



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

۲۵۴-۲۳۷

مدل سازی توزیع پتانسیل گونه *Juniperus excelsa* با استفاده از عامل های محیطی در کوهستان البرز

سمیرا سادات فاطمی آذر خوارانی^{۱*}، محمد رحیمی^۱، مصطفی ترکش^۲ و هومن روانبخش^۳

^۱ گروه بیابان زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

^۲ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

^۳ بخش تحقیقات جنگل، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹

فاطمی آذر خوارانی، س.، م. رحیمی، م. ترکش و ه. روانبخش. ۱۳۹۹. مدل سازی توزیع پتانسیل گونه *Juniperus excelsa* با استفاده از عامل های محیطی در کوهستان البرز. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۲): ۲۵۴-۲۳۷.

سابقه و هدف: مدل سازی توزیع گونه ای، روشی رایج برای درک روابط میان یک گونه و محیط اطرافش است و برای پیش بینی تغییرات در توزیع همگام با تغییرات محیطی مورد استفاده قرار می گیرد. تحقیق های گسترده ای در منطقه های مختلف دنیا براساس این مدل ها انجام گرفته است. در این مطالعه، توزیع پتانسیل گونه ارس^۱، گونه سنجه و یکی از مهمترین گونه های درختی جنگل های ایران و تورانی، در کوهستان البرز با استفاده از ۳۸ پارامتر محیطی با استفاده از مدل های توزیع گونه ای Domain و رگرسیون لجستیک^۲ مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش ها: منطقه مورد مطالعه، شامل بخش هایی از کوهستان البرز است که در شمال ایران واقع شده و دارای مساحتی برابر با ۱۴۶۵۶/۱۴ کیلومتر مربع می باشد. در تحقیق حاضر، برای تعیین سایت های نمونه برداری، از روش تصادفی طبقه بندی شده استفاده گردید و در نهایت تعداد ۳۹۰ سایت رخداد (۲۴۰ سایت حضور و ۱۵۰ سایت عدم حضور) گونه *J. excelsa* در مقیاس ۳۰ ثانیه (کمابیش معادل ۱ کیلومتر × ۱ کیلومتر) به عنوان ورودی مدل مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین، تعداد ۳۸ پارامتر محیطی به عنوان متغیر پیش بینی کننده برای اجرای دو مدل Logistic Regression و Domain مدنظر قرار گرفت.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که مدل Domain کارایی بالایی برای پیش بینی رویشگاه *J. excelsa* با $AUC=0.97$ ، $Kappa=0.730$ و $TSS=0.91$ داراست. براساس نتایج به دست آمده، منطقه های با کمترین پتانسیل حضور *J. excelsa* ۵۶۶۵/۹۵ کیلومتر مربع، پتانسیل متوسط ۲۰۳۳/۱ کیلومتر مربع، پتانسیل خوب، ۳۰۷۶/۳۸ کیلومتر مربع، پتانسیل بسیار خوب ۳۰۶۳/۴۲ کیلومتر مربع و پتانسیل عالی ۸۱۷/۲۹ از سطح منطقه را به خود اختصاص داده اند. نتایج به دست آمده از اجرای مدل رگرسیون لجستیک گویای آن است که ۵۰۸۴/۳۷ کیلومتر مربع از منطقه مورد مطالعه در طبقه پتانسیل ضعیف، ۲۵۳۹/۳۵ کیلومتر مربع پتانسیل متوسط، ۱۴۱۰/۲۱ پتانسیل خوب و ۱۱۰۴/۸۴ کیلومتر مربع پتانسیل بسیار خوب و ۴۵۱۷/۳۷ کیلومتر مربع پتانسیل عالی قرار گرفته است. همچنین نتایج نشان داد که شرایط مطلوب رویشگاهی گونه *J. excelsa* در منطقه هایی است که اختلاف حداکثر و حداقل درجه حرارت سالانه بین ۱۵/۵ تا ۱۳ درجه سانتی گراد، بارش فصلی ۹۰ - ۶۴ میلی متر، بارش سردترین فصل سال ۶۰ - ۳۵ میلی متر، ارتفاع از سطح دریا، ۳۱۰۰ - ۱۸۰۰ متر، در جهات جغرافیایی جنوب، جنوب شرق و شرق، شیب ۳۰ - ۱۰ درصد است، همچنین احتمال حضور گونه در منطقه هایی که کمترین فاصله را با

*Corresponding Author. Email Address: samirafatemi86@gmail.com

خط برف و آبراهه دارند و روی صخره‌هایی از جنس آهک شیلی و آهک دولومیتی افزایش می‌یابد. همچنین، در بخش‌هایی از منطقه که گونه *J. excelsa* مشاهده می‌شود، سنجه NDVI بین ۰/۳۸ تا ۰/۱۲ تغییر می‌نماید. نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌ها، نشان داد که مدل Domain دارای کارایی بالاتری در پیش‌بینی رویشگاه مطلوب گونه *J. excelsa* نسبت به مدل رگرسیون لجستیک در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری: با بکارگیری مدل توزیع گونه‌ای می‌توان برنامه مدیریتی مناسب برای بخش‌های مختلف رویشگاه را بیان نمود. منطقه‌های با پتانسیل ضعیف، به‌طور معمول رویشگاه حدی گونه هستند و جمعیت‌ها در این منطقه‌ها آسیب‌پذیرتر از دیگر منطقه‌ها هستند؛ منطقه‌های با پتانسیل بسیار خوب و عالی مناسب مدیریت به‌صورت ذخیره‌گاه جنگلی یا منطقه حفاظت شده هستند. برای جنگلکاری و توسعه و احیای اکوتیپ بومی، عرصه‌هایی در مناطق با پتانسیل خوب تا عالی که بدون پوشش درختی قابل توجه هستند، مناسب می‌باشند. تحقیق حاضر نشان داد که مدل Domian با وجود آنکه تنها از داده‌های حضور استفاده می‌کند، می‌تواند روش مفیدی جهت پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب گونه *J. excelsa* در کوهستان البرز باشد. بنابراین می‌توان اظهار نمود که مدل‌های توزیع گونه‌ای، با دقت قابل قبولی کارایی لازم را در برآورد پراکنش گونه داشته و می‌توانند جهت بیان راهکارهای حفاظتی توسط متخصصان مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌های ایران و تورانی، Domain، داده‌های محیطی، رگرسیون لجستیک.

مقدمه

گونه را با در نظر گرفتن شرایط محیطی، پیش‌بینی می‌کنند (Duan *et al.*, 2014). در اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی، Ferrier (1984) موفق شد شبیه‌سازی از توزیع گونه‌ای را انجام دهد و هم‌زمان با این اقدام، انتشار دو کتاب از Verner *et al.* (1986) و Austin (1991) به پیشرفت روش‌های نوین کمک کرد. هم‌زمان با گسترش روش‌های جدید مدل‌سازی توزیع گونه‌ای، تحول‌های موازی در علوم رایانه و آمار نیز حاصل شد، بنابراین در اوایل دهه ۱۹۹۰ بررسی‌هایی بسیار ابتدایی توسط Franklin (1995) و Austin (1998) انجام و انتشار یافت و مرور جامع مطالعات انجام شده تا قبل از سال ۲۰۰۰ را می‌توان در تحقیق Guisan and Zimmermann (2000) مشاهده کرد. Richards, Guisan and Thuiller (2005), Stauffer (2002) *et al.* (2007) و Schroder (2008)، مروری بر مدل‌های توزیع گونه‌ای در اوایل قرن بیست و یکم انجام دادند و همچنین Franklin (2009) کتابی در این زمینه چاپ کرد (Elith and Leathwick, 2009). مدل‌های توزیع گونه‌ای به دو دسته‌ی مدل‌های متمایزکننده گروه^۴ و مدل‌های پروفیل^۵ تقسیم می‌شوند. مدل‌های متمایزکننده نیازمند داده‌های حضور و عدم حضور هستند و بر مبنای همبستگی و ارتباط بین متغیرها می‌باشند و این ارتباطات را به‌صورت توابع ریاضی نشان می‌دهند که روش‌هایی همچون رگرسیون لجستیک (LR) و رگرسیون‌های غیرپارامتریک مانند مدل افزایشی تعمیم یافته (GAM)^۶ و رگرسیون درختی (CART)^۷ جزء

درختان، پایه اکوسیستم‌های جنگلی بوده و دارای ارزش حفاظتی بالایی می‌باشند. متأسفانه جمعیت درختان در طول چند دهه اخیر به‌طور چشمگیری کاهش یافته است که دلیل آن را می‌توان در دخالت انسانی به‌صورت جنگل‌زدایی، چرای بیش از حد و آتش‌سوزی جنگل‌ها (Yu *et al.*, 2014)، تغییرات اقلیمی (Priti *et al.*, 2016)، مدیریت ناصحیح و کم توجهی به حفظ این منابع ارزشمند، بویژه ذخیره‌گاه‌های بکر جستجو کرد. مدل‌سازی توزیع گونه‌ای (SDM)^۳ یک روش رایج برای درک روابط میان یک گونه و محیط اطرافش است و برای پیش‌بینی تغییرات در توزیع همگام با تغییرات محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Wilson, 2011). این مدل‌ها، ابزاری ارزشمند می‌باشند که برای پیش‌بینی الگوی توزیع گیاهان و جانوران پدید آمده‌اند (Elith and Leathwick, 2009) و به‌طور چشمگیری، برای حل مشکل‌های محیط زیستی کنونی جهان از جمله، درک نیازهای بوم‌شناختی گونه‌ها، ارزیابی تنوع زیستی، مدیریت ذخایر طبیعت و مدل‌سازی پاسخ زیستی به تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Duan *et al.*, 2014). مدل‌های توزیع گونه‌ای، به‌عنوان مدل‌های آشیان بوم‌شناختی و مدل‌های مطلوبیت زیستگاه نیز شناخته می‌شوند و با استفاده از داده‌های محیطی و نقاط حضور یک گونه، منطقه‌های مورد انتظار وقوع

