مدل‌سازی توزیع و شناسایی اتصالات لکه‌های زیستگاهی پلنگ ایرانی (*Panthera pardus tulliana*) در استان یزد

فاطمه دهجی[۱]، مریم مروتی[۱*] و مهدی زارع خورمیزی[۲]

[۱] **ایران، اردکان، دانشگاه اردکان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه علوم و مهندسی محیط زیست**

[۲] **ایران، یزد، اداره کل حفاظت محیط زیست**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸

چکیده

پلنگ ایرانی (*Panthera pardus tulliana*) بزرگ‌ترین گونه از خانواده گربه‌سانان در ایران با وسیع‌ترین پراکنش در میان گربه‌سانان بزرگ‌جثه است که در اغلب زیستگاه‌های کشور پراکندگی دارد. این مطالعه با هدف شناسایی لکه‌های زیستگاهی و مسیرهای اتصال بین لکه‌های شناخته شده برای پلنگ ایرانی انجام گرفته است. به‌منظور مدل‌سازی از نقاط حضور گونه و ۱۱ متغیر زیستگاهی شامل رطوبت توپوگرافی، ارتفاع، زبری ارتفاع، فاصله از جاده‌های اصلی، فاصله از مناطق مسکونی، تراکم قله، شاخص تراکم پوشش‌گیاهی، زبری تراکم پوشش‌گیاهی، شاخص تفاضل بهنجار آب، ضریب دید آسمان و عمق دره‌ها به همراه روش‌های حضور و شبه‌عدم‌حضور درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (CART)، جنگل تصادفی (RF)، TreeNET و MARS استفاده گردید. تمام مدل‌های احتمالی به روش میانگین AUC با یکدیگر ترکیب شدند و از معکوس آن نقشه هزینه حاصل گردید. نقشه‌های حاصل از حد آستانه با یکدیگر جمع شدند و در جمع جبری ۴ اندازه‌های مختلف گستره خانگی لکه‌های زیستگاهی تعیین گردید. با استفاده از روش تحلیل کمترین هزینه (LCP) دالان‌های بین لکه‌های زیستگاهی شناسایی شدند. اتصال مناطق حفاظت‌شده استان به یکدیگر نیز از تئوری مدار الکتریکی انجام گرفت. بر پایه توافق بین نتایج مناطق حفاظت‌شده کالمند و بافق همچنین منطقه شکار ممنوع شیرکوه به‌ترتیب بیشترین مساحت، مناطق حفاظت‌شده و پارک‌ملی سیاه‌کوه کمترین مساحت از زیستگاه گونه را در برگرفته‌اند. در تلفیق با نتایج حاصل از تحلیل کمترین هزینه بر پایه لکه‌های زیستگاهی باید اشاره کرد که اتصال لکه‌های زیستگاهی منطقه حفاظت‌شده بافق به منطقه حفاظت‌شده کالمند می‌تواند تضمین‌کننده انتشار گونه در مناطق شیرکوه و مرور باشد.

واژه‌های کلیدی: پلنگ ایرانی، کریدور، زیستگاه، استان یزد

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۳۵۲۷۱۴۲ ، پست الکترونیکی:Mymorovati@ardakan.ac.ir

مقدمه

یکی از مهم‌ترین فاکتورها در جهت حفاظت از گونه‌ها مخصوصاً گونه‌های در معرض انقراض می‌توان به زیستگاه اشاره کرد. تخریب و انهدام زیستگاه‌های حیات‌وحش یکی از اصلی‌ترین عوامل تهدیدکننده گونه‌ها و تنوع زیستی محسوب می‌گردد (۷). حفاظت از تنوع زیستی به یک مسئله و نگرانی جهانی تبدیل شده است. با افزایش جمعیت انسان و نیاز روزافزون به منابع، نابودی تنوع زیستی و تخریب بوم-سازگان‌های طبیعی در ابعادی وسیع افزایش یافته است (۱۵). تصرف و دخالت‌های انسانی ممکن است باعث کاهش قدرت جابه‌جایی و ارتباط و همچنین مانع استفاده از زیستگاه‌ها شود (۱۶). لکه‌های زیستگاهی به دلیل گستره‌های کوچک، معمولاً در تأمین نیازهای ضروری تعداد زیادی از

جمعیت‌های مهره‌داران و تضمین پایداری آن‌ها ناتوان‌اند و بسیاری از این جمعیت‌های منزوی و کوچک با خطر انقراض محلی روبه‌رو هستند (۲۹). پیش‌بینی و ارزیابی تهدیدات متوجه زیستگاه‌ها، یکی از چالش‌انگیزترین ابعاد برنامه‌ریزی حفاظت به دلیل پیش‌بینی ناپذیری، تغییر گسترده و کمبود اطلاعات موجود راجع به ارتباطات کارکردی فرآیندهای بوم-شناختی و آثار آن‌ها در اکوسیستم‌های مختلف می‌باشد (۲۶). یکی از کارآمدترین روش‌های حفاظت از گونه‌های حیات-وحش، نگه‌داری و حمایت از جمعیت‌های باقی مانده آن‌ها در اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشد. بنابراین بررسی کارایی مناطق حفاظت شده، قرارگیری لکه‌های زیستگاهی نسبت به-هم و ارتباط بین آن‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اقدامات حمایتی در جهت بهبود وضعیت حفاظتی گونه‌ها و بررسی انعطاف‌پذیری آن‌ها به تغییرات زیستگاه می‌باشد (۱۰). کریدورها اثرات منفی تکه‌تکه شدن زیستگاه را کاهش می-دهند و جهت اتصال مناطق زیستگاه اصلی گونه و آسان کردن جابه‌جایی دارای اهمیت هستند و همچنین انعطاف-پذیری بیشتری را برای مواجه با تنش‌ها ایجاد می‌کند (۲۵). ارتباط بین جمعیت‌ها و لکه‌های زیستگاهی عامل مهمی است که بر گستره وسیعی از فرآیندهای بوم‌شناختی نظیر پویایی ابرجمعیت‌ها، جریان ژن، افزایش گستره پراکنش گونه‌ها، حفظ تنوع زیستی و بقاء جمعیت‌ها تأثیرگذار است و یک ویژگی مهم سیمای سرزمین به حساب می‌آید (۱۸). از مهم-ترین اشکال حرکت گونه‌ها در سیمای سرزمین می‌توان به مهاجرت اشاره کرد (۳۹). حرکت و جابه‌جایی افراد در دوره‌های کوتاه‌مدت تا میان‌مدت امکان انتشار، مهاجرت‌های فصلی، دسترسی به زیستگاه‌های خالی و پویایی فراجمعیت‌ها و همچنین در بلندمدت امکان تغییر محدوده پراکنش گونه‌ها در واکنش نسبت به تغییر اقلیم را ایجاد کرده و سبب حفظ تنوع ژنتیکی می‌گردد (۶). تخریب و تغییرات زیستگاه یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌های موجود جهت حفاظت از پلنگ ایرانی(*Panthera pardus tulliana*) به‌وسیله عوامل انسانی می-باشد. در طی سالیان اخیر به‌علت تخریب زیستگاه و شکار جمعیت پلنگ در ایران با کاهش مواجه شده است. از جمله مطالعات انجام گرفته بر روی پلنگ می توان به موارد زیر اشاره کرد.

