصد تخصص‌گرایی، عامل سوم ۱۲/۹۹ درصد و عامل چهارم ٤/۳۳ درصد ویژگی تخصص‌گرایی آردوج را توضیح می‌دهند. این چهار عامل در مجموع ۹٦/۷۳ درصد مقدار تخصص‌گرایی گونه را تعیین می‌کنند. ضرایب محاسبه شده نشان‌دهنده مقدار نقش هر متغیر محیط‌زیستی در حاشیه‌گرایی گونه است. به‌عنوان نمونه ضریب ۰/۱۷۳- محاسبه شده برای متغیر ارتفاع از سطح دریا در جدول ۱ نشان‌دهنده آن است که آردوج تمایل به مناطقی دارد که ارتفاعی کمتر از میانگین منطقه (۱٤۳۰ متر از سطح دریا) دارد. ضریب

www.SID.ir

Archive of SID

۰/۲۳۷ فاصله تا مناطق با ارتفاع ۳۰۰۰–۱۶۰۰ متر از سطح دریا نشان‌دهندهٔ تمایل رویش آردوج در مناطق دور از این نواحی است و ضریب ۰/۰۱٤– فاصله تا مناطق با ارتفاع ۱۶۰۰–۱۲۰۰ متر از سطح دریا نشان‌دهندهٔ تمایل گونه به حضور در این نواحی و یا نزدیک به این مناطق بوده و حضور این متغیر در رویشگاه مطلوبیت آن را افزایش می‌دهد. برای دیگر متغیرها به‌عنوان نمونه ضریب ۰/۰۸۲– فاصله تا مناطق با شیب ۲۵–۱۰ درصد نشان‌دهندهٔ تمایل گونه به رویش در مناطق با شیب ۲۵–۱۰ درصد منطقه است.

مطابق ماتریس امتیازات و ضرایب محاسبه شده آردوج مناطق با ارتفاع کمتر از میانگین منطقه را ترجیح می‌دهد. همچنین کاهش مقدار درصد شیب بر مطلوبیت رویشگاه آن می‌افزاید. آردوج در تمامی دامنه‌های منطقه حضور دارد.

بر اساس شاخص پیوسته بویس میانگین هارمونیک به‌علت مقدار نزدیک به یک و حدود اعتماد کم (۰/۸٦٤±۰/۰۹۷) از قدرت پیش‌بینی بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها برخوردار است (جدول ۲). علاوه بر این منحنی نرخ F (نرخ پیش‌بینی شده به نرخ مورد انتظار در محور عمودی) به مطلوبیت رویشگاه (محور افقی) نشان می‌دهد که این مدل از قدرت پیش‌بینی بسیار بالایی برخوردار است. در نتیجه، نقشهٔ مطلوبیت رویشگاه آردوج با استفاده از الگوریتم میانگین هارمونیک محاسبه شد. همچنین مقدار تطابق نقشه تهیه شده با واقعیت زمینی در رویشگاه آردوج بر اساس ضریب کاپا ۸٤/۷ محاسبه شد.

جدول ۱ – ماتریس امتیازات برای ۳۰ متغیر در مدل مطلوبیت آشیان بوم‌شناختی آردوج

Table 2. Score matrix for thirty variables in habitat suitability model for Juniper

نام متغیر Habitat variable	عامل حاشیه‌گرایی Marginality Factor 55.5%	تخصص‌گرایی Specialization		
		عامل اول Factor1 (23.46%)	عامل دوم Factor2 (12.99%)	عامل سوم Factor3 (4.33%)
فاصله تا دامنه شمالی Distance to northern hillside	-0.063	0.004	-0.001	-0.007
فاصله تا دامنه شرقی Distance to eastern hillside	-0.215	0.008	-0.003	-0.002
فاصله تا دامنه جنوبی Distance to southern hillside	-0.068	0.005	- 0.003	0.001
فاصله تا دامنه غربی Distance to wetern hillside	-0.184	0.007	-0.005	-0.002
فاصله تا مناطق کم شیب Distance to flat areas	0.121	0.002	- 0.003	- 0.005
فاصله تا مناطق با اقلیم نیمه‌خشک Distance to smi-arid climate areas	-0.211	0.021	-0.045	0.016

www.SID.ir

Archive of SID

ادامهٔ جدول ۱.

Continued table 1.

