بررسی تغییرات کمی و کیفی زیستگاه سنجاب ایرانی در جنگل‌های استان لرستان تا سال ۲۰۵۰ بر اساس مدل اقلیمی CCSM4

- **امید قدیریان**: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
- **محمودرضا همامی***: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
- **علیرضا سفیانیان**: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ١٣٩٦ تاریخ پذیرش: آبان ١٣٩٦

چکیده

طبق برآوردهای IUCN حدود ۳۰ درصد انقراض‌های موجودات تا سال ۱۹۸۰ به‌دلیل نابودی زیستگاه بوده است. تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین عوامل نابودی زیستگاه در سال‌های اخیر بوده‌اند. جنگل‌ها از حساس‌ترین اکوسیستم‌ها به تغییرات اقلیمی هستند، در نتیجه گونه‌های جنگلی مانند سنجاب‌ها در معرض آسیب‌هایی زیادی از طرف تغییرات اقلیمی قرار دارند. پیش‌بینی نحوه اثرگذاری تغییرات اقلیمی بر زیستگاه گونه‌ها می‌تواند به برنامه‌ریزی حفاظت از گونه‌ها کمک شایانی کند. مدل‌سازی زیستگاه یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر گونه‌ها و زیستگاه‌های آن‌ها در آینده دور و نزدیک است و مدل حداکثر آنتروپی یکی از کارآمدترین مدل‌ها در این زمینه به‌حساب می‌آید. به‌همین منظور در این مطالعه از مدل حداکثر آنتروپی به‌همراه ۱۳ عامل محیطی برای شناسایی زیستگاه‌های مطلوب سنجاب ایرانی در جنگل‌های استان لرستان در زمان حال و چگونگی تاثیرگذاری تغییرات اقلیمی بر این زیستگاه‌ها تا سال ۲۰۵۰ بر اساس مدل اقلیمی CCSM4 استفاده شد. شاخص سطح زیر نمودار برابر با ۰/۹۲ نشان‌دهنده کارایی خوب این مدل در این مطالعه بود. نتایج نشان داد که در زمان حال حدود ۵۷ درصد جنگل‌های استان لرستان دارای مطلوبیت زیستگاهی برای گونه سنجاب ایرانی هستند که از این میزان ۱۷/۷۸ درصد مطلوبیت زیاد، ۲۵/۵۹ درصد مطلوبیت متوسط و ۱۳/۶۳ درصد مطلوبیت کم را دارا هستند. هم‌چنین نتایج نشان داد که براساس مدل اقلیمی CCSM4 مناطق جنگلی دارای مطلوبیت زیستگاهی برای سنجاب ایرانی، از ۵۷ درصد کل مساحت جنگل‌های استان لرستان در زمان حال به ۲۲/۵۸ درصد در سال ۲۰۵۰ کاهش خواهد یافت که از این میزان ۵/۳۶ درصد مطلوبیت زیاد، ۸/۲ درصد مطلوبیت متوسط و ۸/۹۹ درصد مطلوبیت کم را دارا خواهند بود.

کلمات کلیدی: نابودی زیستگاه، مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه، سنجاب ایرانی، تغییر اقلیم