Rodriguez و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی و شناسایی کریدورهای زیست‌پذیر و بالقوه بین مناطق تحت مدیریت و حفاظت گونه جگوار (*Panthera onca*) در مکزیک با استفاده از روش کم هزینه‌ترین مسیر پرداختند. طبق نتایج شش کریدور زیست‌پذیر و هفت کریدور بالقوه وجود دارد، که دو کریدور بالقوه به‌عنوان توقفگاه بین راهی بین دو منطقه بزرگ استفاده می‌شد (۴۲).

Pelletier و همکاران در سال ۲۰۱۴ برای توسعه کریدور و مدیریت در مقیاس منطقه‌ای در اکوسیستمی جنگلی در منطقه کانادا برای گونه کبک از تئوری مدار الکتریکی استفاده کردند. نتایج نرم‌افزار Circuitscape مسیرهای حرکت محلی بین لکه‌های زیستگاهی و هم مسیرهای حرکت منطقه‌ای که منطقه مطالعه را پوشش می‌دهد آشکار ساخت (۳۹).

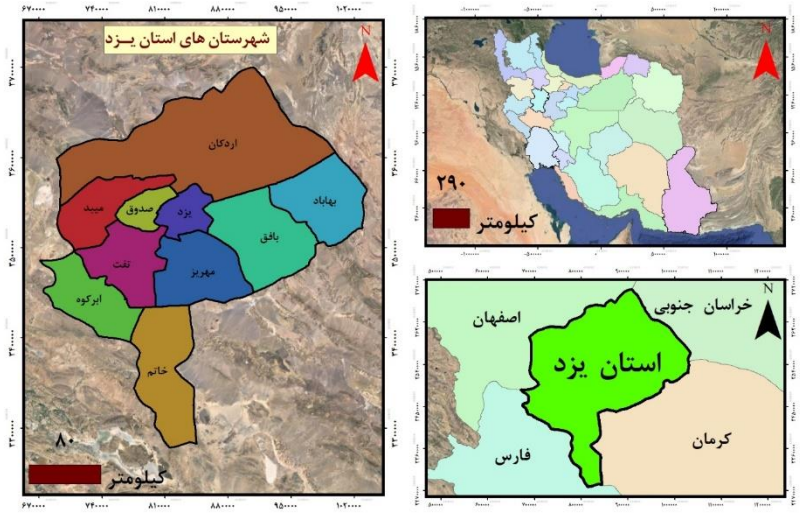
مخفی و همکاران در سال ۱۳۹۹ اقدام به شناسایی کریدورهای زیستگاهی گوسفند وحشی ارمنی در مناطق حفاظت شده خانگرمز و آلموبلاغ در استان همدان کردند. باتوجه به بررسی‌های به‌عمل آماده بروی نقشه‌ها و بررسی-های میدانی سه مسیر انتخاب گردید. مسیر اول به دلیل مسافت طولانی و قرارگرفتن در بین روستا و داشتن ارتفاع کمتر و همچنین نزدیکی به جاده‌های اصلی مناسب در نظر گرفته نمی‌شود. مسیر دوم و سوم باتوجه به این که هر دو در انتها به یک مسیر منتهی می‌شود مناسب‌تر بوده و می‌تواند به-عنوان کریدور اصلی در نظر گرفته شوند (۲۰).

از آنجایی‌که پلنگ دارای اهمیت زیادی در برقراری تعادل و افزایش برازش در جمعیت‌های مختلف سایر پستانداران دارد، بنابراین شناسایی نیازهای زیستگاهی این گونه‌ی با ارزش از نیازهای ضروری مدیران مناطق حفاظتی است. هدف از این مطالعه شناسایی زیستگاه‌های مطلوب برای پلنگ ایرانی در منطقه حفاظت شده کوه بافق، بهاباد یا منطقه آزاد بهاباد یا پناهگاه حیات‌وحش کمکی بهاباد، پناهگاه حیات‌وحش دره انجیر اردکان، کوه بختکی در منطقه حفاظت شده کالمند بهادران مهریز و محدوده‌ی بین این زیستگاه‌ها است، باتوجه به اینکه این گونه قابلیت جابه‌جایی بالایی دارد، اتصال آن‌ها به منظور حرکت ایمن و در عین حال مصرف حداقل انرژی توسط حیوان نقش بسیار مهمی در جریان ژنی و جلوگیری از انزوای ژنتیکی گونه دارد.

مواد و روشها

معرفی منطقه مورد مطالعه و ثبت نقاط حضور: استان یزد با ۷۴۶۵۰ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی بین ´۱۵ °۳۰ تا ´۲۰ °۳۲ عرض شمالی و ´۳۸ °۵۱ تا ´۳۹ °۵۷ طول شرقی واقع شده است (شکل۱). اغلب مناطق استان یزد دارای اقلیم خشک و بیابانی تا فراخشک است. از جمله عوامل خشکی آن غالب بودن سیستم پرفشار جنب حاره و تعرق بالاست. به علت ناهنجاری‌های اقلیمی نظیر کاهش میزان بارش، افزایش دما و موقعیت جغرافیایی استان، تقریباً نیمی از مساحت آن را اراضی بیابانی پوشانیده است که همواره در معرض فرسایش بادی و توفان‌های گردوغبار قرار می‌گیرند. آمار و اطلاعات هواشناسی نشان می‌دهد فراوانی پدیده گردوغبار از جمله توفان‌های گردوغبار در استان یزد بسیار بالاست (۳۶). براساس مطالعه انجام گرفته بر روی زیرگونه های مختلف پلنگ (۳۱)، نام علمی پلنگ ایرانی از *Panthera pardus saxicolor* به *Panthera pardus tulliana* تغییر کرده است. ثبت نقاط حضور در این مطالعه بر پایه مشاهداتی بوده است که توسط دوربین‌های تله‌ای (Camera Trap) مستقر در مناطق حفاظت‌شده بوده است. در کنار استفاده مختصات ثبت‌شده با استفاده از دوربین‌های تله‌ای به‌منظور تکمیل داده‌ها پیمایش‌های میدانی نیز در لکه‌های زیستگاهی شناسایی‌شده انجام گرفت. در این راستا ابتدا لکه‌های زیستگاهی مربوط به گونه شناسایی شدند، سپس در داخل لکه‌ها ترانسکت‌هایی با عرض ثابت و طول متغیر قرارگرفت و در طول این پیمایش‌ها تمام نمایه‌های باقی‌مانده از گونه شامل، سرگین، ردپا، پوست، مو و طعمه شکار شده نیز در کنار نقاط قبلی جمع‌آوری شدند و موقعیت تمام این نقاط با استفاده از سامانه موقعیت یاب جهانی (GPS) ثبت گردید.

متغیرهای تأثیرگذار زیستگاهی: متغیرهای زیستگاهی با استفاده از مرور مطالعات از پیش انجام گرفته بر روی این گونه (۷ و ۱۱) شناسایی شدند. متغیر مدل رقومی ارتفاع با دقت ۹۰ متر از سایت USGS تهیه گردید. سپس باتوجه به رابطه بین قدرت تفکیک مکانی و ابعاد محدوده مورد مطالعه قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر برای مطالعه انتخاب گردید و تمام متغیرهای زیستگاهی بااین قدرت تفکیک (۲۵۰×۲۵۰ متر) آماده شدند. برای تولید سایر متغیرهای زیستگاهی از مدل رقومی ارتفاعی به‌عنوان لایه پایه استفاده و تمام متغیرهای متناسب با آن تهیه شدند (۱۱و ۹). متغیرهای رطوبت توپوگرافی (Compound Topographic Index= CTI) ، زبری ارتفاع، شفافیت آسمان، عمق دره و تراکم قله با استفاده از مدل رقومی ارتفاع در نرم افزار Qgis تهیه شدند متغیر تراکم قله با استفاده از نقشه اشکال زمین تهیه شد به این منظور مدل رقومی ارتفاعی وارد نرم افزار SAGAGIS شد و در این نرم افزار شکل زمین محاسبه گردید سپس با استفاده از دستور طبقه بندی مجدد در محیط ArcGIS سایر طبقات شکل زمین ازش ۰ و تراکم قله ارزش ۱ گرفت و در نهایت وارد تحلیل شد (۱۶).