نام متغیر Habitat variable	عامل حاشیه‌گرایی Marginality Factor 55.5%	تخصص‌گرایی Specialization		
		عامل اول Factor1 (23.46%)	عامل دوم Factor2 (12.99%)	عامل سوم Factor3 (4.33%)
فاصله تا مناطق با اقلیم مدیترانه‌ای Distance to mediterranean climate areas	-0.108	0.017	-0.046	0.005
فاصله تا مناطق با اقلیم نیمه‌مرطوب Distance to semi-humid climate areas	0.164	0.060	-0.073	0.052
فاصله تا مناطق با اقلیم مرطوب Distance to humid climate areas	0.234	0.175	0.102	-0.181
فاصله تا مناطق با اقلیم خیلی مرطوب Distance to very humid climate areas	0.217	- 0.092	0.513	0.860
ارتفاع از سطح دریا Elevation	- 0.173	0.012	- 0.082	0.005
فاصله تا مناطق با ارتفاع ۶۰۰–۲۰۰ متر از سطح دریا Distance to areas with elevations 200 - 600 m above sea level	-0.075	0.001	0.057	0.035
فاصله تا مناطق با ارتفاع ۹۰۰–۶۰۰ متر از سطح دریا Distance to areas with elevations 600 - 900 m above sea level	-0.258	0.015	-0.011	-0.004
فاصله تا مناطق با ارتفاع ۱۲۰۰–۹۰۰ متر از سطح دریا Distance to areas with elevations 900 - 1200 m above sea level	-0.251	-0.005	-0.015	0.017
فاصله تا مناطق با ارتفاع ۱۶۰۰–۱۲۰۰ متر از سطح دریا Distance to areas with elevations 1200 - 1600 m above sea level	-0.014	-0.009	-0.049	0.017
فاصله تا مناطق با ارتفاع ۳۰۰۰–۱۶۰۰ متر از سطح دریا Distance to areas with elevations 1600 - 3000 m above sea level	0.237	-0.086	0.122	- 0.225
فاصله تا مناطق با سازند کنگلومرا Distance to areas with conglomerate formation	- 0.203	- 0.032	0.015	-0.225
فاصله تا مناطق با سازند دیوریت Distance to areas with Diorite Formation	0.159	0.716	0.006	0.035
فاصله تا مناطق با سازند سنگ آهک ریفی و یا مارنی Distance to areas with Reefal and marly limestone formation	0.040	0.019	0.055	0.026
فاصله تا مناطق با سازند آهک و ماسه‌سنگ Distance to areas with limestone and sandstone formation	0.219	0.005	-0.019	-0.016
فاصله تا مناطق با سازند مارن، ماسه‌سنگ، آهک Distance to Marl, sandstone, limestone formation	-0.132	0.001	-0.003	-0.160
فاصله تا مناطق با سازند گدازه جریانی با ترکیب اسیدی (ریوداسیت) Distance to areas with Acid lava flow (Rhyodacite) formation	-0.049	0.016	-0.031	0.022

www.SID.ir

Archive of SID

ادامهٔ جدول ۱.

Continued table 1.

تخصص‌گرایی Specialization			عامل حاشیه‌گرایی Marginality Factor 55.5%	نام متغیر Habitat variable
عامل سوم Factor3 (4.33%)	عامل دوم Factor2 (12.99%)	عامل اول Factor1 (23.46%)		
0.108	0.032	-0.051	0.108	فاصله تا مناطق با سازند سنگ‌های آتشفشانی رسوبی Distance to areas with volcano- sedimentary rocks formation
0.022	- 0.018	- 0.003	0.022	فاصله تا مناطق با سازند کواترنری Distance to areas with Quaternary Formations
0.013	0.059	0.032	-0.181	فاصله تا واحد اراضی کوه‌های به‌نسبت مرتفع با سنگ‌های کم عمق تا نیمه‌عمیق با بیرون‌زدگی سنگی آهکی و خاک کم Distance to land unit of relatively high mountains with limestone and shallow to relatively deep siol with a outcrop
- 0.049	0.028	-0.020	0.214	فاصله تا واحد اراضی کوه‌های کم ارتفاع و بریده‌بریده و دارای تشکیلات مارنی با خاک کم‌عمق تا نیمه‌عمیق سنگریزه دار با بافت متوسط تا سنگین Distance to land unit of badland marl formation low mountains with gravely, shallow to relatively deep soil and medium to heavy texture
-0.116	-0.791	-0.230	0.259	فاصله تا واحد اراضی کوه‌های مرتفع با سنگ‌های آهکی و آتشفشانی، خاک کم‌عمق تا نیمه‌عمیق با بافت متوسط تا سنگین Distance to land unit of limestone & volcanous high mountains with, shallow to relatively deep soil, medium to heavy texture
-0.249	0.177	-0.605	-0.039	فاصله تا واحد اراضی کوه‌های به‌نسبت مرتفع با قلل مدور متشکل از سنگ‌های آتشفشانی و توف با خاک بسیار کم‌عمق تا کم‌عمق Distance to land unit of relatively high mountains with round summit,volcanous rocks and tuffs, thin and very thin soil cover
0.027	-0.028	0.043	0.046	فاصله تا واحد اراضی کوه‌های مرتفع با تشکیلات آتشفشانی و دگرگونی با خاک بسیارکم‌عمق تا نیمه‌عمیق با بافت سنگین Distance to land unit of high mountains with volcanous and metamorphous rocks,very shallow to Relatively deep soil, heavy texture
0.005	0.017	0.001	-0.361	فاصله تا واحد اراضی تپه‌های مرتفع با قلل تیز و سنگ‌های سخت آهکی با خاک بسیار کم‌عمق تا کم‌عمق Distance to land unit of high hills With runcinate summit, limestone, thin and very thin soil cover

www.SID.ir

Archive of SID

ادامهٔ جدول ۱.