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mrhemami@cc.iut.ac.ir

مقدمه

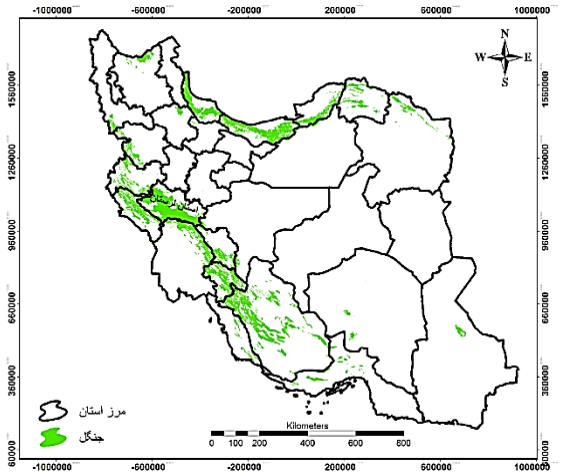
برطبق برآوردهای IUCN حدود ۳۰٪ انقراض‌های موجودات تا سال ۱۹۸۰ به‌دلیل نابودی زیستگاه بوده است، لذا می‌توان نابودی زیستگاه‌را به‌عنوان مهم‌ترین تهدید حیات‌وحش به‌حساب آورد (Segan و همکاران، ۲۰۱۶). تخریب و تجزیه زیستگاه سبب کاهش مساحت و در نتیجه محدود شدن جمعیت‌های محلی به زیستگاه‌های کوچک می‌شود. نتیجه این امر افزایش درون‌آمیزی، کاهش تنوع‌ژنتیکی و افزایش ریسک انقراض است (مصطفوی، ۱۳۸۹). یکی از مهم‌ترین عوامل نابودی زیستگاه در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی است (Segan و همکاران، ۲۰۱۶). تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار اقلیمی یک منطقه در مقایسه با رفتاری که در طول دوره زمانی بلندمدت از اطلاعات ثبت و مشاهده شده مورد انتظار است (علیزاده، ۱۳۸۸). امروزه وقوع تغییر اقلیم مورد توافق بسیاری از محققان است و آثار به‌جامانده در محیط مانند افزایش نیم درجه‌ای دمای جهان نسبت به سال ۱۹۷۰ (IPCC، ۲۰۰۷) و گسترش کمربند حاره‌ای کره زمین (IPCC، ۲۰۰۷) نیز چنین دگرگونی‌های اقلیمی را تایید می‌کند. جنگل‌ها از حساس‌ترین اکوسیستم‌ها به تغییرات اقلیمی هستند (Walther و همکاران، ۲۰۰۲) در نتیجه گونه‌های جنگلی در معرض آسیب‌های زیادی به‌دلیل تغییرات اقلیمی قرار دارند. سنجاب‌ها گونه‌هایی به‌شدت وابسته و متکی به اکوسیستم‌های جنگلی هستند (Koprowski و همکاران، ۲۰۱۶). سنجاب ایرانی (*Sciurus anomalus*) یکی از پستانداران شاخص جنگل‌های بلوط زاگرس است که پراکنش آن در ایران مناطق جنگلی زاگرس از سردشت واقع در آذربایجان‌غربی تا مناطق چهارمحال محال و بختیاری، لرستان، فارس و کهگیلویه و بویراحمد را شامل می‌شود (ضیائی، ۱۳۹۰). این گونه به‌شدت به جنگل‌های بلوط زاگرس به‌عنوان زیستگاه وابسته است و از طرف دیگر دانه‌های بلوطی که توسط سنجاب ایرانی جمع‌آوری و در زیر خاک پنهان می‌شوند، یکی از عوامل مهم تجدید حیات این جنگل‌ها به‌شمار می‌آیند (ضیائی، ۱۳۹۰). مطالعات محدود انجام شده در ایران در مورد سنجاب ایرانی مربوط به سال‌های اخیر می‌باشد و بر آشکارسازی تغییرات زیستگاه این گونه در دهه‌های اخیر (صادقی، ۱۳۹۲)، مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ خلیلی و همکاران، ۱۳۹۵) و انتخاب محل‌های لانه گزینی (Khalili و همکاران، ۲۰۱۶) متمرکز بوده است. عواملی مانند ارتفاع، فاصله از جاده و پوشش گیاهی (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵)، شیب، قطر درختان بلوط، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از جاده و ارتفاع درخت (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۵) ازجمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکندگی این گونه شناخته شده‌اند. مطالعاتی نیز روی این گونه در خارج از ایران صورت گرفته‌است. به‌عنوان مثال Amr و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی وضعیت پراکندگی سنجاب ایرانی در کشور اردن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این گونه در تمامی زیستگاه‌هایی که درخت کاج وجود دارد توزیع شده است. Albayrak و Atilla (۲۰۰۶) نیز زیستگاه سنجاب ایرانی را در بخش‌هایی از ترکیه مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که درختانی که توسط این گونه عمدتاً مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از درختان بلوط، صنوبر و کاج. با توجه به خشکیدگی بخش‌هایی از جنگل‌های زاگرس به‌دلیل تغییرات اقلیمی و احتمال افزایش زوال این جنگل‌ها در آینده (بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۴) تنوع زیستی این جنگل‌ها مورد تهدید قرار گرفته است. تاثیر کاهش و چندپاره شدن جنگل‌ها بر گونه‌های مختلف متفاوت است ولی با توجه به این‌که گونه‌هایی مانند سنجاب‌های درختی برای تغذیه و تولیدمثل به‌شدت به درختان جنگلی وابسته‌اند، بدون تردید در اثر زوال جنگل‌ها کاهش جمعیتی شدیدی را تجربه خواهند کرد (خلیلی و ملکیان، ۱۳۹۳). بنابراین لازم است برنامه های حفاظتی قبل از کاهش شدید جمعیت برای آن‌ها تدوین گردد. در این راستا مدل‌سازی زیستگاه نقش مهمی را می‌تواند بازی می‌کند (Harrison و همکاران، ۲۰۰۶). مدل‌سازی زیستگاه یک تکنیک مشخص و تکرارپذیر برای تشریح، کمی کردن و نقشه‌سازی ارزش‌های تنوع زیستی است (اشرف زاده و دانه‌کار، ۱۳۹۰). مدیریت گونه‌های در معرض خطر، بازسازی بوم‌سازگان‌ها، معرفی مجدد گونه‌ها، تحلیل‌های زیست‌مندی جمعیت، تضادهای انسان و حیات‌وحش و تعیین اثرات تغییرات اقلیمی بر گونه‌ها و زیستگاه‌های آن‌ها اغلب به مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه وابسته است (باقری، ۱۳۸۹). مدل حداکثر آنتروپی یک مدل آماری است که توسط Philips و همکاران (۲۰۰۴) به‌منظور کاربرد در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای تهیه شده است. این مدل جزء روش‌های یادگیری ماشینی و مبتنی بر نظریه حداکثر بی‌نظمی و یکی از قوی‌ترین و کارآمدترین روش‌های معرفی‌شده در زمینه مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها تاکنون است (Philips و همکاران، ۲۰۰۶). از مزایای این روش می‌توان به قابلیت استفاده از هر نوع داده پیوسته و گسسته با ماهیت‌های مختلف، جزئیات پیش‌بینی به‌دلیل ماهیت پیوسته مدل‌های حاصله و سرعت و سادگی استفاده از آن اشاره کرد (Thorn و همکاران، ۲۰۰۹).