شکل ۱- موقعیت استان و شهرستان‌های یزد

متغیر رطوبت توپوگرافی به صورت یک شاخص مقدار رطوبت موجود در سطح زمین را با در نظر گرفتن موقعیت آبراهه‌ها نمایش می‌دهد (۴۴). زبری ارتفاع شدت نوسان در پستی و بلندی ارتفاع را با اعمال فیلترهای مجاورت آشکار می‌کند. بالا بودن ضریب دید را می‌توان به‌عنوان معیاری برای گشودگی به آسمان در نظر گرفت که مقادیر کمتراز ۱ به بخش‌هایی اشاره دارند که آسمان بسته‌تر است و مقدار۱ آن به بخش‌های اشاره دارد که گشودگی و میدان دید به آسمان بسیار بالا است این متغیر در نرم افزار SAGAGIS تهیه گردید. بر پایه این متغیر درصورتی‌که یک منطقه در محدوده‌ای بدون مانع باشد مقدار بازتاب به آسمان افزایش پیدا می‌کند. متغیرهای شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص تفاضل بهنجار شده آب (NDWI) با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در سامانه گوگل ارث انجین (Google Earth Engine) آماده شدند (۲۷). ازآنجایی که نباید بین لایه‌های متغیرهای زیستگاهی همبستگی بیش از ۰/۷۵ وجود داشته باشد (۳۸) لذا متغیرهایی که دارای همبستگی بیشتر از این مقدار بودند از تحلیل حذف شدند. ماتریس همبستگی بین متغیرهای محیطی با استفاده از جعبه ابزار Spatial Analyst Tools و دستور Band Collection Statistics در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 محاسبه شد.

مدل‌های زیستگاهی: دراین مطالعه از چهار مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (classification and regression trees =CART)، جنگل تصادفی (random forest=RF)، TreeNET و رگرسیون اسپیلاین چند متغیره (multi adaptive regression splines =MARS) در نرم افزار SPM استفاده شد. یکی از چالش‌های اصلی در مدل‌سازی‌های زیستگاه کمبود دسترسی به داده‌های عدم‌حضور است (۴۳). ایجاد نقاط شبه عدم-حضور برای ورود به مدل‌های حضور/ شبه عدم‌حضور به روش‌های متفاوتی قابل‌دسترس است (۴۱)، که در این مطالعه از روش ایجاد نقاط تصادفی استفاده گردید (۳۳). دراین راستا بر پایه مطالعات پیشین انجام گرفته تعداد نقاط شبه عدم‌حضور به‌صورت مضربی از نقاط حضور در نظر گرفته شد (۳۲)؛ اما ازآنجا که پایه مطالعه VanDerWal و همکاران (۲۰۰۹) گستره و تعداد نقاط شبه حضور بر روی کیفیت مدل تأثیر دارد از چندین مجموعه داده استفاده شد که شامل ایجاد

مجموعه داده های مختلف با اندازه برابر با نقاط حضور (۶۴ نقطه)، دو برابر نقاط حضور (۱۲۸)، ده برابر نقاط حضور (۶۴۰) و ۱۰۰۰ نقطه تصادفی به صورت تصادفی می باشد. ازآنجا که لازم است قدرت مدل‌های مذکور برای انجام مدل‌سازی ارزیابی گردد، دراین مطالعه برای اجرای مدل‌های مذکور ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها برای آزمون مورد استفاده قرارگرفتند.

ارزیابی مدل‌ها: به‌منظور ارزیابی کارایی مدل‌های مورداستفاده در مجموع از دو دسته متریک استفاده گردید که شامل متریک‌ها و معیارهای پیوسته و همچنین متریک‌های گسسته می‌باشند. متریک‌های پیوسته با در نظرگرفتن نقشه پیوسته مطلوبیت زیستگاه و متریک‌های گسسته با در نظر گرفتن متریک‌های اعمال‌شده بر روی حد آستانه شناسایی شدند. از متریک‌های پیوسته و مهم مورد استفاده AUC است. مقدار AUC بین ۰/۷ تا ۰/۸ بیانگر یک مدل خوب، بین ۰/۸ تا ۰/۹ مدل عالی و مقادیر بیش از ۰/۹ بیانگر اجرای مدل بسیار عالی است (۱۴). حساسیت و ویژگی در آمار دو شاخص برای ارزیابی نتایج یک آزمایش دسته‌بندی کننده هستند، زمانی که بتوان داده‌ها در را دو دسته قرار داد، به‌طور مثال در دو دسته داده‌های حضور و عدم‌حضور که در مدل‌سازی‌های زیستگاهی به جد مورد توجه هستند (۲۲). توانایی یک آزمون در افتراق صحیح نقاط حضور و عدم-حضور از سایر موارد دقت نامیده می‌شود. برای محاسبه دقت یک آزمون باید مجموع نقاط حضور و عدم‌حضور را به‌کل مجموعه داده به‌دست آورد هرچقدر مقدار دقت افزایش پیدا کند نشان از افزایش قدرت و کارایی مدل است (۱۶).

نقشه هزینه و کریدورها: دراین مطالعه به‌منظور مدل‌سازی مسیرهای اتصال لکه‌های زیستگاهی به یکدیگر از تحلیل کمترین هزینه (LCP) استفاده گردید. خروجی آن نقشه رستری است در آن هر سلول در سیمای سرزمین ارزشی دارد که پایین‌ترین هزینه تجمعی را از سلول مبدأ به مقصد نمایش می‌دهد و به‌عنوان کمترین هزینه مسیر شناسایی می‌گردد (۱۷). در این مدل هسته‌های اتصال برابر لکه‌های زیستگاهی در نظر گرفته شدند (۲ و ۴۰). باتوجه به اینکه مدل‌های مورداستفاده دراین مطالعه هم دارای پیش‌بینی پیوسته هستند و هم دارای پیش‌بینی گسسته لذا دراین مطالعه نقشه‌های گسسته حاصل از الگوریتم مدل‌سازی برای ایجاد لکه‌های زیستگاهی در نظر گرفته شدند. به‌منظور افزایش دقت مطالعه اندازه لکه‌های زیستگاهی برابر گستره خانگی در نظر گرفته شدند. گستره خانگی برابر مساحتی از عرصه و زمین است که یک‌گونه در خلال فعالیت‌های روزانه برای تأمین مایحتاج زیر پای می‌گذارد (۳۷).