Continued table 1.

نام متغیر Habitat variable	عامل حاشیه‌گرایی Marginality Factor 55.5%	تخصص‌گرایی Specialization		
		عامل اول Factor1 (23.46%)	عامل دوم Factor2 (12.99%)	عامل سوم Factor3 (4.33%)
فاصله تا واحد اراضی تپه‌های کم ارتفاع با مارن‌های گچی و آهکی و نمکی، خاک کم‌عمق تا نیمه‌عمیق با بافت متوسط تا سنگین Distance to land unit of low hills with gypsic, calcareous and salty marland, shallow to relatively deep soil with medium to heavy texture	0.149	- 0.005	0.062	-0.037
فاصله تا واحد اراضی تپه‌های به‌نسبت مرتفع با ماسه سنگ و کنگلومرای، خاک کم‌عمق تا نیمه‌عمیق با بافت سبک تا سنگین Distance to land unit of relatively high hills sandstone & conglomerate, shallow to relatively deep siol, light to heavy texture	-0.123	0.011	-0.100	0.008
فاصله تا واحد اراضی تپه‌های به‌نسبت مرتفع با قلل مسطح با مواد آبرفتی، خاک نیمه‌عمیق تا عمیق با بافت سبک تا سنگین Distance to land unit of relatively high hills with flat summit with alluvial, relatively deep soil to deep soil, light to heavy texture	0.067	-0.039	0.016	- 0.082
فاصله تا اراضی حاشیه رودخانه با خاک کم‌عمق تا نیمه‌عمیق با بافت سنگین Distance to the margin of the river, shallow to relatively deep soil, heavy texture	0.031	-0.082	0.083	-0.096
درصد شیب Slope	-0.026	0.001	0.001	0.002
فاصله تا مناطق با شیب ۲۵-۱۰ درصد Distance to areas with a slope of 10-25%	-0.082	-0.008	0.004	0.001
فاصله تا مناطق با شیب ٤٠-۲۵ درصد Distance to areas with a slope of 25-40%	-0.099	-0.005	0.005	0.003
فاصله تا مناطق با شیب ٦٠-٤٠ درصد Distance to areas with a slope of 40-60%	- 0.024	-0.005	0.006	-0.001
فاصله تا مناطق با شیب بیش از ٦٠ درصد Distance to areas with a slope of over 60%	-0.042	-0.001	0.007	- 0.005

با بررسی نمودار فراوانی تنظیم شده بر اساس سطح مبتنی بر الگوریتم میانگین هارمونیک (شکل ۲) و تعیین محدوده‌ای از مطلوبیت رویشگاه که در آن نسبت پیش‌بینی‌شده به مورد انتظار کمتر و یا برابر با یک است، آستانه مطلوبیت رویشگاه ۱۷ درصد تعیین شد. با استفاده از آستانه مطلوبیت به‌دست‌آمده نقشه مطلوبیت رویشگاه آردوج ابتدا در دو طبقه رویشگاه مطلوب و نامطلوب تعیین، سپس رویشگاه مطلوب خود بر اساس نمودار فراوانی در سه طبقه، تفکیک شد که در شکل ۳ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده،

www.SID.ir

Archive of SID

بیش از ۲۳۳۰۵ هکتار (۲۷/۱۷ درصد) از وسعت منطقه، رویشگاه مطلوب برای گونه تعیین‌شده است. به‌علاوه از وسعت رویشگاه‌های مطلوب، ٦١٦٧ هکتار در پارک ملی واقع شده است (جدول ۳).

جدول ۲ – نمایه پیوسته بویس محاسبه شده به ازای الگوریتم‌های مختلف تعیین مطلوبیت رویشگاه

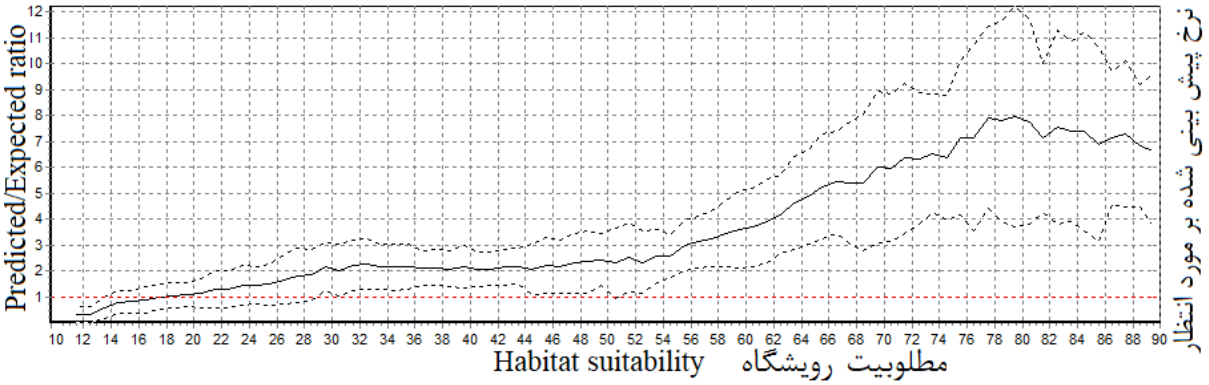
Table 2. Continuous boyce index for habitat suitability algorithms