تاکنون با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی مطالعاتی در رابطه با اثرات تغییر اقلیم بر گونه‌ها انجام گرفته است. به‌عنوان مثال اسدیان و علی آبادیان(۱۳۹۲) به با استفاده از مدل حداکثرآنتروپی به‌ارزیابی پراکنش گونه بالابان در سطح دنیا و پیش‌بینی پراکنش آن در سال ۲۰۵۰ پرداختند. نتایج حاصل نشان داده بود که پراکنش این گونه در آینده بسیار محدود خواهد شد و امکان حذف این گونه از بعضی کشورها به‌طورکامل وجود دارد. هم‌چنین کفاش و همکاران (۱۳۹۲) مطلوبیت زیستگاه سوسمار دم‌تیغی را در بین‌النهرین در شرایط کنونی (۲۰۱۳) و تحت سناریوهای تغییر اقلیم آینده (۲۰۸۰) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی بررسی کردند. نتایج حاکی از این بود که در شرایط کنونی ۸۲/۲٪ کل ایران برای این گونه مطلوب است که این میزان تحت سناریوهای تغییر اقلیم آینده به ۱۵/۳٪ کاهش خواهد یافت. با توجه به‌عدم وجود چنین مطالعاتی در رابطه با سنجاب ایرانی، در این مطالعه از مدل حداکثرآنتروپی به‌همراه ۱۳ عامل محیطی تاثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه این گونه در جنگل‌های بلوط استان لرستان استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور بررسی تغییرات رخداده در زیستگاه این گونه در اثر تغییرات اقلیمی تا سال ۲۰۵۰، از سناریوهای منتشر شده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC=International panel on climate change) استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه: استان لرستان با مساحتی حدود ۲۸۰۰۰ کیلومتر مربع دارای حدود دو میلیون و ۱۰۰ هزار هکتار عرصه جنگلی و مرتعی است که از این میزان حدود یک میلیون و ۲۳۰ هزار هکتار جنگل است که ۴۴٪ از مساحت استان را دربر می‌گیرد (شکل ۱). این استان سرزمینی کوهستانی است که حدود ۸۵٪ مساحت آن را رشته کوه‌هایی نسبتاً موازی و پراکنده فراگرفته‌اند. ۳ ناحیه بارز آب و هوایی در این استان قابل مشاهده است که عبارتند از ناحیه سرد کوهستانی، ناحیه معتدل مرکزی و ناحیه گرم جنوب. لرستان به‌لحاظ اقلیم و هواشناسی یک استان چهار فصل است که تنوع آب و هوایی از شمال به جنوب و از شرق به غرب این استان کاملاً محسوس است. حداکثر و حداقل دمای ثبت شده در این استان به‌ترتیب عبارتند از ۴۷/۴ و ۳۶- و میانگین بارش سالانه این استان ۵۵۰ میلی‌متر است. با توجه به شرایط خاص توپوگرافی، اقلیمی و پوشش گیاهی ، حدود ۲۵ درصد از تنوع‌زیستی کشور در این استان وجود دارد.

مطالعه توکلی و همکاران (۱۳۹۱) بر جنگل‌های استان لرستان حاکی از خشکیدگی حدود ۲۰ درصد این جنگل‌ها تا سال ۱۳۹۱ بود. از طرف دیگر مطالعه عطارد و همکاران(۱۳۹۴)نشان‌دهنده نقش‌بالای عوامل اقلیمی در خشکیدگی جنگل‌های استان لرستان بود. عطارد و صادقی (۱۳۹۲) در مطالعه خود روی پارامترهای اقلیمی زاگرس به افزایش دما، تبخیر و تعرق روزانه، سرعت نسبی باد و کاهش بارندگی، رطوبت نسبی و در نهایت شاخص خشکی دومارتن در یک دهه اخیر پی‌بردند.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و پراکندگی جنگل‌های استان لرستان و استان‌های همجوار

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه: در این مطالعه به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی از نرم‌افزار مکسنت (MaxEnt) که از مدل حداکثر آنتروپی برای مدل‌سازی بهره می‌برد استفاده گردید. این نرم‌افزار برای انجام مدل‌سازی نیاز به دو نوع ورودی دارد. یکی نقاط حضور گونه که به‌عنوان متغیر وابسته درنظر گرفته می‌شود و دیگری عوامل محیطی تاثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه گونه مورد نظر که به‌عنوان متغیرهای مستقل درنظر گرفته می‌شوند. به‌همین منظور در این مطالعه از ۲۶ نقطه حضور سنجاب ایرانی در جنگل‌های استان لرستان(تهیه‌شده از اداره‌کل محیط زیست استان لرستان) بهره گرفته شد. ۷۵٪ نقاط به‌منظور مدل‌سازی و ۲۵٪ نقاط به‌منظور ارزیابی صحت مورد استفاده قرار گرفتند (Brown و Yoder، ۲۰۱۵). هم‌چنین پس از بررسی همبستگی بین عوامل محیطی با احتمال تاثیر بر مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۳؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ خلیلی و همکاران، ۱۳۹۵)، عوامل با همبستگی بالای ۰/۷۵

(Brown و Yoder، ۲۰۱۵) حذف و در نهایت ۱۳ عامل (جدول ۱) به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی انتخاب شد.

جدول ۱: عوامل محیطی مورد استفاده برای مدل‌سازی

عوامل اقلیمی	عوامل غیراقلیمی
میانگین دمای سالیانه (Bio1)	فاصله از جاده
میانگین دمای روزانه (Bio2)	فاصله از شهر
دمای فصلی (Bio4)	فاصله از اراضی کشاورزی
دامنه دمای سالیانه (Bio7)	درصد شیب
میانگین بارش سالیانه (Bio12)	جهت جغرافیایی
میزان بارش خشک‌ترین دوره (Bio14)	شاخص پوشش گیاهی نرمال شده*
بارش فصلی (Bio15)	

*Normalized Difference Vegetation Index

در این مطالعه از داده‌های به‌روزرسانی و محلی‌سازی شده اقلیمی به‌منظور مدل‌سازی استفاده‌شد. در اکثر مدل‌سازی‌ها داده‌های اقلیمی Bioclim(Hijmansوهمکاران،۲۰۰۵)از سایت www.worldclim.org دانلود و مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما با توجه به این‌که این داده‌ها اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های استفاده شده تا سال ۲۰۰۵ را دربر دارند و با توجه به این‌که پراکنش و فراوانی ایستگاه‌های استفاده شده برای کشورایران چندان مناسب نیست، به‌روزرسانی و محلی‌سازی این داده‌ها براساس ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه ضروری به‌نظر می‌رسد. در این مطالعه به‌منظور به‌روزرسانی و محلی‌سازی داده‌های اقلیمی Bioclimازبسته dismo(Hijmans و همکاران،۲۰۱۶)در محیط نرم‌افزار R و از داده‌های ۲۰ ایستگاه سینوپتیک مربوط به استان لرستان و استان‌های اطراف (جدول ۲) استفاده شد.