شدت حرارت تابستان این ناحیه با شدت حرارت در صحاری آفریقا مشابه است، در صورتی که سرمای زمستان آن از سرمای ناحیه مدیترانه شدیدتر می‌باشد. فعالیت حیاتی در این ناحیه به دلیل نوسان شدید حرارت در دو فصل یکی به دلیل سرما و یخبندان و ادامه فصل سرد و دیگری به دلیل طول مدت خشکی در فصل تابستان، متوقف می‌گردد (Sabeti, 2008). Zohary (1973) ارس ایران را به منزله‌ی گونه‌ی باستانی و باقیمانده از گستره وسیع جنگل‌های این منطقه که دامنه‌ی آن به خارج از ایران نیز کشیده شده می‌داند، او عقیده دارد افزون بر عامل انسانی، شرایط اقلیمی و فرسایش منطقه‌های کوهستانی نیز در تجزیه‌ی این جنگل‌ها مؤثر بوده است. Pourmajidian (2009) and Moradi ویژگی‌های رویشگاهی و جنگل‌شناسی *Juniperus excelsa* را در استان قزوین، Momeni Mogad- (2012) am et al. تأثیر پارامترهای شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا و خاک را بر *Juniperus excelsa* در استان خراسان بررسی کردند و Ravanbakhsh et al. (2016) به مطالعه تشخیص و تعیین جوامع گیاهی و بوم‌شناختی جنگل‌های *Juniperus excelsa* در البرز مرکزی پرداختند. هدف از این مطالعه، بررسی عملکرد دو مدل Domain و Logistic Regression، در پیش‌بینی رویشگاه مطلوب این گونه با نگاه ویژه به متغیرهای اقلیمی است و کوهستان البرز به‌عنوان یک رویشگاه مهم این گونه در کشور ایران بسیار دارای اهمیت بوده و نتایج این تحقیق می‌تواند، جهت برنامه‌ریزی برای حفاظت و گرفتن تصمیم‌های مدیریتی صحیح، مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شامل بخش‌هایی از کوهستان البرز، با طول و عرض جغرافیایی $35^{\circ}31'31''$ N و $52^{\circ}36'52''$ E در ناحیه کوهستانی رویشگاه ایران و تورانی در شمال ایران واقع شده و از بهترین رویشگاه‌های ارس، البرز جنوبی است که کم‌تر از منطقه‌های دیگر تحت تأثیر دخالت‌های انسانی قرار گرفته است. همچنین، دارای مساحتی برابر با $14/14656$ کیلومتر مربع می‌باشد. رویشگاه ایران و تورانی تمام فلات مرکزی ایران از شیب‌های جنوبی البرز در شمال تا دامنه‌های زاگرس در قسمت غرب و جنوب

این مدل‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. ولی مدل‌های پروفیل فقط براساس داده‌های حضور، پیش‌بینی مکانی توزیع گونه‌ای را انجام می‌دهند. از مدل‌های این گروه می‌توان به BioClim، Domain، ژنتیک الگوریتم (GARP)^۱ و تحلیل عاملی آشیان بومشناختی (ENFA)^۲ اشاره کرد (Tarkesh and Jetschke, 2012). در مطالعه حاضر با استفاده از دو مدل Domain و رگرسیون لجستیک توزیع جغرافیایی گونه *Juniperus excelsa* در بخش‌هایی از کوهستان البرز واقع در جنگل‌های ایران و تورانی مورد مطالعه قرار گرفته است. Zare Chahouki et al. (2007) رابطه بین حضور گونه‌های گیاهی با عامل‌های محیطی را در مرتع‌های پشتکوه استان یزد با استفاده از روش رگرسیون لجستیک مورد مطالعه قرار دادند. Saki et al. (2013) رویشگاه بالقوه گون زرد را با استفاده مدل رگرسیون لجستیک درختی مطالعه کردند که نتایج بیانگر توان بالای مدل رگرسیون لجستیک درختی در تولید نقشه پراکنش گونه گون زرد در مقیاس محلی می‌باشد. (Gaston and García-Viñas 2011)، نتایج دو مدل رگرسیون لجستیک و MAXENT را برای بررسی توزیع جغرافیایی ۱۳ گونه درختی با یکدیگر مقایسه کردند. آن‌ها دریافتند که مدل رگرسیون لجستیک نسبت به مدل MAXENT دارای عملکرد بالاتری است، بویژه در مواقعی که تعداد نمونه‌ها محدود می‌باشد. در حالیکه Piri Sahragard and Ajorlo (2018) در بررسی توزیع گونه‌های غرب تفتان، عملکرد هر دو مدل را یکسان برآورد کردند. گونه گیاهی M. *Juniprus excelsa*. Bieb با نام عمومی Juniper، از گونه‌های درختی ارتفاعات ناحیه رویشی ایران و تورانی است که گونه‌ای ارزشمند و نماد جنگل‌های منطقه‌های خشک کوهستانی و شرایط زیستی دشوار شناخته شده است (Sagheb-Talebi et al., 2014). پراکنش این گونه از شرق مدیترانه، بالکان، ترکیه، کوهستان‌های ایران تا افغانستان و پاکستان است. جوامع ارس در جنگل‌های کوهستانی فلات مرکزی ایران در محدوده‌ی ارتفاعی ۱۷۰۰ تا ۲۸۰۰ متر بالاتر از سطح متوسط دریا (۳۴۰۰ متر در ارتفاعات جنوب کشور) انتشار دارند (Ravanbakhsh et al., 2013). کمی مقدار بارندگی و طولانی بودن فصل خشک به‌طور معمول ناحیه ایران و تورانی را از دیگر نواحی دیگر متمایز می‌کند. نوسان حرارتی در آن زیاد است،

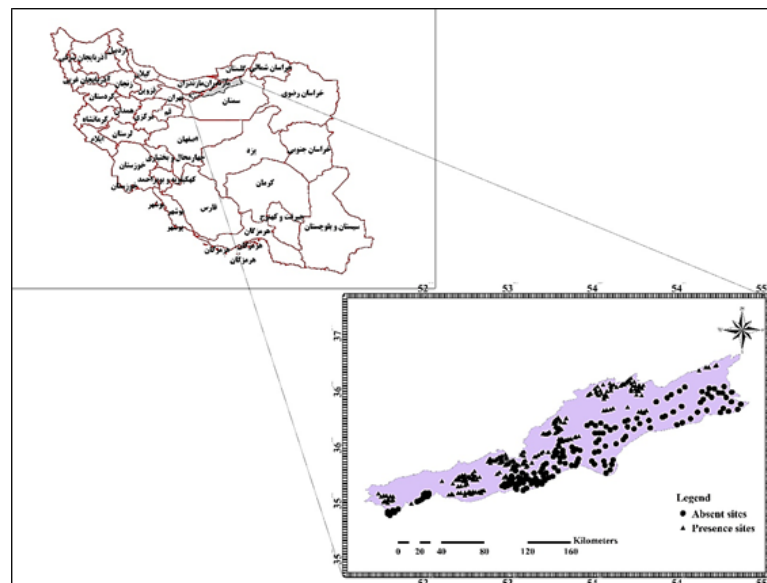
درجه حرارت متوسط سالانه منطقه از ۱/۱ تا بالاتر از ۱۶ درجه سانتی‌گراد اختلاف دارد. شکل ۱، موقعیت محدوده مورد بررسی را نمایش می‌دهد.

روش کار

نحوه جمع‌آوری نقاط حضور

در تحقیق حاضر، برای تعیین سایت‌های نمونه‌برداری، روش تصادفی طبقه‌بندی شده، مورد استفاده قرار گرفت (Steh- man, 1996). بدین منظور، ابتدا محدوده پراکنش *Juniperus excelsa* با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای گوگل ارث و مطالعات میدانی، مشخص گردید، سپس، براساس عامل‌های

گرفته، تا مرزهای ایران، افغانستان و روسیه سابق پیش رفته و در سمت شمال غربی تا کشور آذربایجان ادامه دارد. به دلیل گستردگی ناحیه و اختلافات اقلیمی، جنگل‌های این ناحیه به دو بخش کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌گردد (Sagheb-Talebi et al., 2014). از گونه‌های غالب جنگلی بخش کوهستانی ایران و تورانی می‌توان به *Juniperus ex-celsa*، *Cotoneaster* spp.، *Amygdalus* spp. و *Pistacia* spp. و از گونه‌های غالب استپی می‌توان به *Artemisia* spp.، *Onobrychis cornuta* اشاره کرد (Ravanbakhsh et al., 2016). همچنین، دامنه تغییرات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه، از ۹۶۶ تا ۳۸۶۱ متر بوده و



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و سایت‌های رخداد گونه

Fig. 1- Location of the study area and species occurrence sites

منتخب، با عملیات میدانی و استفاده از سیستم مختصات موقعیت یابی جهانی (GPS)، سایت‌های نمونه‌برداری در خرداد ماه بررسی زمینی شد و با طول و عرض جغرافیایی مشخص، جهت ورود به مدل آماده‌سازی گردید.