پس از شناسایی حد آستانه در نرم افزار SPM، لکه‌های زیستگاهی حاصل از هر مدل با یکدیگر جمع شده‌اند این عمل در نرم افزارArcGIS10.4.1 انجام گرفت. نتایج حاصل از جمع این نقشه ها دارای عدد چهار می‌باشند. عدد ۳ در نقشه مربوط به مناطقی است که حاصل جمع ۳ نقشه زیستگاهی بوده، عدد ۲ نشان‌دهنده جمع ۲ مدل زیستگاهی است و عدد ۱ نیز مشخص‌کننده جمع تنها یک مدل است. سپس در محدوده عدد ۴ که نقشه حاصل از جمع تمام لکه های می‌شود و با در نظر گرفتن اندازه گستره خانگی محاسبه‌شده برای گونه در مطالعه Farhadinia و همکاران (۲۰۱۸) که برابر ۵۱/۸ ± ۱۰۲/۴ ،۳ سناریوی مختلف برای اندازه لکه‌های زیستگاهی شامل ۱۵۵/۲ کیلومترمربع، ۱۰۲/۴ کیلومترمربع و ۵۱/۶ کیلومترمربع تعریف گردید (۲۶). لایه سطح هزینه یا لایه سطح اصطکاک، توسط یک نقشه رستری نشان داده می‌شود. در این نقشه به هر سلول یک عددی تعلق می‌گیرد که معرف میزان هزینه نسبی است که برای عبور از پیکسل موردنظر باید پرداخت شود (۴۲). روش‌های متفاوتی برای تهیه نقشه هزینه وجود دارد هنوز هیچ مطالعه دقیقی نشان

نداده که کدام روش برای مطالعه مناسب و کدام یک نامناسب است (۳۴). محققین مختلف روش‌های مختلف را توصیه می‌کنند برخی از محققان معتقد هستند استفاده معکوس نقشه مطلوبیت زیستگاه به دلیل استفاده از داده‌های که بر روی مطلوبیت زیستگاه نقش داشته است بهتراست (۲۳). دراین مطالعه از نقشه همادی برای ایجاد مدل مطلوبیت استفاده گردید و از معکوس نقشه مطلوبیت زیستگاه به‌عنوان نقشه هزینه استفاده شد (۹). به منظور اتصال مناطق حفاظت شده از تئوری مدار الکتریکی در نرم‌افزار Circuitscape استفاده شد (۳۵). این نرم‌افزار برای طراحی کریدورهای بین جمعیت‌های حیات‌وحش از دو لایه زیستگاه ورودی استفاده می‌کند، که شامل لایه مقاومت یا هزینه و لایه مربوط به مناطق برای اتصال است. در۰۰این تئوری گره‌های الکتریکی به‌عنوان لکه‌های زیستگاهی، حرکت جریان به‌منزله حرکت افراد و رسیستورهای میان گره‌ای به‌منزله کریدورها در نظر گرفته می‌شوند. همان‌طور که افزایش رسیستورهای موازی باعث افزایش جریان عبوری از میان گره‌های می‌شود، افزایش تعداد یا وسعت لکه‌های زیستگاهی مرتبط کننده جمعیت‌ها و زیستگاه‌ها نیز احتمال حرکت و ارتباط میان آن‌ها را افزایش می‌دهد (۸). تئوری مدار سطح سیمای سرزمین را به‌عنوان بخشی رسانا در نظر می‌گیرد که هر پیکسل آن‌یک گره الکتریکی تبدیل و با اتصال گره‌های مجاور به یکدیگر یک مدار الکتریکی تشکیل می‌شود (۳۵). به‌منظور اتصال لکه‌های مناطق حفاظت شده به یکدیگر از مدل All-to-one استفاده گردید تا سرعت پردازش نهایی افزایش پیدا کند (۶). دراین مدل یک گره به زمین و بقیه گره‌ها به یک منبع جریان یک آمپری متصل می‌شوند این روش زمانی که هدف شناسایی نواحی مهم اتصال زیستگاهی است دارای اهمیت می‌باشد (۸). به منظور اجرای این مدل بر روی مناطق حفاظت‌شده در این مطالعه مناطق حفاظت‌شده مجاور یکی در نظر گرفته شدند (۱۷). ازاین‌رو مناطق حفاظت‌شده و پارک ملی سیاه کوه و همچنین مناطق حفاظت‌شده و شکارممنوع باغ شادی یکی در نظر گرفته شدند.

نتایج

مدل‌سازی: پس از محاسبه همبستگی میان متغیرهای زیستگاهی آن دسته از متغیرهای که دارای همبستگی بیش از ۰/۷۵ بودند از تحلیل کنار رفتند ازاین‌رو به دلیل همبستگی میان متغیر شیب و زبری ارتفاع متغیر شیب از تحلیل حذف شد. به‌جز این متغیر میان سایر متغیرهای زیستگاهی همبستگی بالایی بیش ازآنچه ذکرشده مشاهده نشد ازاین‌رو تمام متغیرها وارد فرآیند مدل‌سازی شدند. مدل‌سازی با مجموعه داده برابر براساس معیارهای ارزیابی دارای اعتبار مناسبی بود بر این اساس مقدار ویژگی برای مجموعه داده برابر در مدل‌های TreeNET و MARS به نسبت سایر مدل‌ها بالاتر بوده است و تقریباً این دو مدل توانسته‌اند بیش از ۸۰ درصد از نقاط شبه عدم حضور را مجدد به‌عنوان نقطه شبه عدم‌حضور شناسایی کنند. محاسبات برای مقدار حساسیت نشان داد که مجموعه مدل‌های اجراشده با داده‌های برابر در شناسایی مجدد نقاط حضور در نهایت کارایی برای داده‌های آزمون برابر ۷۶/۱۹ درصد توانسته‌اند نقاط حضور را مجدد حضور شناسایی کنند.

اهمیت متغیرها در مدل‌سازی: جدول ۲ مقادیر کمی شده مربوط به متغیرهای زیستگاهی را براساس آمارههای حداقل، حداکثر و میانگین نمایش می‌دهد. دراین جدول مقادیر مربوط به نقاط حضور گونه استخراج‌شده و کمیت‌های حداقل، حداکثر و میانگین برای هریک ذکرشده است.

جدول ۱- نتایج مدل‌سازی با استفاده از مجموعه داده برابر (۶۴) نقطه شبه عدم‌حضور

	CART		TreeNET		Random Forest		MARS	
آماره	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش
AUC	۰/۸۸	۰/۷۳	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۹۸	۰/۸۶
ویژگی	۸۲/۹۸	۷۰/۵۹	۹۱/۴۹	۸۲/۳۵	۸۷/۲۳	۷۶/۴۷	۸۵/۱۱	۸۲/۳۵
حساسیت	۹۳/۰۲	۷۶/۱۹	۸۸/۳۷	۵۷/۱۴	۹۰/۷۰	۷۱/۹۰	۹۳/۳۵	۷۲/۹۰
دقت	۸۳/۳	۷۶/۱۹	۹۰/۴۸	۰/۸۰	۸۶/۶۷	۷۶/۴۷	۸۲/۴۲	۸۱/۲۵
حدآستانه	۰/۵۵		۰/۵۵		۰/۵۵		۰/۵۵	

تا به این طریق شرایط زیستگاهی و مناطق حضور گونه به نحو بهتری کمی‌سازی و قابل توصیف گردد. بر این اساس به‌طور مثال حداکثر ارتفاع حضور گونه موردمطالعه برابر ۲۷۰۹ و حداقل آن برابر ۱۱۲۶ متر است، میانگین ارتفاع حضور بر اساس کل نقاط مور بررسی در استان یزد برابر ۱۷۰۰ متر است. بر پایه نتایج این مطالعه زیستگاه پلنگ در استان یزد با متوسط ارتفاع ۱۷۰۰ متر، ضریب دید آسمان ۰/۹۷، شاخص NDWI ۰/۱۲، متوسط عمق دره ۲۴۲ متر، فاصله ۲۶۳۸ متری از مناطق مسکونی و فاصله ۱۵ کیلومتری از جاده قابل‌تعریف است.