انحراف معیار ± نمایه پیوسته بویس Boyce Index ± Standard deviation		
الگوریتم میانگین هارمونیک Harmonic mean algorithm	الگوریتم میانگین هندسی Geometric mean algorithm	الگوریتم میانه Median algorithm
0.864 ± 0.097	0.012 ± 0.733	0.209 ±0.553

جدول ۳ – مساحت رویشگاه‌های مطلوب آردوج با رویکرد تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی

Table 3. Area of juniper habitat suitability with Ecological Niche Factor Analysis approach

جمع Total	مطلوبیت Suitability						نامطلوب Unsuitability		کیفیت رویشگاه Habitat Quality
	زیاد High		متوسط Avrage		کم Low				
	درصد %	هکتار ha	درصد %	هکتار ha	درصد %	هکتار ha	درصد %	هکتار ha	مساحت Area
85794	8.35	7162	12.54	10755	6.28	5387	72.83	62490	ذخیره‌گاه Biosphere
8926	23.99	2141	34.14	3048	10.96	978	30.91	2759	پارک Park

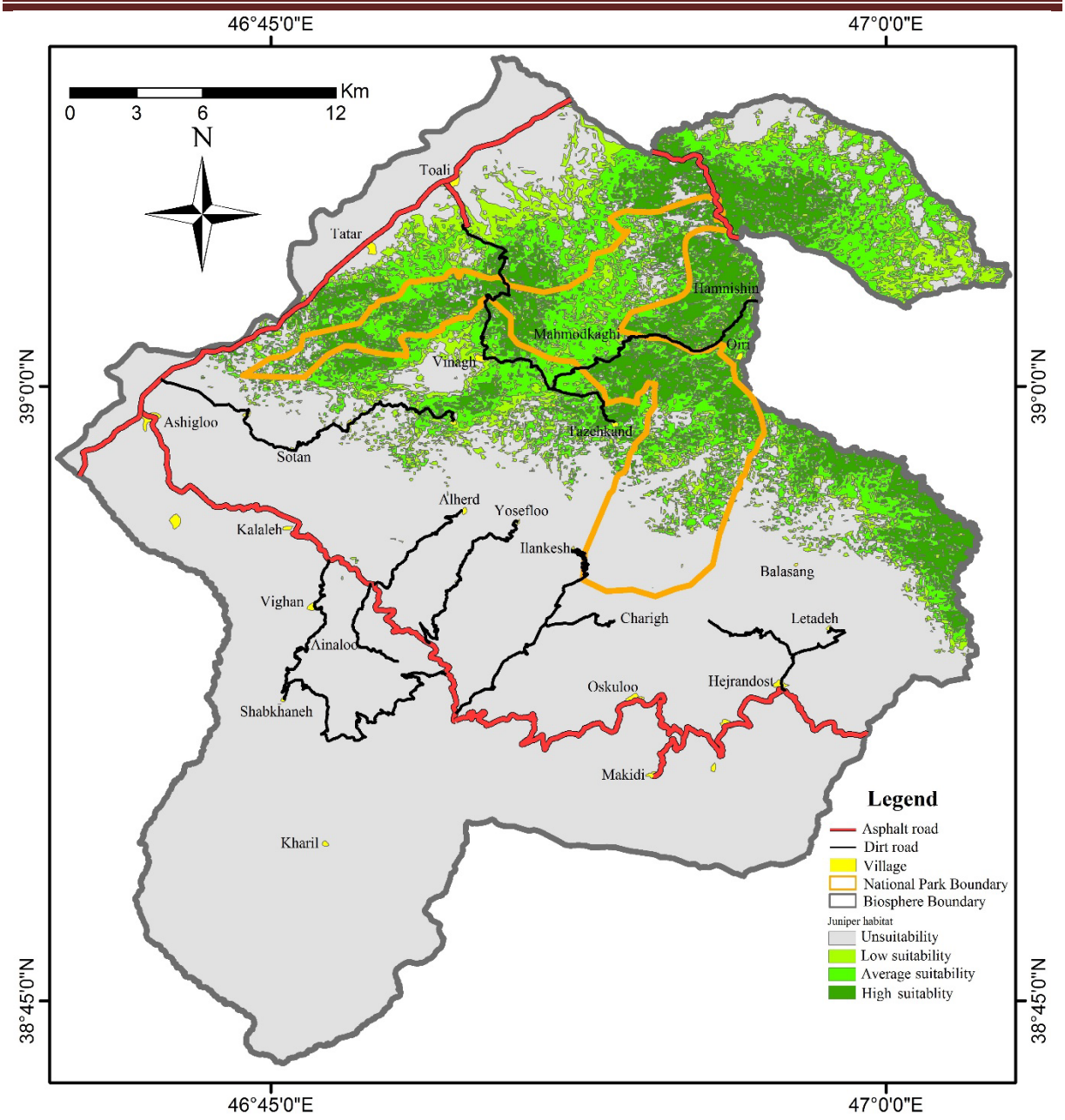


شکل ۲– نمودار فراوانی تنظیم شده بر اساس سطح مبتنی بر الگوریتم میانگین هارمونیک

Figure 2. (P.E) curve for Harmonic mean algorithm for habitat suitability modeling

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ – نقشه پراکنش رویشگاه‌های مطلوب و نامطلوب آردوج در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران

Figure 3. Classified habitat suitability map for Juniper in Arasbaran Biosphere Reserve

بحث

این پژوهش نشان داد که حدود یک‌سوم وسعت منطقه (۲۷/۱ درصد) به‌عنوان رویشگاه مطلوب برای آردوج است که در نیمه‌شرقی و شمال شرقی منطقه واقع شده است (شکل ۳). شکل زمین، اقلیم، سازندهای زمین‌شناسی و تیپ‌های واحدهای اراضی خاک از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده پراکنش گونه در منطقه بوده (جدول ۱) که محدود بودن پراکنش آردوج در بخش شرقی را توجیه می‌کنند. بیش از ۲۶/۵ درصد رویشگاه‌های مطلوب در داخل پارک ملی واقع شده است و بیش از ۶۸ درصد وسعت پارک ملی رویشگاه مطلوبی برای آردوج بر اساس مدل طراحی‌شده است؛ بنابراین حفظ این بخش از منطقه به‌عنوان پارک ملی علاوه بر حفظ این گونه، گونه‌های مهم دیگر نیز

www.SID.ir