متغیرهای محیطی

در ابتدا، تعداد ۳۸ متغیر اثرگذار بر توزیع گونه *Juniperus ex-celsa* انتخاب شدند (جدول ۱) و در ادامه متغیرهای ورودی مدل‌ها با استفاده از همبستگی پیرسون (بالای ۰/۸ و یا کمتر از ۰/۸-) (Priti et al., 2016) و انجام تحلیل در نرم افزار آماري IBM SPSS ver23 و براساس اهمیت بوم‌شناختی به

فیزیوگرافی (میزان شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا)، مناطق همگن محیطی تفکیک شدند و به صورت تصادفی سایت‌های نمونه‌برداری در طبقات همگن، انتخاب گردید. از آنجائی‌که، برای یک قدرت تحلیل مناسب حداقل یک نسبت ده تایی از متغیر پیش‌بینی کننده برای اندازه نمونه، باید مورد استفاده قرار گیرد (Miller, 2010) و در این مطالعه، تعداد ۳۸ پارامتر محیطی به‌عنوان متغیر پیش‌بینی کننده برای اجرای مدل مدنظر قرار گرفت، تعداد ۳۹۰ سایت رخداد (240×150 سایت غیاب) گونه *Juniperus excelsa* در مقیاس ۳۰ ثانیه (کمابیش معادل ۱ کیلومتر \times ۱ کیلومتر) انتخاب گردید. برای تأیید صحت سایت‌های

lyst Extention در نرم افزار ArcGIS10.2 برای ۱۲ ماه سال تولید گردید.

مدل سازی

-مدل Domian

این مدل برای اولین بار توسط Carpenter *et al.* (1993)، بیان شد. Carpenter *et al.* (1993)، توزیع پتانسیل دو گونه *Aepyprymnus rufescens* 'Gray' *Bettongia tropica* Wakefield را در استرالیا با استفاده از سه مدل Boxcar و Convex hull و DOMAIN مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل DOMAIN، نقشه پتانسیلی تولید می کند که با شرایط محیط زیستی شناخته شده در طبیعت بیشتر سازگار است. Hernandez *et al.* (2006)، اثر اندازه نمونه را بر عملکرد چهار مدل BIOCLIM، GARP، DOMAIN و MAXENT در توزیع گونه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در حجم نمونه کم، تواناترین مدل MAXENT و پس از آن، DOMAIN و GARP و مدل BIOCLIM ضعیفترین عملکرد را داراست. Tsoar *et al.* (2007)، مطالعه‌ای، عملکرد شش مدل توزیع گونه‌ای BIOCLIM، DOMAIN، Mahalanobis distance (MD)، HABITAT و ENFA را که تنها از داده‌های حضور استفاده می‌کنند، مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که با وجود تفاوت‌های قابل ملاحظه مدل‌ها در فرآیند الگوریتم مدل سازی، از نظر دقت پیش‌بینی اختلاف ناچیزی دارند. روش DOMAIN از تشابه نقطه به نقطه با اختصاص دادن یک ارزش طبقه‌بندی شده به یک سایت نماینده براساس نزدیکی شرایط محیطی آن به دیگر سایت‌های ثبت شده استفاده می‌کند. DOMAIN یک روش قوی و ساده است که برای پیش‌بینی هر دو الگوی گیاهی و جانوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت آن نسبت به روش‌های مشابه این است که با استفاده از داده‌های حضور و تعداد محدودی ویژگی‌های بیوفیزیکی، اجرا می‌شود (Carpenter *et al.*, 1993). استفاده از تابع تشابه در این مدل، قابلیت انعطاف‌پذیری آن را افزایش داده، به طوری که در شناسایی محدوده مورد حفاظت و تهیه نقشه‌های پتانسیل گونه‌های نادر و رایج کارایی مطلوبی دارد. Gower (1971) برای اندازه‌گیری فاصله دو نقطه A و B معادله زیر را بیان کرد:

۱۷ متغیر تقلیل یافت. تعداد ۱۱ متغیر دما و ۸ متغیر بارش (Hijmans *et al.*, 2005) با دقت مکانی ۳۰ ثانیه، از پایگاه داده‌ای WorldClim (WorldClim, 2016) دریافت گردید. این متغیرهای زیست اقلیمی در طی دوره ۲۰۰۰ - ۱۹۵۰ از درجه حرارت ماهانه و پارامترهای بارش اشتقاق یافته‌اند و برای رشد و توسعه گونه‌ها مهم بوده و به‌طور گسترده‌ای برای بررسی توزیع گونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Graham *et al.*, 2008; Elith and Leathwick, 2009; Warren *et al.*, 2013). افزون بر داده‌های زیست اقلیمی، نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM)^{۱۱}، شیب، جهت شیب و فاصله از آبراهه به‌عنوان متغیرهای فیزیوگرافی برای ورودی مدل در نظر گرفته شدند. نقشه مدل رقومی ارتفاعی با دقت مکانی ۹۰ متر از پایگاه USGS (USGS, 2016) دریافت و با استفاده از تکنیک Nearest neighbour resampling به اندازه پیکسل ۳۰ ثانیه (حدود یک کیلومتر) بزرگ مقیاس شد. در مطالعات اکولوژیک، سنج NDVI^{۱۲}، برای تعیین بیوماس برگ، تولید خالص اولیه و همچنین میزان فعالیت فتوسنتز تاج گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، NDVI اطلاعات با ارزشی درباره فنولوژی گیاهان می‌تواند ارائه دهد، زیرا این سنج با از دست رفتن پوشش گیاهی در نتیجه تغییرات فصلی نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Prates-Clark *et al.*, 2008). بنابراین در این مطالعه جهت تعیین سنج NDVI از تصاویر MODIS Product^{۱۳} با عنوان MOD13A3 که در مقیاس ۱ کیلومتر ماهانه تهیه شده است، از سایت <https://lpdaac.usgs.gov> برای دوره زمانی ۲۰۱۶ - ۲۰۰۰ در ماه آوریل، استفاده شده است، همچنین، از آنجائی که، برف (Ahmed *et al.*, 2006) و تابش خورشیدی (Ravanbakhsh *et al.*, 2013)، سه پارامتر مهم اثرگذار بر پراکنش گونه *Juniperus excel-sa* می‌باشند، جهت تولید نقشه فاصله از خط برف، تصاویر MOD10A2 که به‌صورت ۸ روزه و در مقیاس ۵۰۰ متر از پایگاه (Nsidc, 2016) تهیه می‌گردند، برای دو ماه پر برف تعیین شده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی محدوده مورد مطالعه (ژانویه و فوریه)، طی دوره زمانی ۲۰۱۶ - ۲۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. برای پارامتر زمین‌شناسی، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور مورد استفاده قرار گرفت، همچنین نقشه تابش خورشیدی توسط Solar Ana-

جدول ۱- متغیرهای محیطی مورد استفاده در مطالعه
 Table 1. Environmental variables used in the study

واحد Unit	متغیر محیطی Environmental variable	کد Code	شماره Number
°C	درجه حرارت متوسط سالانه Annual mean temperature	Bio1	1
°C	Mean diurnal range (متوسط ماهانه (درجه حرارت حداکثر - درجه حرارت حداقل)) Mean diurnal range (mean of monthly max and min temp.)	Bio2	2
-	هم‌دمايي (Bio2/Bio7) × 100 Isothermality ((Bio2/Bio7) × 100)	Bio3	3
C of V	درجه حرارت فصلی (انحراف معیار × 100) Temperature seasonality (standard deviation × 100)	Bio4	4
°C	حداکثر درجه حرارت گرمترین ماه سال Maximum temperature of the warmest month	Bio5	5
°C	حداقل درجه حرارت سردترین ماه سال Minimum temperature of the coldest month	Bio6	6
°C	دامنه درجه حرارت سالانه (اختلاف Bio5 , Bio6) Temperature annual range (Bio5-Bio6)	Bio7	7
°C	متوسط درجه حرارت مرطوبترین فصل سال Mean temperature of the wettest quarter	Bio8	8
°C	متوسط درجه حرارت خشک‌ترین فصل سال Mean temperature of the driest quarter	Bio9	9
°C	متوسط درجه حرارت گرمترین فصل سال Mean temperature of the warmest quarter	Bio10	10
°C	متوسط درجه حرارت سردترین فصل سال Mean temperature of the coldest quarter	Bio11	11
mm	بارش سالانه Annual precipitation	Bio12	12
mm	بارش مرطوب‌ترین ماه Precipitation of the wettest month	Bio13	13
mm	بارش خشک‌ترین ماه Precipitation of the driest month	Bio14	14
C of V	بارش فصلی (CV) Precipitation seasonality (CV)	Bio15	15
mm	بارش مرطوب‌ترین فصل سال Precipitation of the wettest quarter	Bio16	16
mm	بارش خشک‌ترین فصل سال Precipitation of the driest quarter	Bio17	17
mm	بارش گرم‌ترین فصل سال Precipitation of the warmest quarter	Bio18	18
mm	بارش سردترین فصل سال Precipitation of the coldest quarter	Bio19	19
m	ارتفاع از سطح دریا Elevation	DEM	20
%	شیب Slop	Slop	21
-	جهت شیب Geographic aspects	Aspect	22
Mile	فاصله از خط برف Snow line (average 2000-2016)	Snow	23
Mile	فاصله از آبراهه Distance from flow	Flow	24
-	زمین‌شناسی Geology map	Geology	25