ریز مقیاس‌سازی: به‌منظورارزیابی تغییرات اقلیمی آینده از مدل CCSM4 (Community Climate System Model) تحت سناریوی بدبینانه (RCP8.5) استفاده شد. مدل CCSM4 مدل تدوین‌شده مرکز تحقیقات هواشناسی آمریکا است. مدل مذکور از سناریوهای جدید منتشره RCP (Representative Concentration Pathways) است که هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود از آن با عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای نام برده‌اند (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۵). براساس سناریوی بدبینانه واداشت تابشی کره زمین به ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید. در این حالت غلظت دی‌اکسیدکربن به ۱۰۰۰PPM (Part Per Million) خواهد رسید و هم‌چنان روند افزایشی خواهد داشت (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۵). خروجی مدل‌های گردش عمومی جو برای برآورد مدل‌های منطقه‌ای بزرگ مقیاس به‌کار می‌روند. در واقع مدل‌های گردش عمومی هیچ‌گاه نمی‌توانند مستقیماً برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند و نیازمند ریزمقیاس‌گردانی هستند تا با اعمال رفتارهای محلی در آن‌ها پیش‌بینی‌هایشان در مقیاس‌های محلی بهبود یابند. به‌طورکلی می‌توان گفت ریزمقیاس‌گردانی روشی برای دستیابی به اطلاعات آب و هوایی یا تغییر آب و هوا با وضوح بالا از مدل‌های آب و هوایی سیاره‌ای با قدرت تفکیک پایین است و می‌توان براساس آن تغییر آب و هوا را در مقیاس نقطه‌ای و ایستگاه هواشناسی را ارزیابی کرد (شمسی‌پور، ۱۳۹۲). روش‌های ریزمقیاس نمایی به دو دسته کلی روش‌های آماری و روش‌های دینامیکی تقسیم می‌شوند. دراین پژوهش برای ریزمقیاس نمایی مکانی داده‌ها از نرم‌افزار LARS WG که یکی از روش‌های آماری به‌شمار می‌رود استفاده شد (Semenov و همکاران، ۱۹۹۸). این روش برای تولید دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش به‌صورت روزانه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود و به‌دلیل تکرار محاسبات، نیاز کم‌تر به داده‌های ورودی و سادگی و کارایی بالا به‌مراتب از دیگر روش‌ها پرکاربردتر است (Dibike و coulibaly، ۲۰۰۵). با استفاده از این نرم‌افزار ابتدا پارامترهای بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل تمامی ایستگاه‌های نام برده شده در جدول ۲ برای سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شد و سپس با استفاده از این داده‌ها و بسته dismo در محیط نرم‌افزار R هر هفت عامل اقلیمی نام برده شده در جدول ۱ برای سال ۲۰۵۰ نیز پیش‌بینی شدند. در نهایت نقاط حضور سنجاب ایرانی در جنگل‌های استان لرستان به‌همراه ۱۳ عامل‌محیطی ذکر شده، به‌منظور تعیین مطلوبیت زیستگاه این گونه وارد نرم‌افزار مکسنت شدند. به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر تعداد تکرار برای مدل‌سازی ۲۰ مرتبه انتخاب شد. در نهایت نقشه مطلوبیت حاصله، به ۴ طبقه فاقد مطلوبیت (ارزش‌های زیر ۰)، مطلوبیت کم (ارزش‌های بین ۰ تا ۰/۲۵)، مطلوبیت متوسط (ارزش‌های بین ۰/۲۵ تا ۰/۵) و مطلوبیت زیاد (ارزش‌های بین ۰/۵ تا ۱) طبقه‌بندی شد. هم‌چنین به‌منظور بررسی اثرات تغییرات اقلیمی رخ داده تا سال ۲۰۵۰ بر زیستگاه سنجاب ایرانی، عوامل اقلیمی تهیه شده مرتبط با سال ۲۰۵۰ در بخش Projection نرم‌افزار وارد شدند. از نتایج آزمون جک‌نایف در خروجی نرم‌افزار برای شناسایی کردن عوامل محیطی اصلی تاثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی استفاده شد.

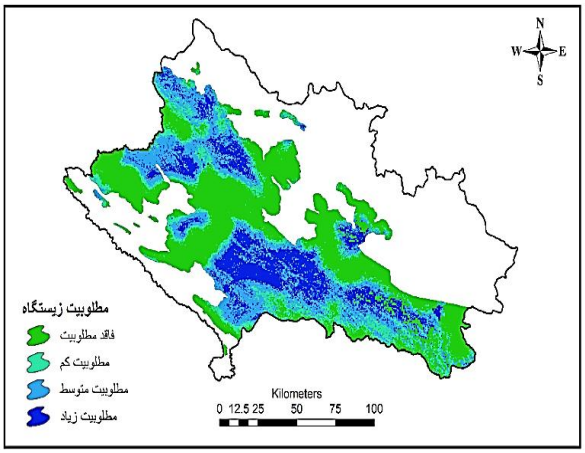
جدول ۲: ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده در این مطالعه

نام ایستگاه	دوره آماری (سال)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
ازنا	۱۵	۴۹/۴۰	۳۳/۴۴	۱۸۷۱/۱
الشتر	۱۸	۴۸/۲۴	۳۳/۸۲	۱۵۶۷/۱
الیگودرز	۲۹	۴۹/۷۰	۳۳/۴۰	۲۰۲۲/۱
بروجرد	۲۶	۴۸/۷۵	۳۳/۹۱	۱۶۲۹
پل دختر	۱۷	۴۷/۷۱	۳۳/۱۵	۷۱۳/۵
خرم آباد	۶۴	۴۸/۲۸	۳۳/۴۳	۱۱۴۷/۸
دورود	۱۵	۴۹	۳۳/۵۲	۱۵۲۲/۳
کوهدشت	۱۸	۴۷/۶۴	۳۳/۵۲	۱۱۹۷/۸
نورآباد	۱۵	۴۸	۳۴/۰۵	۱۸۵۹
کنگاور	۲۸	۴۷/۹۸	۳۴/۵	۱۴۶۸
سرارود	۲۶	۴۷/۲۹	۳۴/۳۳	۱۳۶۱/۷
نهاوند	۱۹	۴۸/۴۱	۳۴/۱۴	۱۶۷۷/۸
ملایر	۲۳	۴۸/۸۵	۳۴/۲۴	۱۷۷۶/۵
خمین	۱۴	۵۰/۰۶	۳۳/۶۲	۱۸۳۴/۶
اراک	۶۰	۴۹/۷۸	۳۴/۰۷	۱۷۰۲/۸
دزفول	۵۴	۴۸/۳۸	۳۲/۴	۱۴۳
مسجد سلیمان	۳۰	۴۹/۲۴	۳۱/۹۸	۳۲۰/۵
ایلام	۲۹	۴۶/۳۹	۳۳/۵۸	۱۳۳۷
دهلران	۲۸	۴۷/۲۸	۳۲/۶۸	۲۳۲
داران	۲۳	۵۰/۳۶	۳۲/۹۶	۲۲۹۰