Archive of SID

حفاظت‌شده و به‌عنوان یک ذخیره‌گاه ژنی قوی در کشور باقی خواهد ماند (Sarhangzadeh *et al*., 2017).

نتایج نشان داد، آردوج نسبت به تغییر شرایط منابع رویشگاهی خود حساس بوده و در نتیجه دست‌کاری در رویشگاه آن، در بقا گونه تأثیرگذار است؛ بنابراین انتظار می‌رود آردوج را از عوامل تخریبی محافظت کرد. در ارسباران، در محدوده رویشگاه‌های مطلوب آردوج، ۲۶ روستای با سکنه وجود دارند. وابستگی مستقیم و غیرمستقیم مردم این روستاها به این رویشگاه‌ها عامل محدودکننده محسوب شده، بنابراین با آموزش و فرهنگ‌سازی از تخریب رویشگاه‌های این گونه مهم و دیرزیست جلوگیری شود.

کاهش ارتفاع از سطح دریا مطلوبیت رویشگاه را افزایش داده و به‌همین علت تراکم حضور گونه در ارتفاعات پایین بیشتر است. با توجه به مدل طراحی شده رویشگاه‌های مطلوب آردوج در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران در محدودهٔ ارتفاعی ۳۳۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. در واقع مناسب‌بودن رویشگاه برای گونه بستگی به فراهم بودن مجموعه شرایط دارد و تنها یک متغیر مطلوبیت رویشگاه را مشخص نمی‌کند. این دستاورد با نتایج Ebrahimi Gajoti و همکاران (2015) و Asri and Partonia (2017) در مورد آردوج که استقرار آن با ارتفاع همبستگی دارد مشابه است. در این پژوهش این همبستگی منفی بوده و با کاهش ارتفاع از سطح دریا کیفیت رویشگاه بهتر می‌شود. حضور رویشگاه‌های آردوج در ارتفاعات پایین در ارتباط با اقلیم‌های نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای است. این نوع اقلیم‌ها در ارسباران در محدودهٔ ارتفاعی ۳۳۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است و با توجه به جدول ۱ اهمیت اقلیم نیمه‌خشک بیشتر از اقلیم مدیترانه‌ای است؛ بنابراین ارتفاعات پایین مطلوبیت رویشگاهی بیشتری برای آردوج دارد و این مهم در بازدیدهای میدانی نیز به‌وضوح دیده می‌شد. لازم به‌ذکر است مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه بالقوه آردوج و پهنه‌بندی آن تاکنون انجام نشده و نتایج پژوهش‌های اندک نیز در مورد گونه در وضع موجود (به‌صورت محلی) بیان شده است.