جدول ۲- مقادیر مربوط به متغیرهای زیستگاهی گونه موردمطالعه

متغیر زیستگاهی	تعداد نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین
رطوبت توپوگرافی	۶۴	۴/۴۷	۱۱/۴۸	۷/۰۲
ارتفاع	۶۴	۱۱۲۶	۲۷۰۹	۱۷۰۰
زبری ارتفاع	۶۴	۲/۳۳	۱۰/۰۹	۶/۰۹
فاصله از جاده(متر)	۶۴	۰	۳۵۴۴۱	۱۵۳۴۵
فاصله از مناطق مسکونی(متر)	۶۴	۲۵۰	۹۸۵۲	۲۶۳۸
تراکم قله	۶۴	۰	۱	۰/۲۲
NDVI	۶۴	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۱۲
زبری پوشش گیاهی	۶۴	۰	۰/۱۹۷	۰/۰۵
NDWI	۶۴	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۱۲
ضریب دید	۶۴	۰/۸۹	۱	۰/۹۷
عمق دره	۶۴	۰	۵۰۵	۲۴۲

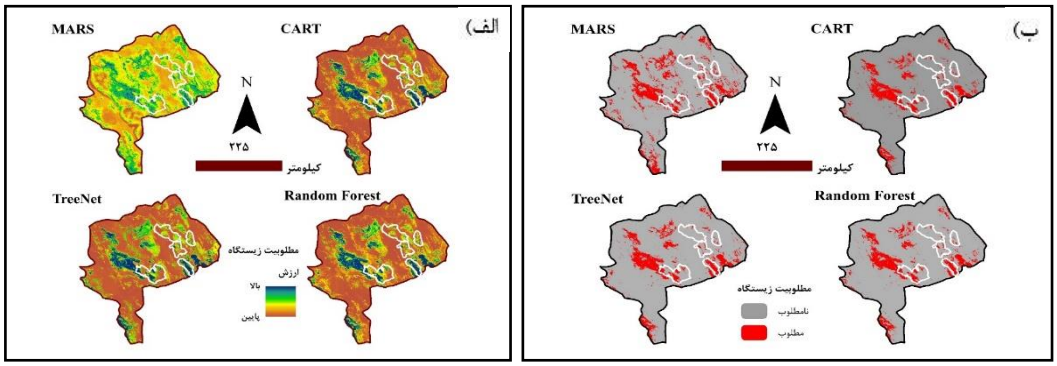
در جدول ۳ اهمیت متغیرهای زیستگاهی به تفکیک مدل‌های مورد استفاده نمایش داده شده است. در هریک از این مدل‌ها اهمیت متغیرها برحسب درصد نمایش داده شده تا مشخص گردد که در مجموع بر پایه نتیجه نهایی کدام متغیر در توزیع دارای اهمیت بالایی است. بر این اساس در روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، متغیرهای ضریب دید آسمان، NDWI و زبری ارتفاع؛ در روش TreeNET نیز همین متغیرها با همین ترتیب اهمیت؛ در روش جنگل تصادفی نیز به همین شکل و تنها در روش رگرسیون چند متغیره اسپیلاین متغیر ضریب دید آسمان توسط مدل مهم تشخیص داده نشده است.

جدول ۳- درصد اهمیت متغیرهای زیستگاهی مورداستفاده در مدل‌سازی

متغیر زیستگاهی	CART	Tree NET	Random Forest	MARS
ضریب دید آسمان	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	–
NDWI	۸۶/۷۷	۸۸/۰۵	۷۵/۶۳	۸۴/۲۷
زبری ارتفاع	۷۹/۱۸	۷۴/۴۹	۷۷/۳۵	۱۴/۹۱
NDVI	۶۲/۹۰	۶۰	۵۴/۸۷	–
تراکم قله	۳۹/۸۴	۱۶/۱۳	۱/۴۶	–
رطوبت توپوگرافی	۲۲/۷۴	۱۲/۳۶	۱۰/۵۱	–
عمق دره	۰	۳۱/۸۲	۱۰/۵۶	–
زبری ndvi	۰	۲۴/۶۲	۸/۴۷	–
فاصله از جاده‌ها اصلی	۰	۱۴/۷۲	۹/۰۱	–
ارتفاع	۰	۲۰/۶۴	۱۰/۶۱	۱۰۰
فاصله از مناطق مسکونی		۴۱/۲۶۳	۲۰/۶۷	۹۷/۰۱

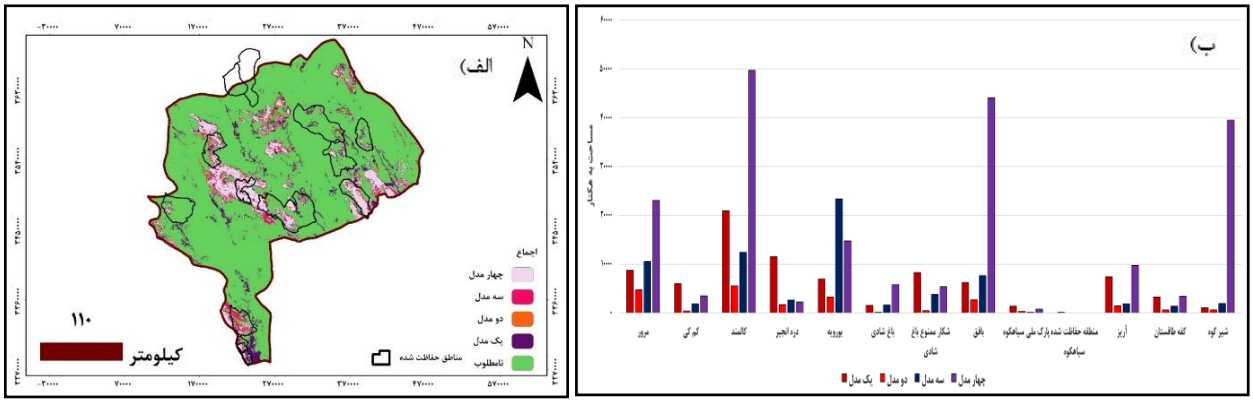
نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه: نتایج حاصل از مدل‌سازی زیستگاه با استفاده از خروجی پیوسته مدل‌ها مشخص شده است(شکل ۲) در این مدل‌ها رنگ آبی بیانگر زیستگاه‌های مطلوب و رنگ قهوه‌ای نشان‌دهنده زیستگاه‌های نامطلوب است به‌صورت احتمالی در دامنه ۰ تا ۱ تعریف شده است(شکل ۲ الف). براساس نتایج این مطالعه منطقه حفاظت‌شده بافق در تمام مدل‌های مورداستفاده پوشش‌دهنده زیستگاه با کیفیت است. این در حالی است که ارتفاعات مجاور در بخش‌های شمال شرقی آن با اینکه دارای پتانسیل بالایی برای حضور گونه هستند در هیچ‌یک از مناطق تحت مدیریت محیط زیست قرار ندارند. براساس پیش‌بینی‌ها قسمت‌های شمالی استان در شهرستان اردکان مطلوبیت زیستگاه کمتری برای گونه دارد و بخش‌های مرکزی استان بیشتری مطلوبیت و احتمال حضور را دارند(شکل ۲ الف). نتایج حاصل از نقشه طبقه‌بندی‌شده برای مجموعه داده برابر مشخص شده است (شکل ۲ب). هریک از نقشه‌های موجود بر مبنای حدآستانه اعمال‌شده بر روی مدل‌های پیوسته (جدول ۱) تشکیل شده‌اند. دراین شکل بخش‌های طوسی‌رنگ زیستگاه نامطلوب و بخش‌های قرمزرنگ زیستگاه مطلوب را برای گونه مورد مطالعه نمایش می‌دهند. براساس این نتایج در مدل MARS بیشترین مقدار تکه‌تکه‌شدگی برای لکه‌های زیستگاهی گونه پیش‌بینی‌شده است (شکل ۲ ب).