-	سنجه نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی - فروردین و اردیبهشت ماه (متوسط ۱۳۷۹-۱۳۹۵)	NDVI	26
	Normalized index of vegetation difference- April (average 2000-2016)		
WH/m ²	تابش خورشیدی - ژانویه Solar radiation - January	Solar1	27
WH/m ²	تابش خورشیدی - فوریه Solar radiation - February	Solar2	28
WH/m ²	تابش خورشیدی - مارس Solar radiation - March	Solar3	29
WH/m ²	تابش خورشیدی - آوریل Solar radiation - April	Solar4	30
WH/m ²	تابش خورشیدی - می Solar radiation - May	Solar5	31
WH/m ²	تابش خورشیدی - ژوئن Solar radiation - June	Solar6	32
WH/m ²	تابش خورشیدی - جولای Solar radiation - July	Solar7	33
WH/m ²	تابش خورشیدی - آگوست Solar radiation - August	Solar8	34
WH/m ²	تابش خورشیدی - سپتامبر Solar radiation - September	Solar9	35
WH/m ²	تابش خورشیدی - اکتبر Solar radiation - October	Solar10	36
WH/m ²	تابش خورشیدی - نوامبر Solar radiation - November	Solar11	37
WH/m ²	تابش خورشیدی - دسامبر Solar radiation - December	Solar12	38

*متغیرهایی که پررنگ شده‌اند، توسط همبستگی پیرسون برای مدل‌سازی انتخاب گردید.

رویشگاه در مقیاسی پیوسته (۰ تا ۱۰۰) نمایش داده می‌شود که مناطقی با مقادیر بالا (به‌طور نمونه < ۹۰) بیشترین احتمال حضور گونه را نشان می‌دهند (Ward, 2007). این مدل در مطالعه حاضر، با نرم افزار openModeller ver.1.5.0 اجرا شد.

مدل رگرسیون لجستیک (LR)

مدل رگرسیون لجستیک برای توضیح یک متغیر وابسته براساس یک یا چند متغیر مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Razanamahandry *et al.*, 2018). این مدل به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$P = \frac{e^Z}{1 + e^Z} \quad (4)$$

که در این رابطه، P احتمال رخداد گونه و Z یک تابع ترکیبی خطی مرتبط با متغیرهای پیش‌بینی کننده (مستقل) است که این تابع به‌صورت زیر حاصل می‌شود:

$$Z = \alpha + B_1x_1 + B_2x_2 + \dots + B_nx_n \quad (5)$$

که در این معادله، α ضرایب رگرسیون و X متغیرهای مستقل محیطی می‌باشند. ضرایب مثبت نمایشگر همبستگی

$$d_{AB} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \left(\frac{|A_k - B_k|}{range_k} \right) \quad (1)$$

کارپنتر و همکاران، تشابه دو نقطه را براساس همین معادله تعیین کردند، به‌طوری‌که بیان شد تشابه دو نقطه A و B یعنی R_{AB} برابر است با:

$$R_{AB} = 1 - d_{AB} \quad (2)$$

مقدار R بین ۰ و ۱ برای نقاط موجود در دامنه تعریف شده در معادله ۲ - ۳ تغییر می‌کند، اما ممکن است برای نقاط خارج از محدوده مقدار منفی به‌دست بیاید. در نهایت، S_A برای اندازه‌گیری حداکثر تشابه بین نقطه نماینده A و دیگر نقاط ثبت شده T_m تعریف گردید.

$$S_A = \max_{j=1}^m R_{TjA} \quad (3)$$

با ارزیابی S برای تمام نقاط شبکه در یک محدوده هدف، ماتریسی با مقادیر تشابه متفاوت تولید شده که در نهایت نقشه توزیع گونه از آن حاصل می‌گردد. در این روش، سنجه تناسب

می‌گیرد، اما دو سنجه TSS و ضریب کاپا بین مقادیر ۱- تا ۱ تغییر می‌کنند و مقدار ۰ عملکرد ضعیف مدل را نمایش می‌دهد (Pěkníková and Berchová-Bímová, 2016).

منحنی ROC

برای محاسبه، سطح زیر منحنی (AUC) از پلات ROC استفاده می‌شود. در این روش، پیش‌بینی مدل در آستانه‌های مختلف در دو سنجه زیر تعیین و سپس منحنی آن‌ها در یک پلات دوبعدی ترسیم می‌شود. سطح زیر منحنی بیانگر عملکرد مدل است، به نحوی که هر چه به مقدار یک نزدیکتر باشد، مدل از عملکرد بهتری برخوردار خواهد بود (Garsia, 2013).

$$\text{Sensitivity} = a/(b+c) \quad (7)$$

$$\text{Sepcificity} = d/(b+d) \quad (8)$$

مقادیر AUC مطابق با نظر (Swets (1988) به صورت جدول ۲ طبقه‌بندی می‌شوند.

ضریب کاپا

ضریب کاپا میزان توافق بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را بیان می‌کند (Tarkesh and Jetschke, 2012). مقدار کاپا بین ۱- تا ۱+ تغییر می‌کند، مقدار ۱+ عملکرد بالا و جایی که مقادیر آن صفر یا کمتر باشند، مدل دارای عملکرد ضعیف می‌باشد (Cohen, 1960) بنابراین هر چه میزان ضریب کاپا به یک نزدیکتر باشد، نشانگر توافق بهتر مدل با دنیای واقعی است. مقدار ضریب کاپا با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌گردد (Tarkesh and Jetschke, 2012).

$$k = \frac{\left(\frac{a+d}{n}\right) - \frac{(a+b)(a+c) + (c+d)(d+b)}{n^2}}{1 - \frac{(a+b)(a+c) + (c+d)(d+b)}{n^2}} \quad (9)$$

همچنین ضریب کاپا براساس جدول 3 طبقه‌بندی می‌گردد.

مثبت متغیر وابسته با متغیر پیش‌بینی کننده و ضرایب منفی رابطه معکوس دو متغیر را نشان می‌دهد. اگر متغیر وابسته مانند مطالعه حاضر یک متغیر دودویی باشد، یعنی به صورت حضور و عدم حضور، مقادیر احتمال بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کنند. حد صفر نمایانگر پایین‌ترین احتمال حضور گونه و حد یک بالاترین حد را نشان می‌دهد. از آنجائی که رابطه بین متغیر وابسته و متغیرهای پیش‌بینی کننده نمی‌تواند خطی باشد، این تابع بصورت لجیت تغییر می‌کند، بنابراین مدل رگرسیون لجستیک بدین صورت است (Park et al., 2017):

$$\text{Logit}(p) = \ln \frac{p}{1-p} = \alpha + B_1x_1 + B_2x_2 + \dots + B_nx_n \quad (6)$$

مدل رگرسیون لجستیک در نرم‌افزار Minitab ver 16 اجرا شد و حضور هر متغیر پیش‌بینی کننده (محیطی) در مدل توسط سنجه نسبت حداکثر درست‌نمایی، آزمون گردید (McCullagh and Nelder, 1989) و مهمترین متغیرها در مدل باقیمانده و بقیه آن‌ها حذف گردید (Green et al., 1994; Austin and Meyers, 1996). سپس معادله حاصل در نرم‌افزار ArcGIS10.2 تعریف و نقشه توزیع گونه *Juniperus excelsa* ترسیم گردید.