شیب یکی از عوامل تأثیرگذار و محدودکننده رویش درختان جنگلی است. با افزایش شیب در مناطق کوهستانی، عمق خاک کاهش می‌یابد و همین عامل سبب می‌شود که شیب از عوامل تعیین‌کننده و تأثیرگذار در پراکنش گونه‌های درختی به‌شمار آید (Daghestani *et al*., 2017). مطابق مدل طراحی شده، آردوج تمایل به مناطقی دارد که شیب کمتر از میانگین منطقه (۳۵ درصد) دارد و همبستگی رویشگاه گونه با شیب منفی است بااینکه آردوج در تمامی طبقات درصد شیب تمایل به حضور دارد، ولی با فراهم شدن دیگر متغیرها در مناطق با شیب متوسط بیشتر استقرار پیدا می‌کند (جدول ۲) که بازدید میدانی از نواحی مختلف منطقه این مهم را نشان می‌داد. شیب طبقه ۰ تا ۱۰ درصد برای استقرار آردوج نامناسب است. این دستاورد مشابه با نتایج Ebrahimi Gajoti و همکاران (2015) و Asri and Partonia (2017) (که استقرار آردوج با مقدار شیب همبستگی دارد) است.

نتایج این پژوهش نشان داد که آردوج در تمامی دامنه‌های منطقه توان رویش داشته و بیشتر تمایل به حضور در مناطق نزدیک به دامنه‌های شرقی و غربی دارد و از مناطق دشتی دوری می‌کند. با توجه به اینکه در منطقه مورد پژوهش مناطق دشتی بیشتر به اراضی زراعی اختصاص دارد، بنابراین رویش آن در این مناطق توسط کشاورزان کنترل و حذف می‌شوند. نتایج این پژوهش با نتایج تحقیق Ebrahimi Gajoti و همکاران (2015) و Asri و Partonia (2017) هم‌خوانی دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین آردوج در مناطق با سازند زمین‌شناسی کنگلومرا؛ سازند مارن، ماسه‌سنگ، آهک مارنی و سازند گدازه جریانی با ترکیب اسیدی رویش دارد این همبستگی با توجه به نفوذپذیر بودن این سازندها توجیه‌پذیر است. به‌علاوه آردوج در واحدهای اراضی کوه‌های به‌نسبت مرتفع با قلل مدور متشکل از سنگ‌های آتش‌فشانی و توف با خاک بسیار کم‌عمق تا کم‌عمق و تپه‌های مرتفع و به‌نسبت مرتفع با سنگ‌های ماسه‌ای و کنگلومرای و سنگ‌های آهکی با خاک بسیار کم‌عمق تا نیمه‌عمیق با بافت سبک تا سنگین بیشتر دیده می‌شود و این متغیرها برای حضور گونه، جاذب محسوب می‌شوند. این همبستگی با توجه به خصوصیات زیستی گونه که در مناطق سنگلاخی کوهستانی و کم عمق رویش می‌کند (Sarhangzadeh *et al*., 2017) توجیه‌پذیر است. این دستاورد مشابه نتایج Ebrahimi Gajoti و همکاران (2015) است که رشد گونه را در سخت‌ترین و فقیرترین وضعیت زمین‌شناسی و خاک تأیید کرده‌اند.

این پژوهش رویشگاه‌های مطلوب آردوج را در متنوع‌ترین منطقه تحت حفاظت در کشور مشخص کرده و متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش گونه را تعیین کرد. با توجه به اینکه آردوج از گونه‌هایی است که از نظر تعداد و محدوده پراکنش در ایران، دچار کاهش شدیدی شده است (Asri and Partonia, 2017)؛ بنابراین حفاظت بیشتر از رویشگاه‌های مطلوب آن و پیشگیری از تخریب آنها به‌ویژه از طریق افزایش تعداد دام‌های روستایی و گردشگری با مشارکت تمامی سازمان‌های ذی‌ربط و مردم محلی مورد پیشنهاد است.