براساس نتایج حاصل از اجماع نقشه‌های دودویی، مطلوبیت زیستگاه مساحتی معادل ۶۲۳۰۰۷/۴۹ هکتار از سطح استان توسط هر ۴ مدل زیستگاهی مناسب تشخیص داده‌شده، که با کد چهار نمایش داده‌شده است (شکل ۳ الف). این مساحت به ترتیب برای کدهای ۳ و ۲ برابر ۲۱۰۶۶۲/۰۲ و ۹۵۴۴۶/۷۰ هکتار اندازه‌گیری شد (شکل ۳ ب). در همین راستا مساحتی معادل ۴۵۱۶۴۱/۴۰ هکتار تنها در یک مدل به‌عنوان زیستگاه مطلوب تشخیص داده‌شده است که با کد یک نمایش داده‌شده است. شکل ۳ نتایج حاصل از اجماع مدل‌های منفرد و تشکیل هسته‌های زیستگاهی را نمایش می‌دهد.



شکل ۲- الف) مطلوبیت زیستگاه پیوسته با استفاده از مدل‌های حضور و شبه عدم‌حضور، ب) مطلوبیت زیستگاه دودویی پلنگ در سطح استان یزد

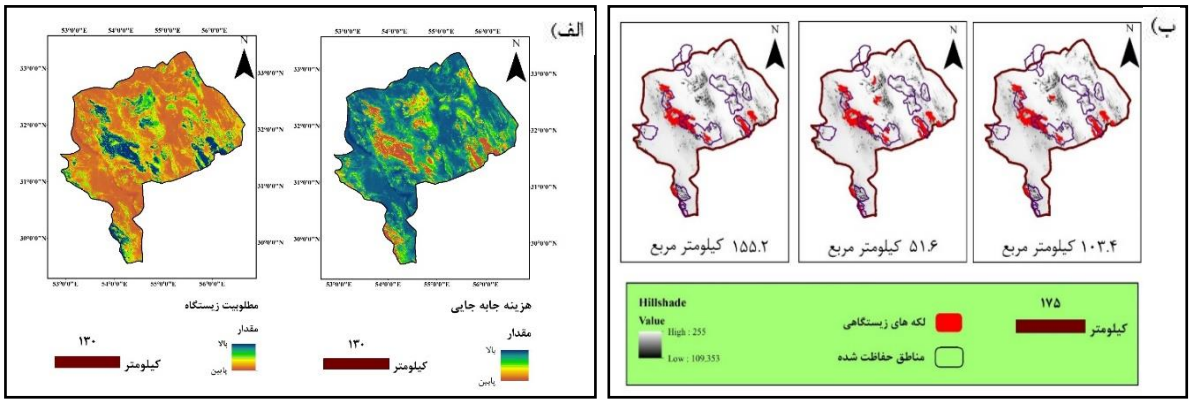
بخش سبزرنگ نیز در این مطالعه نشان‌دهنده بخش نامطلوب زیستگاه بوده که در تمام نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه مشترک است. از میان مناطق حفاظت‌شده استان، منطقه حفاظت‌شده بر پایه توافق چهار مدل مورد استفاده در فرآیند مدل‌سازی، مناطق حفاظت‌شده کالمند، بافق و شیرکوه به ترتیب بیشترین پوشش‌ها را از زیستگاه مطلوب گونه با توافق چهار مدل مورد استفاده داشته‌اند. این در حالی است که بر مبنای این تفکیک مساحت مناطق حفاظت‌شده سیاه‌کوه و همچنین پارک ملی سیاه‌کوه کمترین مساحت زیستگاه مطلوب را برای گونه در سطح استان دارند (شکل ۳ ب).



شکل ۳-الف) هسته‌های اصلی سناریوهای اتصال در فرآیند مدل‌سازی، ب) مساحت طبقات مختلف مطلوبیت زیستگاه در سطح استان یزد

مدل‌سازی کریدور: به‌منظور افزایش قدرت پیش‌بینی مدل تمام مدل‌های زیستگاهی مورداستفاده براساس روش میانگین وزنی بر پایه AUC با یکدیگر ترکیب و به عنوان نقشه هزینه وارد فرآیند مدل‌سازی شدند. نقشه همادی حاصل از تلفیق مجموعه داده برابر، رنگ آبی حداکثر هزینه جابه‌جایی و رنگ قهوه‌ای مناطقی با حداقل مقاومت در برابر جابه‌جایی پلنگ را نمایش می‌دهد (شکل ۵ الف). بنابراین در این نقشه بخش‌هایی که دارای هزینه بالا هستند با رنگ آبی مشخص شده‌اند و عبور و گذار گونه از این مناطق با هزینه بالایی همراه خواهد بود. منطقه حفاظت‌شده بافق کمترین هزینه جابه‌جایی را در میان مناطق حفاظت‌شده این مطالعه دارد. در همین شکل در سمت چپ نقشه مطلوبیت زیستگاه همادی نشان داده شده است که دراین شکل رنگ‌های آبی نشان‌دهنده مناطقی هستند که بیشترین مطلوبیت را دارد و

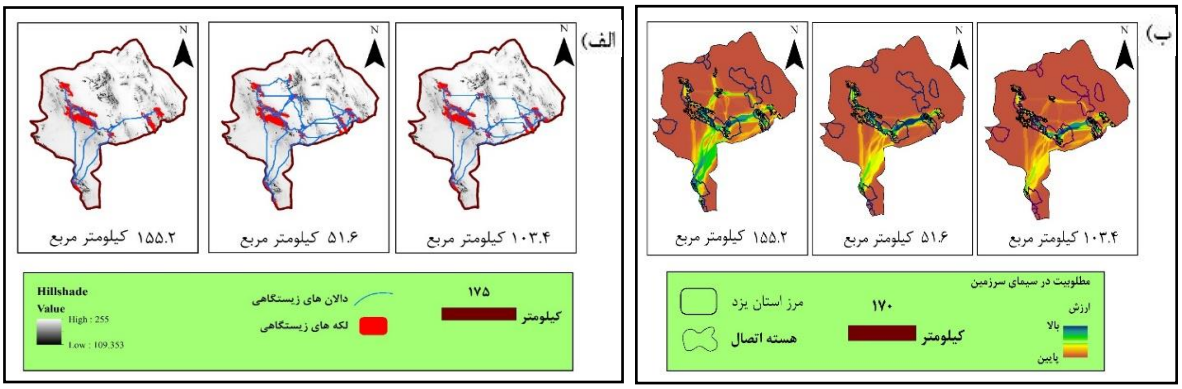
رنگ قهوه‌ای مناطقی را نمایش می‌دهد که مطلوبیت آن‌ها به نسبت پایین‌تر است. این نقشه معکوس نقشه هزینه است. دراین مطالعه تنها از هسته‌های زیستگاهی استفاده شد که حاصل جمع چهار مدل بودند این لکه‌ها به‌صورت اجماع با استفاده از چهار مدل شناسایی شده‌اند ازاین‌رو دارای شرایط مناسب‌تری به نسبت سایر لکه‌ها از نظر دربرگیری و جمع‌پذیری نتایج هستند (شکل ۵ ب). دراین شکل، در هر سناریو اندازه لکه‌های زیستگاهی متفاوت در نظر گرفته، براساس نتایج تعداد این لکه‌ها برابر ۲۸۷۷ لکه است که مساحتی متغیر بین ۴ تا ۶۲۳۰۰۷/۴۹ هکتار دارند.