سنجش کارایی مدل‌ها

در این مطالعه با استفاده از سه روش منحنی ROC^{۱۴} سنجه TSS^{۱۵} و ضریب کاپا^{۱۶}، کارایی مدل‌های توزیع گونه‌ای مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت (Allouche et al., 2006) که جزئیات این سه روش در گزارش مرکز تحقیقات هواشناسی و اقلیم استرالیا (CAWCR, 2015) به صورت کامل آمده است. به‌طور کلی زمانی که از سنجه ROC استفاده می‌کنیم، مقادیر بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند و مقدار ۰/۵ نشانگر عملکرد ضعیف مدل است، بنابراین طبقه‌بندی آن براساس ۰/۵ تا ۱ به‌طور معمول انجام

جدول ۲- طبقه‌بندی مقدار AUC (Swets, 1988)
Table 2. Classification of AUC value

دامنه Range	طبقه‌بندی ضریب Class
0.5-0.7	ضعیف Poor
0.7-0.9	قابل قبول Acceptable
0.9-1	عالی High

جدول ۳- طبقه‌بندی ضریب کاپا (Landis and Koch, 1977)
Table 3. Classification of Kappa coefficient

دامنه Range	طبقه‌بندی ضریب Class
0-0.4	ضعیف Poor
0.4-0.75	خوب Good
0.75 - 1	عالی High

به ترتیب نمایانگر کارایی عالی و خوب مدل در منطقه می‌باشد. همچنین، براساس نتایج به‌دست آمده، محدوده مورد مطالعه سطحی معادل ۵۶۶۵/۹۵ کیلومتر مربع، منطقه‌هایی با پتانسیل ضعیف، ۲۰۳۳/۱ کیلومتر مربع، پتانسیل متوسط، ۳۰۷۶/۳۸ کیلومتر مربع پتانسیل خوب، ۳۰۶۳/۴۲ کیلومتر مربع پتانسیل بسیار خوب و ۸۱۷/۲۹ کیلومتر مربع مناطقی با پتانسیل عالی را شامل می‌شود. طبقه‌بندی آستانه‌های احتمال حضور گونه در نقشه پتانسیل (مقادیر ۰-۱۰۰)، براساس نظریات کارشناسی، بازدید صحرایی و تطابق با شرایط حال حاضر منطقه صورت گرفت. شکل ۲ توزیع پتانسیل گونه را براساس ۱۷ متغیر محیطی بیان شده، تحت مدل Domian نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از مدل رگرسیون لجستیک (LR)

معادله مدل رگرسیون لجستیک برای منطقه مورد مطالعه براساس دو متغیر سنجه نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و فاصله از آبراهه تعریف گردید (رابطه ۵).

$$Y = \frac{e^{-12.4631+74.3710NDVI+85.9669Flow}}{1+e^{-12.4631+74.3710NDVI+85.9669Flow}} \quad (11)$$

نتایج ارزیابی عملکرد مدل به‌صورت $AUC=0/950$ ، $Kappa=0/428$ و $TSS=0/768$ که نشانگر عملکرد عالی، خوب و بسیار خوب مدل در پیش‌بینی توزیع گونه در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. همچنین، نتایج به‌دست آمده گویای آن است که

سنجه TSS

این سنجه آماری، از زمان‌های گذشته برای ارزیابی دقت پیش‌بینی‌های هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گرفته است (Accadia et al., 2005). این سنجه، تعداد پیش‌بینی‌های صحیح و تعداد حدس‌هایی که به‌صورت تصادفی بیان شده را مقایسه می‌کند و یک مجموعه‌ی کاملی از فرضیه‌ها را پدید می‌آورد. براساس ماتریس خطا 2×2 ، سنجه TSS به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$TSS = \frac{ad - bc}{(a+c)(b+d)} = Sensitivity + Specificity - 1 \quad (10)$$

مشابه با ضریب کاپا، مقادیر TSS نیز در دامنه ۰ تا ۱- تغییر می‌کند و مقدار نزدیک به ۰+ عملکرد بهتر مدل و ارزش صفر و کمتر از آن، کارایی ضعیف آن را در پیش‌بینی نشان می‌دهند (Allouche et al., 2006). سنجه TSS مطابق با جدول ۴ طبقه‌بندی می‌گردد. سنجه‌های میزان کارایی مدل در نرم افزار openModeller با استفاده از داده‌های مشاهداتی و نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل محاسبه گردید.

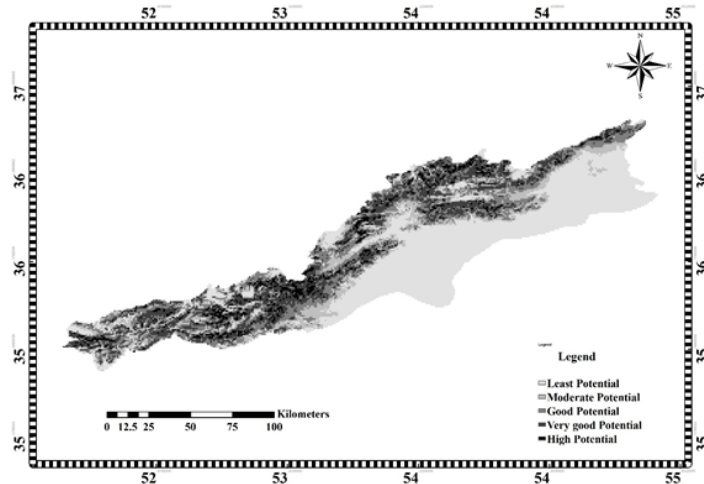
نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل DOMAIN

نتایج ارزیابی عملکرد مدل نشان داد که مقدار AUC برابر با ۰/۹۷، Kappa برابر ۰/۷۳۰ و TSS معادل ۰/۹۱ است که

جدول ۴- طبقه‌بندی سنجه TSS (Tobena et al., 2016)
Table 4. Classification of TSS index

دامنه Range	طبقه‌بندی سنجه Class
0-0.2	ضعیف Poor
0.2-0.4	نسبتاً خوب Fair
0.4-0.6	متوسط Moderate
0.6<	خوب Good

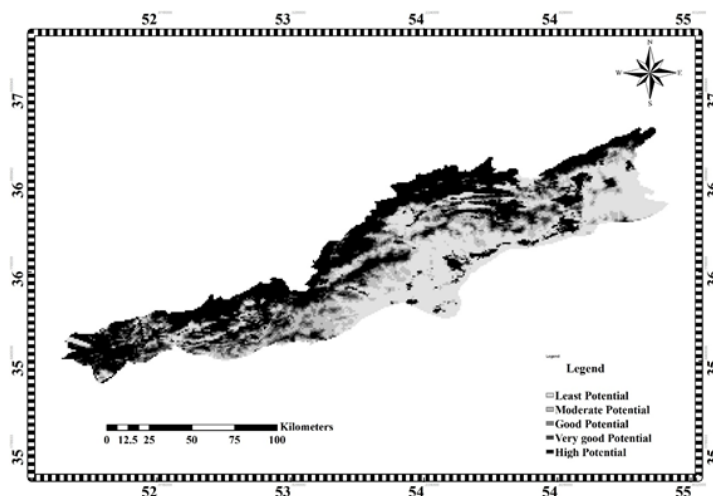


شکل ۲- توزیع پتانسیل گونه *Juniperus excelsa* تحت مدل Domain
 Fig. 2- Distribution of *Juniperus excelsa* under the Domain model

مقایسه ویژگی‌ها در لایه‌های مختلف بر مبنای موقعیت مکانی هر کلاس. نتایج نشان داد که شرایط مطلوب رویشگاهی گونه *Juniperus excelsa* در منطقه‌هایی است که اختلاف حداکثر و حداقل درجه حرارت سالانه (Bio2) بین ۱۵/۵ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد، دامنه تغییرات همدمایی (Bio3) ۳۲-۳۶ درصد، متوسط درجه حرارت مرطوب‌ترین فصل سال (Bio8) ۱۳ - ۰ درجه سانتی‌گراد، بارش سالیانه (Bio12) ۱۲۰ - ۲۲۰ میلی‌متر، بارش فصلی (Bio15)، ۹۰ - ۶۴ میلی‌متر، بارش گرم‌ترین فصل سال (Bio18)، ۳۰ - ۲ میلی‌متر، بارش سردترین فصل سال (Bio19)، ۶۰ - ۳۵ میلی‌متر، ارتفاع از سطح دریا، ۳۱۰۰ - ۱۸۰۰ متر، در جهت جغرافیایی جنوب، جنوب شرق و شرق، شیب ۳۰ - ۱۰ درصد است، همچنین احتمال حضور گونه در

۵۰۸۴/۳۷ کیلومتر مربع از منطقه مورد مطالعه در طبقه احتمال پتانسیل ضعیف، ۲۵۳۹/۳۵ کیلومتر مربع پتانسیل متوسط، ۱۴۱۰/۲۱ پتانسیل خوب و ۱۱۰۴/۸۴ کیلومتر مربع پتانسیل بسیار خوب و ۴۵۱۷/۳۷ کیلومتر مربع پتانسیل عالی قرار گرفته است. شکل ۳ نقشه توزیع پتانسیل گونه *Juniperus excelsa* را تحت مدل رگرسیون لجستیک در منطقه نشان می‌دهد.