تشکر و قدردانی

از همکاری‌های آقایان مهندس عبدالرضا کلانتری ریاست محترم و مهندس جابر سرهنگ‌زاده و مهندس فرزین رضوان کارشناسان محترم اداره محیط‌زیست شهرستان کلیبر؛ الیاس اویسی دبیر بازنشسته آموزش‌وپرورش؛ همچنین محیط‌بانان پاسگاه‌های وینق، آینالو و تازه‌کند که در انجام این پژوهش در بررسی‌های میدانی اینجانب را یاری کردند و آقای دکتر غلامحسین مرادی عضو هیئت‌علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد بازبینی مقاله را انجام دادند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Ali Ahmad Korori, S. & M. Khoshnevis, 2000. Ecological and Environmental Studies of *Juniperus* Habitats in Iran, Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 208 p (In Persian).
- Ali Ahmad Koruri, S., M. Khoshnevis & M. Matinizadeh, 2011. Comprehensive studies of *Juniperus* species in Iran, Published by Forests, Range and Watershed Management Organization, Tehran, 550 p (In Persian).
- Alijanpour, A., 2000. Investigation and determination of optimum statistical methods at Arasbaran forests. PhD thesis. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, 165 p (In Persian).
- Alijanpour, A., 2016. Quantitative analysis of fruit production of *Cornus mas* L. in Arasbaran forests, *Forest Research and Development*, 2(1): 49-62 (In Persian).
- Alizadeh, A., 2013. The Principles of Applied Hydrology, Imam Reza (AS) University, Mashhad, 928 p (In Persian).
- Asri, Y. & L. Partonia, 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 (In Persian).
- Bahrami, B. & A. Ghorbani, 2016. Investigation and determining environmental factors affecting on distribution of rangeland habitats in Southeast of Sabalan, *Natural Ecosystems of Iran*, 7(1): 33-44 (In Persian).
- Blackburn, J. k., 2006. Evaluating the spatial ecology of anthrax in North America: examining epidemiological components across multiple geographic scales using a

www.SID.ir

Archive of SID

GIS-based approach. PhD thesis. Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, 141 p.
- Carvalho, J. C. & P. Gomes, 2004. Influence of herbaceous cover, shelter and land cover structure on wild rabbit abundance in NW Portugal, *Acta Theriologica*, 49(1): 63-74.
- Daghestani, M., M. Zanganeh & M. Taheri, 2017. Investigation on quantitative characteristic and soil properties of *Juniperus excels* M.Bieb stands in Tarom Zanjan, *Journal of Forest Research and Development*, 3(2): 175-190. (In Persian)
- Ebrahimi Gajoti., T. Kh. Sagheb-Talebi, A. Razban Haghighi, N. Kasebi & Y. Imani, 2015. Site demands of juniper (*Juniperus foetidissima* Wild.) in Arasbaran, East Azerbaijan Province, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(3): 452–464 (In Persian).
- Esfanjani, J., M. A. Z. Chahouki, H. Rouhani, M. M. Esmaeili & B. Behmanesh, 2017. Suitability habitat modeling species using Ecological Niche Factor Analysis (ENFA) in rangelands Chaharbagh of Golestan province, Iran, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(3): 516-525 (In Persian).
- Farjon, A., 1992. The taxonomy of multispeed *juniperus* (*Juniperus* Sect. sabina) in southwest Asia and east Africa (Taxonomic notes on Cupressaceae I), *Edinburgh Journal of Botany*, 49(3): 251-283.
- Farjon, A., 2013. *Juniperus foetidissima*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013, http: .dx.doi.org. 10.2305. IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42234A2965043.en. Accessed 7th September 2017.
- Fathzadeh, A., 2014. Final Report of Research Project Environmental Planning of Siyahkuh National Park Part 3: Climate & Weather), Department of the Environment I.R. IRAN, Yazd (In Persian).
- Gardner, A. S. & M. Fisher, 1996. The Distribution and Status of the Montane Juniper Woodlands of Oman, *Journal of Biology*, 23(6): 791-803.
- Guisan, A., & N.E. Zimmermann, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology, *Ecological Modeling*, 135(2-3): 147-186.
- Hirzel A. H. & A. Guisan, 2002. Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling, *Ecological Modelling*, 157(2-3): 331-341.
- Hirzel, A. H. & R. Arletaz, 2003. Modeling habitat suitability for complex species distribution by the environmental distance geometric mean, *Environmental Management*, 32(5): 614-623.
- Hirzel, A. H., 2001.When GIS come to life, linking landscape and population ecology for large population management modeling: the case of ibex (*Capra ibex*) in Switzerland. PhD thesis. Institue of Ecology, Laboratory for Conservation Biology, University of Lausanne, 114 pp.
- Hirzel, A. H., G. Le Lay, V. Helfer, C. Randin & A. Guisan, 2006. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences, *Ecological Modelling*, 199(2): 142-152.
- Hirzel, A. H., J. Hausser & N. Perrin, 2004. Biomapper 3.1.Division of Conservation Biology, University of Bern. Available at http:.www.unil.ch.biomapper.
- Hirzel, A. H., J. Hausser, D. Chessel & N. Perrin, 2002. Ecological niche factor analysis: how to compute habitat suitability maps without presence data, *Ecology*, 83(7): 2027–2036.
- IUCN., 2017. Red List of Threatened Species, Version 2017-1. http://www.iucnredlist.org. Accessed 7th September 2017.
- Javanshir, K., 1976. Iranian shrub and woody plants Atlas, Iran National Society of Natural Resources Conservation, Tehran, Iran, 163 p (In Persian).
- Javanshir, K., 1991. Forestry of Aras and Urmia Watersheds. Jame Iran Consulting Engineers. Report number: 11, 144 p (In Persian).
- Liprieur, V. E., J. M. Durand & J. L. Peyron, 1988. Influence of topography on forest reflectance using Landsat Thematic Mapper and digital terrain data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(4): 461-496.
- Maghsoudlou Nezhad, M., S.H. Shataee, H. Habashi & M. Babanezhad, 2013. Spatial and statistical analysis of quantitative characteristics of *Juniperus* stands in Chahar–bagh of Gorgan regarding to topographic and soil features, *Iranian Journal of Forest*, 5(2): 195 -206 (In Persian).
- Mahdavi. M., 1995. Applied Hydrology. Tehran University Press, second edition, Tehran, Iran, Vol. 1.2 (In Persian).
- Majnoniyan, H., 2000. Iran's protected areas. Foundations and measures to protect the park