شکل ۵-الف) مطلوبیت زیستگاه و نقشه هزینه جابه‌جایی برای گونه پلنگ در سطح استان یزد، ب) اندازه لکه‌های زیستگاهی مورد استفاده برای فرآیند مدل‌سازی دالان

دالان‌های زیستگاهی در سناریوهای مختلف طراحی شدند (شکل ۶ الف). دراین شکل مطلوبیت دالان‌های ترسیم‌شده به صورتی است که مناطقی که در مجاورت دالان دارای محدودیت پایین از نظر هزینه جابه‌جایی هستند دارای مطلوبیت بالایی خواهند بود (شکل ۶ ب)؛ بنابراین با در نظر گرفتن موقعیت نسبی مناطق حفاظت‌شده مشخص است که بیشترین جابه‌جایی و تراکم استفاده در مسیر اتصال منطقه حفاظت‌شده بافق با کالمند و همچنین کالمند و منطقه شکارممنوع شیرکوه است. با تغییر اندازه‌های متوسط گستره خانگی مشاهده می‌شود که اندازه لکه‌های زیستگاهی نیز تغییر کرده و در نتیجه این تغییر مسیرهای اتصال نیز کیفیت متفاوتی خواهند داشت. با در نظر گرفتن مساحتی معادل ۱۰۳/۴ کیلومترمربع برای هسته‌های زیستگاهی مساحت دالان‌ها به‌اندازه ۶۴۶۸/۲۳ کیلومتر محاسبه گردید که این مقدار برای دو لکه زیستگاهی دیگر به ترتیب برابر ۱۴۲۹۷/۵۹ و ۳۰۱۷/۹۲ کیلومتر اندازه‌گیری شد. همان‌طور که در سناریوهای مختلف اتصال معین‌شده مناطق حفاظت‌شده شمال و شمال شرقی استان دارای مطلوبیت و شدت استفاده پایین خواهند بود. براین اساس با افزایش اندازه گستره خانگی متحمل مناطق مطلوب در سیمای سرزمین در طول مسیرهای گدار افزایش پیدا خواهند کرد.

براساس نتایج طول دالان‌ها در وسعت گستره خانگی ۱۰۳/۴ کیلومترمربع برابر ۶۴۶۸/۲۳ کیلومتر است. این در حالی است که کاهش اندازه گستره خانگی به ۵۱/۶ کیلومتر باعث خواهد شد تا ۱۴۲۹۷/۵۹ کیلومتر کریدورها بین دالان‌ها ترسیم گردد که این طول بیشترین مقدار در بین مدل‌های اجراشده است؛ بنابراین با کاهش اندازه گستره خانگی مساحت‌هایی که باید برای اتصال لکه‌های زیستگاهی شکل گیرد افزایش پیدا می‌کند.

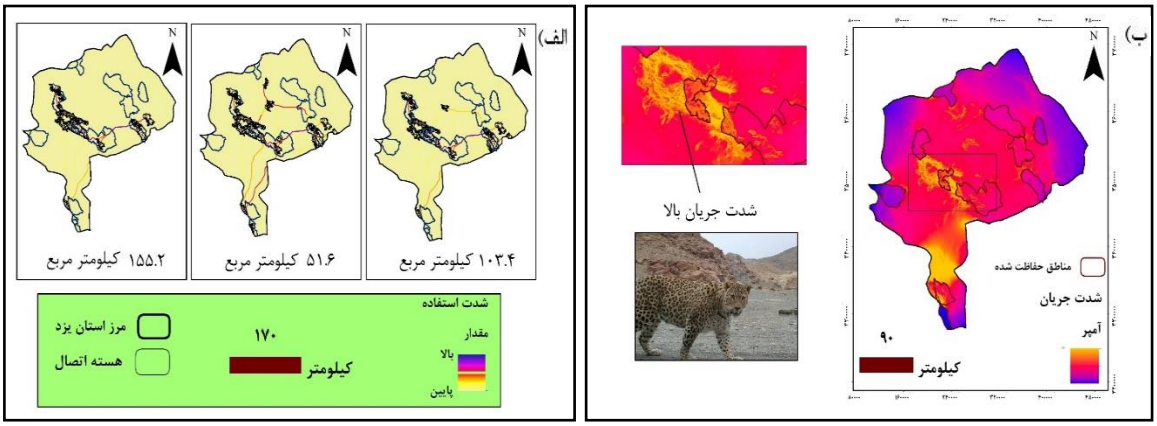


شکل ۶-الف) دالان‌های طراحی‌شده برای نمایش مسیرهای اتصال لکه‌های زیستگاهی به یکدیگر، ب) مطلوبیت دالان در سیمای سرزمین در اندازه‌های مختلف لکه‌های زیستگاهی

در صورتی که مساحت گستره خانگی برابر ۱۵۵/۲ کیلومتر مربع در نظر گرفته شود طول دالان‌های ایجاد شده به ۳۰۱۷/۹۲ کیلومتر خواهد رسید. شکل ۷-الف شدت استفاده از دالان را نمایش می‌دهد. براساس در نظر گرفتن فاصله و کیفیت مسیر دالان‌های که بیشترین احتمال استفاده را دارند با رنگ آبی مشخص می‌شوند. شدت استفاده از دالان معین کننده جریانی از حرکت افراد است که احتمال دارد در کریدور جاری باشد براین اساس برخلاف تسهیلی که بر پایه مطلوبیت دالان در سیمای سرزمین حادث‌شده بود کریدورهای جنوب از مناطق حفاظت‌شده و شکارممنوع باغ شادی به سمت منطقه حفاظت‌شده کالمند دارای شدت استفاده بالایی در اندازه گستره خانگی ۱۵۵/۲ کیلومترمربع نخواهند بود. با کاهش اندازه تخمینی گستره خانگی شدت استفاده دالان‌های از مسیرهای جنوبی به سمت قسمت‌های مرکزی استان افزایش پیدا می‌کند. شکل ۷-ب نتایج حاصل از اجرای تئوری مدار الکتریکی را نمایش می‌دهد. دراین شکل رنگ‌های نارنجی بالاترین شدت‌جریان را نمایش می‌دهد و رنگ‌های بنفش کمترین مقدار شدت‌جریان را نمایش می‌دهند. بر پایه این نتایج درصورتی‌که هدف اتصال مناطق حفاظت‌شده باشد نه اتصال بین لکه‌های زیستگاهی مناطق حفاظت‌شده کالمند، شیرکوه و مرور بیشترین اتصال را با یکدیگر خواهند داشت و حفظ اتصال بین این مناطق می‌تواند بر حفظ ارتباطات سیمای سرزمینی مؤثر باشد. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که از مناطق حفاظت‌شده و شکارممنوع پارک شادی و همچنین بوروئیه خاتم به سمت بخش‌های مرکزی پتانسیل بالایی برای اتصال وجود دارد که نشان از شدت‌جریان بالای این مناطق است.