شرایط مطلوب رویشگاهی گونه *Juniperus excelsa*
 دامنه متغیرهای اثرگذار بر توزیع گونه *Juniperus excelsa* توسط ابزار Tabulaate Area در محیط ArcGIS براساس نقشه‌های کلاس بندی شده توزیع پتانسیل گونه و متغیرهای محیطی، تعیین گردید. این ابزار، روشی است برای



شکل ۳- توزیع پتانسیل گونه *Juniperus excelsa* تحت مدل رگرسیون لجستیک
 Fig. 3- Distribution of *Juniperus excelsa* under the logistic regression model

منطقه‌هایی که کمترین فاصله را با خط برف و آبراهه دارند (به ترتیب ۰/۳۱ - ۰ و ۰/۰۶۵ - ۰ مایل) و روی صخره‌هایی از جنس آهک شیلی و آهک دولومیتی و متوسط تابش ۵۰۰۰۰ وات بر مترمربع در ماه ژانویه، تابش ۲۵۰۰۰۰ - ۲۰۰۰۰۰ وات بر مترمربع در ماه می و متوسط تابش ۲۳۰۰۰۰ وات بر مترمربع در ماه جولای افزایش می‌یابد. همچنین، در بخش‌هایی از منطقه که گونه *Juniperus excelsa* مشاهده می‌شود، سنج NDVI بین ۰/۳۸ تا ۰/۱۲ تغییر می‌نماید. نتایج ارزیابی مدل‌ها، نشان داد که گرچه طبقه عملکرد هر دو مدل معادل یکدیگر برآورد گردیده، ولی مدل Domain با نمایش مقادیر بالاتر و نزدیکی ارزش‌های پیش‌بینی شده با شرایط واقعی زمین (مقایسه نقاط پیش‌بینی شده با نقاط حضور واقعی توسط Cross-validation صورت گرفت) کارایی بالاتری در پیش‌بینی رویشگاه مطلوب گونه *Juniperus excelsa* نسبت به مدل رگرسیون لجستیک در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که با نتایج Hernandez et al. (2006) و Tsoar et al. (2007) که عملکرد بالای این مدل را نشان دادند، تطابق دارد. نتایج اجرای مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه گویای آن است که در مدل رگرسیون لجستیک یک نوار پیوسته از شمال منطقه مورد مطالعه از غرب تا شرق دارای پتانسیل عالی حضور گونه است که این با واقعیت موجود در منطقه و مشاهدات میدانی هماهنگی ندارد. نتایج حاصل شده از مدل Domian که بخش‌های شمال شرق (ذخیره‌گاه چالچالیان و چهارباغ) و غرب و شمال غرب (منطقه حفاظت شده پرور) را در زمره مناطقی با پتانسیل عالی و بسیار خوب قرار می‌دهد با واقعیت زمینی موجود در محدوده مورد مطالعه همخوانی بیشتری دارد. باید به این نکته توجه داشت که مدل‌های توزیع گونه‌ای نظیر Domain و رگرسیون لجستیک، آشیان بنیادی گونه را پیش‌بینی کرده و به‌طور مشخص سطح حضور گونه در آن نسبت به آشیان واقعی گونه متفاوت بوده و در این تحقیق، اثر دخالت انسانی و مدیریت در نظر گرفته نشده است. همچنین، نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که دامنه ارتفاعی حضور گونه *Juniperus excelsa* از ۳۱۰۰ - ۱۸۰۰ متر از سطح دریا بوده، کمابیش در تمام جهات جغرافیایی دیده می‌شود و دامنه غالب حضور گونه دامنه جنوبی، شرق و جنوب شرق است و با افزایش شیب از ۹/۸ درصد تا حدود ۲۹ درصد، حضور گونه در رویشگاه دارای سیر صعودی است و پس از آن با محدودیت مواجه خواهد شد. (حضور گونه تا شیب حدود ۴۰ درصد)

جنگلی دامنه جنوبی البرز مرکزی پراکنش بیشینه گونه *Juniperus excelsa* را در ارتفاع ۲۸۵۰ - ۱۹۰۰، جهات شرق تا جنوب و شیب متوسط ۵۵ درصد عنوان کردند. Sarangzai et al. (2012) نیز در بررسی بوم‌شناسی *Juniperus excelsa* در بلوچستان پاکستان، دامنه ارتفاعی این گونه را ۳۰۰۰ - ۲۰۰۰ متر و شیب حضور گونه را ۱۰ تا ۳۰ درصد بیان کردند. همچنین، نتایج نشان داد که حداکثر توزیع گونه در منطقه‌هایی است که کمترین فاصله را با خط برف دارند (کمابیش ۰/۰۵ مایل) و در فاصله ۰ تا ۰/۳۱ مایل از خط برف و تابش خورشیدی ۵۰۰۰۰ وات بر مترمربع در ماه ژانویه و بارش حداکثر ۴۹ میلی‌متر در سردترین فصل سال و درجه‌حرارت صفر تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد در مرطوب‌ترین فصل سال و در بارش سالانه ۲۲۰ - ۱۲۰ میلی‌متر نیز احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد. اما با افزایش درجه‌حرارت و افزایش تابش در ماه می و جولای (بیش از ۲۳۰۰۰۰ وات بر مترمربع) و با فاصله گرفتن از خط برف حضور گونه محدود می‌گردد. به تعبیر دیگر، گونه *Juniperus excelsa* در مناطقی رشد و توسعه می‌یابد که نیاز رطوبتی آن در فصل سرد (بارش زمستان) و فصل گرم (ذوب برف) تأمین شود. Ahmed et al. (2006) در مطالعه جامعه‌شناسی و ساختار جنگل‌های هیمالیای پاکستان عامل فاصله از خط برف و عمق برف را در توزیع گونه *Juniperus excelsa* در این منطقه‌ها تأثیرگذار دانستند. بنابراین، نتایج گویای آن است که، ذوب برف و دامنه‌های برف‌گیر و رطوبت ناشی از آن، از مهمترین پارامترهای اثرگذار بر رشد گونه و توزیع آن در سطح منطقه می‌باشد، با توجه به وجود دوره خشکی (فصل خشک) سه تا پنج ماه، ذوب تدریجی برف در این دوره نقش مهمی در تأمین نیاز آبی گیاهان دارد. بنابراین، با افزایش ارتفاع و ماندگاری برف، کاهش دما بویژه در فصل‌های سرد سال، احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد. Sass-Klaassen et al. (2007) در مطالعه‌ی حلقه‌های رویشی *Juniperus excelsa* در کوهستان‌های شمالی عمان، متوسط درجه حرارت ۱۸، ماکزیمم ۳۶/۳ و مینیمم ۳/۶- درجه سانتی‌گراد را عنوان کردند. Momeni Mogadam et al. (2012) درجه حرارت متوسط سالانه ۸ درجه سانتی‌گراد را در مطالعه ارس‌زارهای استان خراسان، مناسب رشد این گونه بیان کردند. از آنجایی که تنها گونه غالب جنگلی و سوزنی برگ منطقه مورد

فرسایش کمک نماید.

نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ارتفاعات شمال شرقی و شمال غرب منطقه مورد مطالعه، در طبقه پتانسیل عالی برای رویشگاه گونه *Juniperus excelsa* قرار می گیرند، بخش های غربی و شرقی، دارای پتانسیل بسیار خوب و جنوب و مرکز کمابیش کمترین پتانسیل را برای توزیع گونه دارا می باشند. منطقه های با پتانسیل ضعیف، به طور معمول رویشگاه حدی گونه هستند و جمعیت ها در این منطقه ها آسیب پذیر تر از دیگر مناطق هستند. از سوی دیگر این مناطق رویشگاه بهینه گونه های دیگری هستند که می بایست طی مطالعات دیگری شناسایی شوند و برای احیای پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین در این بخش پس از شناسایی عامل های تخریب و کنترل آن ها، می بایست پوشش گیاهی زیراشکوب (گونه های استپی) تقویت شود. منطقه های با پتانسیل متوسط و خوب می بایست مورد حفاظت و پایش مستمر قرار گیرند و ضمن کاهش عامل های تخریب، احیا با استفاده از گونه های پیشرو بومی و کاشت بذر یا نهال های تولید شده از پایه های مادری موجود در منطقه پیشنهاد می شود. منطقه های با پتانسیل بسیار خوب و عالی عرصه های مناسب برای مدیریت به صورت ذخیره گاه جنگلی یا منطقه حفاظت شده هستند. در این منطقه ها می بایست ورود دام اهلی محدود شود و فعالیت های مخرب نظیر معدن یا عملیات عمرانی به طور کامل ممنوع گردد. عرصه های تحت این بخش که در حال حاضر بدون پوشش درختی قابل توجه هستند، منطقه مناسبی جهت توسعه (جنگلکاری یا بذرکاری) اکوتیپ ارس بومی منطقه هستند. مطالعات میدانی در بخش هایی از منطقه مورد تحقیق، نشان داد که جمعیتی از گونه دچار ارس واش (*Arceuthobium oxycedri*) شده و در حال نابودی می باشند. با در نظر گرفتن احتمال های بیان شده، نگرانی برای از دست رفتن دیگر رویشگاه های ارس ایران نیز افزایش می یابد، بنابراین، این منطقه ها، توجه لازم برای کاربرد راهکارهای حفاظتی توسط مدیران متخصص را طی یک برنامه زمانی طولانی مدت می طلبند. از آنجائی که گونه *Juniperus excelsa*، یکی از گونه های درختی مهم منطقه مورد مطالعه بوده و از منظر حفظ خاک، جلوگیری از فرسایش و کاهش خطر بیابان زایی نیز در منطقه دارای اهمیت است، باید برنامه ریزی