www.SID.ir

Archive of SID

and regions, Environmental Protection Agency, Tehran, Iran, 216 p (In Persian).
- Manel, S., J. M. Dias & S. J. Ormerod, 1999. Comparing discriminant analysis, neural networks and logistic regression for predicting species distributions: a case study with a Himalayan river bird, *Ecological Modelling*, 120(2): 337-347.
- Marzluff, J. M. & K. Ewing, 2001. Restoration of fragmented landscapes for the conservation of birds: A general framework and specific recommendations for urbanizing landscapes, *Restoration Ecology*, 9(3): 280-292.
- Rheissi, B., N. Azami, P. Mokhtari Zenozi & L. Partonia, 2012a. Molecular identification of the Species under threat of juniper based on SrDNA18 in Arasbaran. Proceedings of 12th National Iranian Genetics Congress, Tehran, Iranian Society of Genetics (In Persian).
- Rheissi, B., P. Mokhtari Zenozi, N. Azami & L. Partonia, 2012b. Molecular identification of the juniper populations at risk of extinction threatened in the protected area of Arasbaran. Proceedings of 12th National Iranian Genetics Congress, Tehran, Iranian Society of Genetics (In Persian).
- Sarhangzadeh, J., 1996. Land use planning of Arasbaran protected area, MSc thesis. Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Nur, Iran, 246 p (In Persian).
- Sarhangzadeh, J., M. H. Iran Nejadparazi, A. Mosleh Arani & H. Akbari, 2017. Study of growth conditions (Genetic, Biometric and Establishment) of Juniper (*Juniperus excelsa*) in Kouh-e-Bafgh protected area. Iran Iron Ore Company Bafgh, Yazd Province. Report number: 1, 128 p (In Persian).
- Shirzad, M. A. & M. Tabari, 2011. Effect of some environmental factors on diversity of woody plants in *Juniperus excelsa* habitat of Hezarmasjed Mountains, *Iranian Journal of Biology*, 24(6): 800 -808 (In Persian).
- Wilson, J. P. & J. C. Gallant, 2000. Terrain Analysis, Principles and Applications, John Wiley and Sons Press, New York, 479 p.
- Zare Chahouki, M. A. & M. Abasi, 2016a. Habitat suitability modeling for *Stipa barbata* using Ecological Niche Factor Analysis (ENFA) (case study: rangeland of middle Taleghan), *Natural Ecosystems of Iran*, 7(4): 1-16 (In Persian).
- Zare Chahouki, M. A. & M. Abasi, 2016b. Habitat suitability modeling for *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.using ecological-niche factor analysis (case study: rangeland of middle Taleghan), *Natural Ecosystems of Iran*, 32(4): 516-526 (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Habitat suitability modeling for Juniper (*Juniperus foetidissima*) in Arasbaran Biosphere Reserve

J. Sarhangzadeh*

- Assistant Professor, Departement of Environment, Yazd University, Yazd, I. R. Iran.
(jsarhangzadeh@yazd.ac.ir)

Received: 01.10.2017 Accepted: 12.03.2018

Abstract

Juniper (*Juniperus foetidissima* Willd.) is classified as a Least Concern (LC) species of the International Union for Conservation of Nature (IUCN), but its distribution has decreased as a flagship and longevous species in East Azarbaijan province during last decades, and hence it is important to protect its habitats. In this research, the habitat suitability of Juniper in Arasbaran biosphere reserve, as the only habitat of this species in Iran, was considered. For the habitat suitability modeling of this species, Ecological Niche Factor Analysis (ENFA) method and ENFA software were used. Results showed that this species has narrow ecological niche and is sensitive to habitat changes. Information layers determined as affecting variables on this species include slope, aspect, elevation, land form, Geology and climate. Results showed that 27.17% of Arasbaran biosphere reserve were suitable for Juniper. The suitable habitats were recognized to be in areas with elevation range of 330 to 1500 meters above sea level, 10 to 60 percent of slope, hillsides, mediterranean and semi-arid climates. The results of this research is suitable for sustainable management of forest ecosystems, reclamation and land protection.

Keywords: Juniper (*Juniperus foetidissima*), Arasbaran, Biomapper, Specialization.

* Corresponding author Tel: +983538210312

www.SID.ir