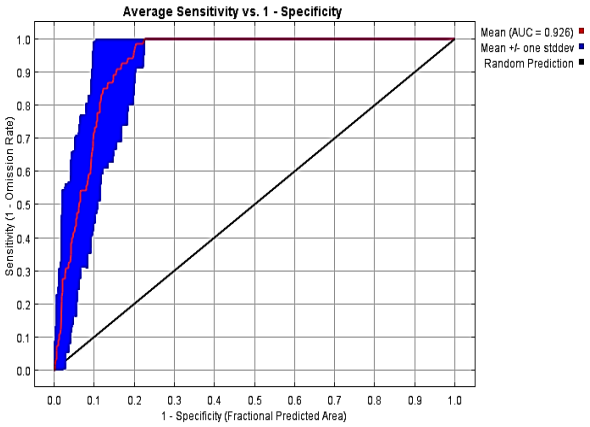
نتایج

شکل ۲ نقشه طبقات مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی در جنگل‌های استان لرستان را نمایش می‌دهد. براساس این شکل و جدول ۳، حدود ۵۷٪ جنگل‌های استان لرستان دارای مطلوبیت زیستگاهی برای گونه سنجاب ایرانی هستند که از این بین حدود ۱۳/۶۳٪ دارای مطلوبیت کم، ۲۵/۵۹٪ دارای مطلوبیت متوسط و ۱۷/۷۹٪ دارای مطلوبیت زیاد هستند. تکرار ۲۰ باره مدل و AUC متوسط ۰/۹۲ نشان‌دهنده کارایی خوب این مدل در این مطالعه است (شکل ۳).

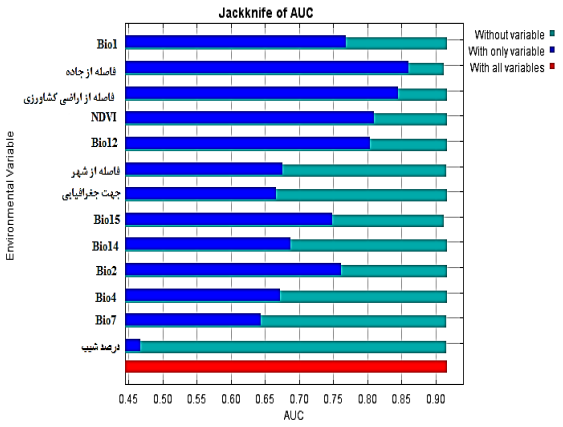
نتایج حاصل از آزمون جک‌نایف در شکل ۴ به نمایش گذاشته شده است. براساس این شکل عوامل محیطی فاصله از جاده، فاصله از اراضی کشاورزی، NDVI، میانگین بارش سالیانه و میانگین دمای سالیانه به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی در استان لرستان هستند. شکل ۵ نقشه مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی در سال ۲۰۵۰ و براساس سناریوی بدبینانه (RCP8.5) را نشان می‌دهد. طبق این شکل و جدول ۳، با توجه به تغییرات اقلیمی رخ داده تا سال ۲۰۵۰ فقط حدود ۲۲/۵۸ درصد از جنگل‌های استان لرستان دارای مطلوبیت زیستگاهی برای گونه سنجاب ایرانی خواهند بود که از این بین حدود ۹ درصد دارای مطلوبیت کم، ۸/۲ درصد دارای مطلوبیت متوسط و حدود ۵/۳۷ درصد دارای مطلوبیت زیاد خواهند بود. میزان و نحوه تغییرات صورت گرفته در مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی، تاشی از تغییرات اقلیمی پیش بینی شده تا سال ۲۰۵۰ براساس مدل CCSM4 و سناریوی بدبینانه RCP8.5، در جدول ۳ به نمایش گذاشته شده است.



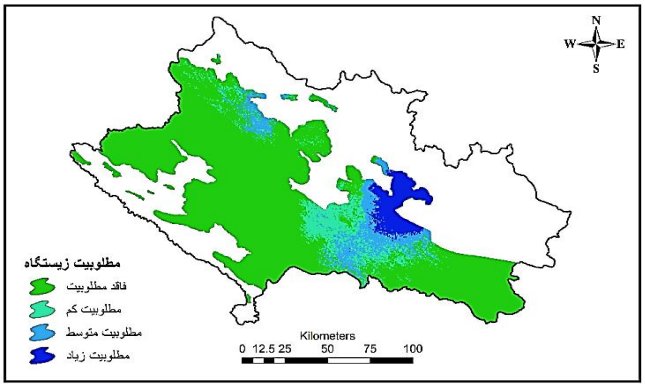
شکل ۳: نقشه مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی در زمان حال



شکل ۳: کارایی مدل حداکثر آنتروپی در این مطالعه براساس شاخص AUC



شکل ۴: میزان اثرگذاری عوامل محیطی مختلف



شکل ۵: نقشه مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی در سال ۲۰۵۰

جدول ۳: میزان و چگونگی تغییر مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی تا سال ۲۰۵۰ بر اثر تغییر اقلیم