مطالعه، *Juniperus excelsa* بوده و منطقه های متراکمی از توده های جنگلی در زون رویشی ایران و تورانی وجود ندارد، با تصاویر ماهواره ای در مقیاس کمابیش ۱ کیلومتر، سنجه NDVI منطقه برای حضور گونه در دامنه ۰/۳۸ - ۰/۱۲ مشاهده شد. از منظر زمین شناسی، بیشترین حضور گونه در واحد pC-C^{۱۸} و Tre^{۱۹} که نشان دهنده حضور گونه بر بستر آهکی خاکستری، نازک، پهن، سنگ های آهکی شیلی زرد متمایل به صورتی با ضخامت خوب و بستر آهکی دولومیتی است. *et. Mateveski al.* (2010)، مناطقی گرم با خاک های کم عمق و سنگ بستر آهکی در شبه جزیره بالکان جنوبی در مقدونیه، *et Sarangzai al.* (2012)، مناطقی با خاک های آهکی و Stampoulidis *et al.* (2013) بسترهایی با خاک های کم عمق و سنگی را مناسب برای رشد و توسعه گونه *Juniperus excelsa* بیان کردند و Ravanbakhsh *et al.* (2016) نیز به نتیجه مشابه در مطالعه جامعه شناسی جنگل های *Juniperus excelsa* در کوهستان البرز دست یافتند. همچنین، Kaky and Gillbert (2016) نتیجه گرفتند که مدل های توزیع گونه ای، توانایی شناسایی رویشگاه های مطلوب جدید را برای گونه های ناشناخته دارند، استفاده از چنین مدلی موجب صرفه جویی در وقت و هزینه شده و یک ابزار بسیار مفید برای کمک به برنامه ریزی برای فرآیند حفاظت بوده و نمایانگر مکان های جدید برای حفاظت در کشورهای مختلف می باشند. مقایسه نقشه پیش بینی شده با شرایط واقعی، گویای آن است که مدل های توزیع گونه ای، فراتر از آشیان واقعی^{۲۰} گونه، رویشگاه آن را پیش بینی کرده و بخش های وسیعی از این منطقه ها، در حال حاضر بدون گونه *Juniperus excelsa* می باشند. عملیات میدانی شواهدی از حضور این گونه در گذشته را نشان می داد. تصاویر استفاده شده برای تعیین NDVI در این پژوهش، مربوط به ۱۶ سال اخیر می باشد، بنابراین، احتمال وجود گونه در گذشته های دورتر در منطقه می رود. نتایج حاصل شده در مطالعه حاضر، با استفاده از پارامترهای مختلف محیطی مانند اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی، تابش خورشیدی و .. به دست آمده است اما در واقعیت، گونه با موانع مختلفی از جمله فعالیت های انسانی، رقابت گونه ای، وقایع حدی، گرمایش جهانی و ... نیز مواجه است که باید مدنظر قرار گیرند. نتایج می تواند به اولویت بندی منطقه ها جهت حفاظت از *Juniperus excelsa* به عنوان یک عنصر مهم و اثرگذار بر تنوع زیستی و گونه محافظ خاک و کاهش دهنده

- ³ Species distribution models
- ⁴ Discrimination
- ⁵ Profile
- ⁶ Generalized Additive Models
- ⁷ Classification and Regression Trees
- ⁸ Genetic Algorithm for Rule -Set Prediction
- ⁹ Ecological Niche Factor Analysis
- ¹⁰ Global Positioning System
- ¹¹ Digital Elevation Model
- ¹² Normalized Difference of Vegetation Index
- ¹³ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
- ¹⁴ Receiver Operating Characteristic
- ¹⁵ True Skill Statistic
- ¹⁶ Cohen's Kappa Statistic
- ¹⁷ Area Under the Curve
- ¹⁸ Late proterozoic - early Cambrian undifferentiated rocks
- ¹⁹ thick bedded grey o'olitic limestone thin - platy, yellow to pinkish shaly limestone with worm tracks and well to thick - bedded dolomite and dolomitic limestone (ELIKAH FM)
- ²⁰ Realize niche

Accadia, C., Mariani, S., Casaioli, M., Lavaqini, A. and Speranza, A., 2005. Verification of precipitation forecasts from two limited-area models over Italy and comparison with ECMWF forecasts using a resampling technique. *Weather and Forecasting*. 20, 276–300.

Ahmed, M., Husain, T., Sheikh, A.H., Hussain, S.S. and Siddiqui, M.F., 2006. Phytosociology and structure of Himalayan forests from different climatic zones of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*. 38(2), 361.

Allouche, O., Tsoar, A. and Kadmon, R., 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*. 43(6), 1223-1232.

Austin, M.P. and Meyers, J.A., 1996. Current approaches to modelling the environmental niche of eucalypts: implication for management of forest biodiversity. *Forest Ecology and Management*. 85(1-3), 95-106.

لازم جهت حفاظت از این گونه فراهم شود. همچنین، نتایج نشان داد که مدل Domian با وجود آنکه تنها از داده‌های حضور استفاده می‌کند، اما می‌تواند روش مفیدی جهت پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب گونه *Juniperus excelsa* در کوهستان البرز ایران باشد. این مدل با عملکردی بالا قابلیت شناسایی مکان‌های رشد گونه را با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف محیطی مانند اقلیم، توپوگرافی، فاصله از خط برف، NDVI و ... را داشته و می‌تواند متخصصان را در تدوین یک برنامه‌ریزی حفاظتی طولانی مدت برای گونه یاری نماید. از آنجائی که گونه *Juniperus excelsa* در لیست قرمز ICUN قرار دارد و در ناحیه ایران و تورانی با آسیب‌های انسانی و طبیعی زیادی روبرو است، با مدیریت حفاظتی می‌توان از تهدید این گونه و تغییر آن به شرایط مورد تهدید و یا در معرض خطر جلوگیری کرد.

پی‌نوشت‌ها

¹ *Juniperus excelsa*

² Logistic Regression

منابع

Carpenter, G., Gillison, A.N. and Winter, J., 1993. DO-MAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation*. 2(6), 667-680.

CAWRC -The Centre for Australian Weather and Climate Research, 2015. Forecast verification: issues, methods and FAQ. Read 13. 5. 2015. Available online at: <http://www.cawcr.gov.au/projects/verification/>.

Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement of nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*. 20, 37–46.

Duan, R.Y., Kong, X.Q., Huang, M.Y., Fan, W.Y. and Wang, Z.G., 2014. The predictive performance and stability of six species distribution models. *PloS One*. 9(11), e112764.

Elith, J. and Leathwick, J.R., 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across

- space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 40, 677–697.
- Franklin, J., 2009. *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. In press
- Garsia, C.I., 2013. Predicted effects of climate change on the distribution of the invasive grass *dichanthium annulatum*. MSc. Thesis. University of Texas-Pan American, USA.
- Gastón, A. and García-Viñas, J.I., 2011. Modelling species distributions with penalized logistic regressions: a comparison with maximum entropy models. *Ecological Modelling*. 222(13), 2037-2041.
- Graham, C.H., Elith, J., Hijmans, R.J., Guisan, A., Townsend Peterson, A., Loiselle, B.A. and NCEAS Predicting Species Distributions Working Group., 2008. The influence of spatial errors in species occurrence data used in distribution models. *Journal of Applied Ecology*. 45, 239–247.
- Green, R.E., Osborne, P.E. and Sears, E.J., 1994. The distribution of passerine birds in hedgerows during the breeding season in relation to characteristics of the hedgerow and adjacent farmland. *Journal of Applied Ecology*. 31, 677-692.
- Guisan, A. and Thuiller W., 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*. 8, 993–1009.
- Guisan, A. and Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. 135, 147-186.
- Hernandez, P.A., Graham, C., Master, L.L. and Albert, D.L., 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*. 29(5), 773-785.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25(15), 1965-1978.
- Jafarian Jeloudar, Z., 2008. Spatial modeling of Rangeland vegetation using ecological indicators and satellite data. Ph.D. Thesis. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.
- Kaky, E. and Gilbert, F., 2016. Using species distribution models to assess the importance of Egypt's protected areas for the conservation of medicinal plants. *Journal of Arid Environments*. 135, 140-146.
- Khan, M., Khan, A.U. and Gilani, A.H., 2012. Pharmacological explanation for the medicinal use of *Juniperus excelsa* in hyperactive gastrointestinal and respiratory disorders. *Journal of Natural Medicines*. 66(2), 292-301.
- Khan, S.W. and Khatoon, S., 2007. Ethno botanical studies on useful trees and shrubs of Haramosh and Bugrote valleys in Gilgit Notheren areas of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*. 39(3), 699-710.
- Landis, J.R. and Koch, G.G., 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometric*. 33, 159-174.
- Matevski, V., Čarni, A., Kostadinovski, M., Marinšek, A., Mucina, L., Paušič, A. and Šilc, U., 2010. Notes on phytosociology of *Juniperus excelsa* in Macedonia (southern Balkan Peninsula). *Hacquetia*. 9(1), 161-165.
- McCullagh, P. and Nelder, J.A., 1989. *Generalized Linear Models (Monographs on statistics and applied probability 37)*. Chapman Hall, London.
- Miller, J., 2010. Species Distribution Modeling. *Geography Compass*. 4(6), 490–509.
- Momeni Moghadam, T., Sagheb–Talebi, K., Akbarinia, M., Akhavan, R. and Hosseini, S.M., 2012. Impact of some physiographic and edaphic factors on quantitative and qualitative characteristics of Juniper forest (case study: Layen Region-Khorasan). *Iranian Journal of For-*

est. 4(2),143-156.

Pěkníková, J. and Berchová-Bímová, K., 2016. Application of species distribution models for protected areas threatened by invasive plants. *Journal for Nature Conservation*. 34, 1-7.