حال حاضر / سال ۲۰۵۰	فاقد مطلوبیت	مطلوبیت کم	مطلوبیت متوسط	مطلوبیت زیاد	مجموع
فاقد مطلوبیت	٪۳۴/۶۸	٪۱۱/۰۸۸۹	٪۲۰/۱۴۴۵	٪۱۱/۵۱۱۹	٪۷۷/۴۲
مطلوبیت کم	٪۱/۸۳	٪۰/۹۴۵۶	٪۲/۶۲۲۱	٪۳/۵۹۳۱	٪۸/۹۹
مطلوبیت متوسط	٪۳/۰۶	٪۱/۱۳۳۴	٪۲/۰۱۹۹	٪۱/۹۹۱۱	٪۸/۲۰
مطلوبیت زیاد	٪۳/۴۰	٪۰/۴۶۵۲	٪۰/۸۰۵۲	٪۰/۶۹۳۶	٪۵/۳۶
مجموع	٪۴۲/۹۸	٪۱۳/۶۳	٪۲۵/۵۹	٪۱۷/۷۸	٪۱۰۰

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر اقلیم می‌تواند تاثیر جدی و شدیدی بر زیستگاه‌های مطلوب سنجاب ایرانی در استان لرستان گذارد. Harrison و همکاران (۲۰۰۶) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی قابلیت تاثیرگذاری منفی بر حدود ۹۸ درصد زیستگاه سنجاب ایرانی در اروپا تا پایان قرن بیست و یکم را داراست. این مطالعه نشان داد که زیستگاه مطلوب سنجاب ایرانی از ۵۷ درصد در زمان حال به ۲۲/۵۸ درصد از کل جنگل‌های استان لرستان تقلیل می‌یابد. باید به این نکته توجه کرد که از این ۲۲/۵۸ درصد، فقط ۱۴/۲۵ درصد مناطقی از جنگل است که در زمان حال نیز دارای مطلوبیت بوده است و مابقی مناطقی است که در زمان حال فاقد مطلوبیت زیستگاهی برای سنجاب ایرانی بوده است. بر این اساس می‌توان گفت که سنجاب ایرانی حدود ٪۷۵ زیستگاه‌های

مطلوب خود در زمان حال را تا سال ۲۰۵۰ بر اثر تغییرات اقلیمی از دست می‌دهد. در این مطالعه نیز مانند مطالعات خلیلی و ملکیان (۱۳۹۳)، Mounir و همکاران (۲۰۱۴)، مرادی و همکاران (۱۳۹۵) و خلیلی و همکاران (۱۳۹۵) فاصله از جاده نقش مهمی در تعیین مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی داشت. منحنی پاسخ فاصله از جاده نشان می‌دهد که در ابتدا با فاصله گرفتن از جاده میزان مطلوبیت زیستگاهی برای سنجاب ایرانی افزایش می‌یابد ولی با افزایش بیش‌تر فاصله از جاده این رابطه برعکس می‌شود و از میزان مطلوبیت زیستگاهی کاسته می‌شود. در تفسیر نقش جاده در تعیین مطلوبیت زیستگاهی گونه‌ها، باید به نقش جاده به‌عنوان مسیرهای دسترسی به‌منظور برداشت نقاط حضور گونه توجه داشت. مرادی و همکاران (۱۳۹۵) به این نتیجه رسیدند که هرچه فاصله از جاده کم‌تر شود مطلوبیت زیستگاهی برای سنجاب ایرانی افزایش می‌یابد و به‌طور مخالف خلیلی و ملکیان (۱۳۹۳) به این نتیجه رسیدند که با افزایش فاصله از جاده میزان مطلوبیت زیستگاهی برای سنجاب ایرانی افزایش می‌یابد. باید به این نکته توجه داشت که زمانی‌که حیوانات به انتخاب زیستگاه می‌پردازند، سعی در برقراری تعادل مابین عوامل متعددی دارند، لذا انتخاب زیستگاه نتیجه تعادل بین هزینه‌ها و مزیت‌های عوامل زیستگاهی است (مومنی، ۱۳۸۸). بنابراین تمامی عوامل به‌طور توامان باید درنظر گرفته شوند. در این مطالعه فاصله از اراضی کشاورزی و NDVI نیز تاثیر بالایی بر تعیین مطلوبیت زیستگاهی سنجاب ایرانی داشتند. منحنی‌های پاسخ نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین NDVI و فاصله از اراضی کشاورزی با میزان مطلوبیت زیستگاهی سنجاب ایرانی در استان لرستان بودند. مشخصاً وجود اراضی کشاورزی باعث بالارفتن شاخص NDVI خواهد شد و علت استفاده از این دو عامل به‌طور توامان ایجاد تفاوت بین مناطق جنگلی متراکم با اراضی کشاورزی بود. خلیلی و همکاران (۱۳۹۵) و مرادی و همکاران (۱۳۹۵) نیز به به این نتیجه رسیدند که مناطق با پوشش گیاهی متراکم دارای مطلوبیت زیستگاهی بالاتری برای سنجاب ایرانی است. اگرچه عوامل میانگین دمای سالیانه (Bio1) و میانگین بارش سالیانه (Bio12) در مراتب بعدی ولی نزدیک به پوشش گیاهی از لحاظ تاثیرگذاری بر مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی هستند، می‌توان گفت شاخص پوشش گیاهی به شدت تحت تاثیر این دو عامل اقلیمی است. نقش تغییر اقلیم و تاثیرگذاری آن بر گونه‌ها امروزه کاملاً پذیرفته شده است (Segan و همکاران، ۲۰۱۶). در این بین گونه‌های جنگلی به‌علت حساسیت اکوسیستم‌های جنگلی به تغییرات اقلیمی، خطرات بیش‌تری را از این نظر پیش‌روی خود دارند. Amr و همکاران (۲۰۰۶) کاهش جمعیت سنجاب ناشی از خشکسالی را گزارش کرده‌اند. در کنار این در دهه‌های اخیر موارد متعددی از خشکیدگی جنگل‌ها ناشی از خشکسالی گزارش شده است (Allen و همکاران، ۲۰۱۰). همه این موارد نشان می‌دهد که انجام اقدامات پیشگیرانه برای حفاظت از سنجاب ایرانی در برابر تاثیرات منفی تغییرات اقلیمی در آینده، ضروری است. در این راستا چنین مطالعاتی می‌تواند نقش کمک کننده‌ای داشته باشد و مطالعه پیش‌رو نیز با توجه به AUC برابر با ۰/۹۲ قابل اتکاست. مرادی و همکاران (۱۳۹۵) نیز کارایی مدل حداکثر آنتروپی در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه سنجاب ایرانی را تایید کرده‌اند. هم‌چنین اسدیان و علی‌آبادیان (۱۳۹۲) و کفاش و همکاران (۱۳۹۲) نیز در مطالعات خود کارایی مدل حداکثر آنتروپی در مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر گونه‌ها را تایید کرده‌اند. به‌عنوان مثال با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان مناطق جنگلی که در آینده برای سنجاب ایرانی مطلوب خواهند بود را شناسایی و مورد حفاظت قرار داد. همین‌طور در مناطقی که تحت تاثیر تغییرات اقلیمی، مطلوبیت زیستگاهی خود را از دست خواهند داد می‌توان به انجام اقدامات سازگارکننده پرداخت. اقدامات سازشی به‌معنای تلاش برای کاهش آسیب‌پذیری اکوسیستم‌ها و جوامع از طریق سازگار کردن سیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیک با تغییرات رخ داده در اقلیم است (Smit و همکاران، ۲۰۰۰). در نهایت پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات بعدی علاوه بر شناسایی و مشخص کردن تغییرات زیستگاهی ناشی از تغییرات اقلیمی، مناطق زیستگاهی که برای گونه مدنظر قابل دسترسی است نیز مشخص شود. در واقع باید موانع پراکندگی (Dispersal) گونه نیز درنظر گرفته شود تا علاوه بر مشخص کردن زیستگاه‌های مطلوب در آینده با توجه به تغییرات اقلیمی، آن بخش از این زیستگاه‌ها که قابل دستیابی برای گونه است نیز مشخص شود.

تشکر و قدردانی

از همکاری اداره کل محیط زیست استان لرستان برای همکاری در جمع‌آوری نقاط حضور سنجاب ایرانی صمیمانه قدردانی می‌گردد.

منابع

۱. **اسدیان، م. و علی‌آبادیان، م.، ۱۳۹۲.** ارزیابی پراکنش گونه بالابان با استفاده از مدل مکسنت. اولین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۲. **اشرف‌زاده، م. و دانه‌کار، ا.، ۱۳۹۰.** ارزیابی و مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه راهکاری برای مدیریت پایدار حیات‌وحش. اولین کنفرانس

ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست. تهران.

۳. **باقری، م.، ۱۳۸۹.** مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه و برآورد تراکم جمعیت گوراپرانی در منطقه حفاظت‌شده توران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. **بیرانوند، ا.؛ عطارد، پ.؛ توکلی، م. و مروی‌مهاجر، م.ر.، ۱۳۹۴.** زوال بوم‌سازگان جنگلی زاگرس، علل، پیامدها و راهکارها. فصلنامه جنگل و مرتع. شماره ۱۰۶، صفحات ۱۷ تا ۲۹.

۵. **توکلی، م.؛ محمدی‌نژاد، م.ر. و پیروزی، ف.، ۱۳۹۱.** بررسی پدیده زوال و خشکیدگی درختان بلوط *Oak decline* در عرصه‌های جنگلی استان لرستان. نخستین همایش ملی حقوق محیط‌زیست و منابع‌طبیعی زاگرس. خرم‌آباد.

۶. **خلیلی، ف. و ملکیان، م.، ۱۳۹۳.** بررسی وضعیت گونه سنجاب ایرانی (*Sciurus anumalus*) در ایران، دومین همایش ملی و تخصصی پژوهش‌های محیط زیست ایران. دانشکده شهید مفتح همدان.

۷. **خلیلی، ف.؛ ملکیان، م.؛ روجائی، ن. و همامی، م.ر.، ۱۳۹۵.** ارزیابی زیستگاه سنجاب ایرانی (*Sciurus anumalus*) در منطقه جنگلی سروک در استان کهگیلویه و بویراحمد. بوم‌شناسی کاربردی. شماره ۴، صفحات ۱۵ تا ۲۴.

۸. **شمسی‌پور، ع.، ۱۳۹۲.** مدل‌سازی آب و هوایی، نظریه و روش. انتشارات دانشگاه تهران. ۲۹۴ صفحه.

۹. **صادقی، م.، ۱۳۹۲.** آشکارسازی تغییرات زیستگاه سنجاب ایرانی در استان کردستان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۰. **ضیائی، ه.، ۱۳۹۰.** راهنمای صحرایی پستانداران ایران، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست. ۴۲۰ صفحه.

۱۱. **علیزاده، ا.، ۱۳۸۸.** اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا. ۹۴۲ صفحه.

۱۲. **عطارد، پ. و صادقی، م.، ۱۳۹۲.** بررسی پارامترهای اقلیمی زاگرس. نخستین همایش ملی مخاطرات محیط زیست زاگرس. خرم‌آباد.

۱۳. **عطارد، پ.؛صادقی، س.م.م.؛طاهری‌سرتشنیزی،ف.؛ ساروئی، س.؛عباسیان، پ.؛ مسیح‌پور، م.؛ کردستمی، ف. و دریکوندی، ا.، ۱۳۹۴.** اثرگذاری عوامل اقلیمی و تبخیر و تعرق بر زوال جنگل‌های زاگرس مرکزی در استان لرستان. فصلنامه تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران. سال ۱۳، شماره ۲، صفحات ۹۸ تا ۱۱۴.