Sahragard, H.P. and Ajourlo, M., 2018. A comparison of logistic regression and maximum entropy for distribution modeling of range plant species (a case study in rangelands of western Taftan, southeastern Iran). *Turkish Journal of Botany*. 42(1), 28-37.

Park, S., Hamm, S.Y., Jeon, H.T. and Kim, J., 2017. Evaluation of logistic regression and multivariate adaptive regression spline models for groundwater potential mapping using R and GIS. *Sustainability*. 9(7), 1157.

Pourmajidian, M.R. and Moradi, M., 2009. Investigation on the site and silvicultural properties of *Juniperus excelsa* in natural forests of Ilan in Qazvin province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 17(3), 475-487.

Prates-Clark, C.D.C., Saatchi, S.S. and Agosti, D., 2008. Predicting geographical distribution models of high-value timber trees in the Amazon Basin using remotely sensed data. *Ecological Modelling*. 211(3), 309-323.

Priti, H., Aravind, N.A., Shaanker, R.U. and Ravikanth, G., 2016. Modeling impacts of future climate on the distribution of Myristicaceae species in the Western Ghats, India. *Ecological Engineering*. 89, 14-23.

Ravanbakhsh, H. and Moshki, A., 2016. The influence of environmental variables on distribution patterns of Irano-Turanian forests in Alborz Mountains, Iran. *Journal of Mountain Science*. 13(8), 1375-1386.

Ravanbakhsh, H., Hamzehe, B., Etemad, V., Marvie Mohadjer, M.R. and Assadi, M., 2016. Phytosociology of *Juniperus excelsa* M. Bieb. forests in Alborz mountain range in the north of Iran. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*. 150(5), 987-1000.

Ravanbakhsh, H., Marvi Mohajer, M.R., Asadi, M., Zobeiri, M. and Etemad, V., 2013. Classification of *Juniperus excelsa* M. Bieb forests vegetation and its analysis of relationship with environmental variables. *Forest and Wood Product (Iranian Journal of Natural Resources)*. 66(3), 277-292.

Razanamahandry, L.C., Andrianisa, H.A., Karoui, H., Podgorski, J. and Yacouba, H., 2018. Prediction model for cyanide soil pollution in artisanal gold mining area by using logistic regression. *Catena*. 162, 40-50.

Sabeti, H., 2008. *Forests, trees and shrubs of Iran*. Fifth ed. Yazd University Press, Iran.

Sagheb-Talebi, K., Pourhashemi, M. and Sajedi, T., 2014. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*. Springer, Germany.

Saki, M., Tarkesh, M., Bassiri, M. and Vahabii, M.R., 2013. Application of logistic regression tree model in determining habitat distribution of *Astragalus verus*. *Ijae*. 1(2), 27-38.

Sarangzai, A.M., Ahmed, M., Ahmed, A., Tareen, L. and Jan, S.U., 2012. The ecology and dynamics of *Juniperus excelsa* forest in Balochistan-Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*. 44(5), 1617-1625.

Sass-Klaassen, U., Leuschner, H.H., Buerkert, A. and Helle, G., 2007. Tree-ring analysis of *Juniperus excelsa* from the northern Oman Mountains. TRACE Dendrosymposium, 3th-6th May, Riga, Latvia.

Stampoulidis, A. and Milios, E., 2010. Height structure analysis of pure *Juniperus excelsa* M. bieb. stands in Prespa national park in Greece. *Forestry*. 16(2), 239-244.

Stehman, S., 1996. Estimating the kappa coefficient and its variance under stratified random sampling. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 62(4), 401-407.

Swets, J.A., 1988. *Measuring the accuracy of diagnostic*

systems. *Science*. 240(4857), 1285-1293.

Tarkesh, M. and Jetschke, G., 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. *Environmental Ecology*. 19(3), 437-457.

Tobena, M., Prieto, R., Machete, M. and Silva, M., 2016. Modeling the potential distribution and richness of Cetaceans in the Azores from fisheries observer program data. *Frontiers in Marine Science*. 3, 1-19.

Tsoar, A., Allouche, O., Steinitz, O., Rotem, D. and Kadmon, R., 2007. A comparative evaluation of presence-only methods for modelling species distribution. *Diversity and Distributions*. 13(4), 397-405.

Ward, D.F., 2007. Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand. *Biological Invasions*. 9(6), 723-735.

Warren, R., VanDerWal, J., Price, J., Welbergen, J.A., Atkinson, I. and Ramirez-Villegas, J., 2013. Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. *Nature Climate Change*. 3(7), 678-82.

Wilson, P.D., 2011. Distance-based methods for the analysis of maps produced by species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution*. 2(6), 623-633.

Yu, J., Wang, C., Wan, J., Han, S., Wang, Q. and Nie, S., 2014. A model-based method to evaluate the ability of nature reserves to protect endangered tree species in the context of climate change. *Forest Ecology and Management*. 327, 48-54.

Zare Chahouki, M., Abbasi, M. and Azarnivand, H., 2014. Spatial distribution modeling for *Agropyron intermedium* and *Stipa barbata* species habitat using binary logistic regression (case study: rangeland of Taleghan miany). *PEC*. 2(4), 47-60.

Zare Chahouki, M.A., Jafari, M., Azarnivand, H., Moghaddam, M.R., Farahpour, M. and Shafizadeh NasrAbadi, M., 2007. Application of logistic regression to study the relationship between presence of plant species and environmental factors. *Pajouhesh & Sazandegi Journal*. 20, 136-143.

Zohary, M., 1973. *Geobotanical Foundations of the Middle East*. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, Germany.





Environmental Sciences Vol. 18/ No. 2/ Summer 2020

237-254

Modeling the potential distribution of *Juniperus excelsa* using environmental factors in Alborz Mountains

Samira Sadat Fatemi,^{1*} Mohammad Rahimi,¹ Mostafa Tarkesh² and Hooman Ravanbakhsh³

¹ Department of Combat Desertification, Faculty of desert studies, Semnan University, Semnan, Iran

² Department of Range & Watershead Management, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

³ Department of Forest Researches, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 2019.08.02 Accepted: 2019.12.30

Sadat Fatemi, S., Rahimi, M., Tarkesh, M. and Ravanbakhsh, H., 2020. Modeling the potential distribution of *Juniperus excelsa* using environmental factors in Alborz Mountains. *Environmental Sciences*. 18(2): 237-254.

Introduction: Species distribution modeling is a common method for understanding the relationships between a species and its environment and is used to predict the changes in distribution due to environmental changes. A lot of research has been done around the world based on these models. In this study, the optimal habitat of *Juniperus excelsa*, an indicator species, and the most important tree species in Irano-Turanian forests in the Alborz Mountains have been investigated using 38 environmental parameters and domain and logistic regression models.

Material and methods: The study area consists of parts of the Alborz Mountains located in the north of Iran with an area of 14656 km². In the present study, a stratified random sampling method was used to determine the sampling sites. Finally, 390 occurrence sites (240 presence sites and 150 absentee sites) of *J. excelsa* at a 30-second scale (approximately 1 km×1 km) as the input model was studied. Also, 38 environmental parameters were considered as predictive variables for implementing two models of the domain and logistic regression.

Results and discussion: The results showed that the domain model had a high performance for predicting the habitat of *J. excelsa* with AUC =0.97, Kappa =0.730, and TSS = 0.91. Based on the results, the areas with the lowest potential for the presence of *J. excelsa* were 5665.95 km², the moderate potential was 2033.1 km², the good potential was 3076.38 km², the very good potential was 3063.42 km², and the high potential was 817.29 km². The results obtained from the implementation of the logistic regression model indicated that 5084.37 km² of the studied

*Corresponding Author. *Email Address:* samirafatemi86@gmail.com

area was in the class of least potential, 2539.35 km² had moderate potential, 1410.21 km² had good potential, 1104.84 km² had very good potential, and 4517.37 km² had high potential. Also, the results showed that the suitable habitats for *J. excelsa* were regions with a mean diurnal range of 13 °C and 15.5 °C, annual precipitation of 120-220 mm, precipitation of 64-90 mm, precipitation of coldest quarter of 35-60 mm, the altitude from the sea level of 3100-1800 m, and a slope of 30-10% in the southern, southeast, and east directions. Also, the probability of species occurrence was more in areas near the snow and water line as well as on calcic rocks. Also, in the habitat of *J. excelsa* the NDVI index varied between 0.38 and 0.20. The results of the performance evaluation of the models showed that the domain model had higher performance in predicting the suitable habitat of *J. excelsa* than the logistic regression model in the study area.

Conclusion: Species distribution models can provide a suitable management plan for different parts of the habitat. Areas with low potential of suitable habitat are usually partial habitats and populations in these areas are more vulnerable than the others, whereas areas with very good potential are excellent for a protected area. Areas with good to the excellent potential that do not have significant tree cover are suitable for forestry and native ecosystem restoration. The present study showed that the domain model, despite using only presence data, can be a useful method for predicting the suitable habitat of *J. excelsa* in the Alborz Mountains. Therefore, it can be stated that species distribution models, with acceptable accuracy, have enough performance in the evaluation of species distribution and can be used to execute conservation strategies.

Keywords: Domain model, Environmental data, Irano-Turanian forests, Logistic regression.