۱۴. **کفاش، ا.؛ یوسفی، م.؛ احمدی، م.؛ کلهر، گ. و کابلی، م.، ۱۳۹۲.** پیش‌بینی اثر تغییرات اقلیمی بر خزندگان مناطق بیابانی ایران (مطالعه موردی سوسمار دم‌تیغی بین‌النهرین). سومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران. تهران.

۱۵. **گودرزی، م.،۱۳۹۰.** بررسی و ارزیابی تاثیرات وقوع پدیده دگرگونی اقلیمی روی رواناب سطحی کرخه علیا. رساله دکتری جغرافیای طبیعی گرایش کلیماتولوژی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

۱۶. **مرادی، س.؛ محمودی، ص. و شیخی‌ئیلانلو، ص.، ۱۳۹۵.** زیستگاه‌های جنگلی مناسب برای حفاظت از سنجاب ایرانی (*Sciurus anomalus pallescens*) در غرب استان کرمانشاه. فصلنامه محیط زیست جانوری. سال ۸، شماره ۲، صفحات ۳۳ تا ۴۰.

۱۷. **مصطفوی، م.، ۱۳۸۹.** تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه‌های بهاره و تابستانه گونه پازن *aegagrus Capra* در پارک ملی لار. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی. سال ۵، شماره ۲، صفحات ۱۱۲ تا ۱۲۲.

۱۸. **مومنی، م.، ۱۳۸۸.** انتخاب زیستگاه و برآورد فرآوانی گورخر ایرانی در پارک ملی قطرویه. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۹. **Albayrak, U. and Atilla, A., 2006.** Contribution to the taxonomical and biological characteristics Sciurus anomalus in Turkey. Turkish Journal Zoology. Vol. 30، pp: 111-116.

۲۰. **Allen, C.D.; Macalady, A.K.; Chenchouni, H.; Bachelet, D.; McDowell, N.; Vennetier, M.; Kitzberger, T.; Rigling, A.; Breshears, D.D.; Hogg, E.H.; Gonzalez, P.; Fensham, R.; Zhang, Z.; Castro, J.; Demidova, N.; Lim, J.H.; Allard, G.; Running, S.W.; Semerci, A. and Cobb, N., 2010.** A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. Forest Ecology and Management. Vol. 259, pp: 660-684.

۲۱. **Amr, Z.S.; Eid, E.; QarQaz, M.A. and Abu BaKer, M., 2006.** The status and distribution of the Persian squirrel, *Sciurus anomalus*, in Dibbeen Nature Reserve, Jordan. Zoologische Abhandlungen (Dresden). Vol. 55, pp: 199-207.

۲۲. **Brown, J.L. and Yoder, A.D., 2015.** Shifting ranges and conservation challenges for lemurs in the face of climate change. Ecology and Evolution. Vol. 5, pp: 1131-1142.

۲۳. **Dibike, Y.B. and Coulibaly, P., 2005.** Hydrologic impact of Climate Change in The Saguenay Watershed: Comparison of Downscaling Methods and Hydrologic Models. Journal of Hydrology. Vol. 307, pp: 145-163.

۲۴. **Harrison, P.A.; Berry, P.M.; Butt, N. and New, M., 2006.** Modelling climate change impacts on species' distributions at the European scale: implications for conservation policy. Environmental Science and Policy. Vol. 9, pp: 116-128.

۲۵. **Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.J. and Jarvis, A., 2005.** Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology. Vol. 25, pp: 1965-1978.

۲۶. **Hijmans, R.J.; Philips, S.; Leathwick, J. and Elith, J., 2016.** dismo: Species Distribution Modeling. R package version. Vol. 1, pp: 1-4.

۲۷. **IPCC. 2007.** The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. UK. 976 p.

۲۸. **Khalili, F.; Malekian, M. and Hemami, M.R., 2016.** Characteristics of den, den tree and sites selected by the Persian squirrel in Zagros forests, western Iran. Mammalia. Vol. 80, pp: 560-570.

۲۹. **Koprowski, L.J.; Gavish, L. and Doumas, S.L., 2016.** Sciurus anomalus. Mammalian species. Vol. 48, pp: 48-58.

۳۰. **Mounir, R.A.; Jeannette, E.K.; Hassane, M. and Zuhari, S.A., 2014.** Ecology of the Persian Squirrel, Sciurus anomalus, in HorshEhden Nature Reserve, Lebanon. Vertebrate Zoologt. Vol. 64, pp: 127-135.

۳۱. **Philips, J.S.; Dudik, M. and Schapire, E., 2004.** A maximum entropy approach to species distribution modeling. Proceedings of the Twenty-First International Conference of Machin Learning, Banff. Alberta, Canada.

۳۲. **Phillips, S.J.; Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006.** Maximum entropy modeling of species geographical distributions. Ecological Modeling. Vol. 190, pp: 231-259.

۳۳. **Segan, D.B.; Murray, K.A. and Watson, J.E., 2016.** A global assessment of current and future biodiversity vulnerability to habitat loss-climate change interactions. Global Ecology and Conservation. Vol. 5, pp: 12-21.

۳۴. **Semenov, M.A.; Brooks, R.J.; Barrow, E.M. and Richardson, C.W., 1998.** Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diverse climates. Climate Research. Vol. 10, pp: 95-107.

۳۵. **Smit, B.; Burton, I.; Klien R.J. and Wandel, J., 2000.** An anatomy of adaptation to climate change and variability. Climatic change. Vol. 45, pp: 223-257.

۳۶. **Thorn, J.S.; Nijman, V.; Smith, D. and Nekaris, K.A.I., 2009.** Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates: Nycticebus). Diversity and Distributions. Vol. 15, pp: 289-298.

۳۷. **Walther, G.R.; Post, E.; Convey, P.; Menzel, A.; Parmesan, C.; Beebee, T.J.C.; Fromentin, J.M.; Hoeghguldberg, O. and Bairlein, F., 2002.** Ecological responses to recent climate change. Nature. Vol. 416, pp: 389-395.