بحث و نتیجه‌گیری

دراین مطالعه برای نخستین بار ارتباط بین نقاط حضور پلنگ ایرانی و متغیرهای زیستگاهی تأثیرگذار بر روی آن در سطح استان یزد مورد بررسی قرارگرفت. باتوجه به مهاجرت گونه-ها در فصول معین، مناطق حفاظت شده قادر نیستند تمام قلمروهای موردنیاز گونه را پوشش دهند، به همین علت لازم است دالان‌های بین مناطق حفاظت شده نیز تحت کنترل و حفاظت قرار گیرند (۱۹). مسیرهای اتصال لکه‌های زیستگاهی با دو رویکرد لکه‌های زیستگاهی و مناطق حفاظت‌شده مورد بررسی قرارگرفت. در رویکرد اول اتصال لکه‌های زیستگاهی به یکدیگر بررسی شد تا از این طریق مسیرهای اتصال دارای پتانسیل در خارج از مرز مناطق حفاظت‌شده مشخص شود.



شکل ۷- الف) شدت استفاده از دالان در اندازه‌های مختلف لکه‌های زیستگاهی ب) نقشه شدت‌جریان گدار بین مناطق حفاظت‌شده استان **یزد**

سپس مسیرهای اتصال با تکیه بر مناطق حفاظت‌شده بررسی شد تا از این طریق شدت‌جریان و تحرک برای مسیرهای خارج از مناطق حفاظت‌شده مشخص شود.

می‌توان اذعان کرد که پلنگ در استان یزد به مناطقی با فاکتور دید وسیع، تراکم قله بالا و متنوع از نظر ارتفاع تمایل دارد. بر پایه بررسی اهمیت متغیرها، متغیر ضریب دید آسمان به نسبت سایر متغیرهای زیستگاه اهمیت بیشتری دارد. به‌نحوی‌که در ۳ مدل جنگل تصادفی (RF)، درخت طبقه و رگرسیون (CART) و مدل TreeNET بیشترین تأثیر را داشت. دراین مطالعه مقدار متوسط ضریب دید آسمان برای گونه مورد مطالعه برابر ۰/۹۷ محاسبه گردید که بیانگر این مسئله است که گونه مورد مطالعه به مناطقی بدون میدان دید تمایلی ندارد، که این امر می‌تواند به دلیل ساختار خاص قلمرو و همچنین ویژگی‌های اکولوژیک و توزیع گونه‌های طعمه آن مانند کل و بز نیز همخوانی کامل دارد. این نتیجه در مطالعه صادقیان (۱۳۹۲) در بررسی مطلوبیت زیستگاه پلنگ (*Panthera pardus tulliana*) در منطقه حفاظت‌شده بافق نیز حاصل گردید که یافته‌های این مطالعه در راستای آن است (۱۳). در مطالعه که توسط رضایی و همکاران (۱۳۹۵) پیرامون تعیین پهنای آشیان اکولوژیک پلنگ در منطقه حفاظت‌شده بافق انجام گرفت نیز نتایج نشان داد از میان تمام سرگین‌های تحلیل‌شده بیشترین فراوانی مربوط با ۶۶/۴۴ درصد مربوط به کل و بز است (۵). مناطقی که در حیطه گستره توزیع این‌گونه قرار دارند دارای مقادیر به سمت یک می‌باشند البته این مهم توسط دو شاخص زبری ارتفاع و همچنین و NDWI نیز معین و مشهود است. میانگین شاخص تراکم پوشش گیاهی محاسبه نشان داد که این‌گونه به مقدار متوسط ۰/۱۲ تمایل دارد. البته بیشترین مقدار محاسبه‌شده برای مناطق حضور گونه ۰/۲۳ است که نشان می‌دهد گونه از مناطقی با تراکم پوشش گیاهی بسیار کم و تنک دوری می‌کند. پوشش گیاهی برای پلنگ می‌تواند بیان کننده متغیرهای مختلفی از قبیل فراوانی طعمه، آب و مخفی‌گاه باشد (۲۸). همچنین طبق مطالعه شعاعی و یارمحمدی بربرستانی (۱۳۹۵) بر روی رژیم غذایی پلنگ ایرانی در پارک ملی تندوره طی فصول تابستان و پاییز نشان داد گونه پایکا به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین گونه‌های رژیم غذایی پلنگ ایرانی به دلیل شباهت‌های زیستگاهی این دو گونه با هم، شناخته شده است (۱۳). در مطالعه‌ی که توسط وصالی و همکاران (۱۳۹۶) در پارک ملی گلستان انجام گرفت نیز نتایج

نشان داد با افزایش مقدار شاخص تراکم پوشش‌گیاهی تا مقادیر ۰/۸ پیوسته بر مطلوبیت زیستگاه افزوده می‌شود. این امر با ویژگی‌های زیستی و اکولوژیک گونه که دسترسی به پناه و امنیت است همخوانی دارد (۲۲). در مطالعه شعاعی و همکاران (۱۳۹۶) دوری از جاده و فاصله از روستا بیشترین تأثیر را بر روی مطلوبیت زیستگاه گونه داشتند، که متفاوت از یافته‌های این مطالعه است (۱۱). در مطالعه دیگر که توسط امیدی و همکاران (۱۳۸۹) در پارک ملی کلاه قاضی انجام گرفت نیز فاصله از جاده‌ها تأثیر بیشتری داشتند (۳). تفاوت در یافته‌های مدل‌سازی نشان از تفاوتی است که گستره مطالعاتی و قدرت تفکیک مکانی بر روی مطالعه دارند که پیش‌تر در مطالعات بسیاری از محققین بررسی شده است (۲۴). از طرفی در مطالعه‌ی دیگر که توسط ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۸) پیرامون بررسی همپوشانی زیستگاه پلنگ با گوسفند وحشی در سطح کشور انجام گرفت نیز به اهمیت مطالعه درشت مقیاس اشاره شد و مطالعات و مدل‌سازی‌های این مقیاس را حلقه مفقوده مطالعات ارزیابی کردند (۱). تغییرپذیری در روابط الگو- فرآیند با تغییر در مقیاس نشان‌دهنده اهمیت تعیین درست مقیاس در کمی‌سازی الگوهای سیمای منظر است (۴). متوسط ارتفاع حضور پلنگ در این مطالعه برابر ۱۷۰۰ متر است. در مطالعه‌ی که توسط وصالی و همکاران (۱۳۹۶) در پارک ملی گلستان انجام گرفت، ارتفاع ۲۱۰۰ متری برای گونه به‌عنوان زیستگاه مطلوب در نظر گرفته شد (۲۲) که حدود ۴۰۰ متر از ارتفاع حضور گونه در سطح استان یزد بالاتر است، اما حد بالای ارتفاع حضور گونه در سطح استان یزد تا ۲۷۰۰ متری نیز مشاهده‌شده است. در مطالعه‌ی دیگر که توسط Poursalem و همکاران (۲۰۲۱) در جنوب شرقی ایران انجام گرفت نتایج نشان داد که متوسط ارتفاع برابر ۶۰۰ تا ۱۴۰۰ متر است که متفاوت از ارتفاع این مطالعه است. وجود این ارتفاع در کنار عمق دره و شاخص دید آسمان مشخص‌کننده شرایط مطلوب برای حضور گونه می‌باشند (۴۱).

دالان‌های مدل‌سازی شده در اندازه‌های مختلف گستره خانگی نشان دادند که مسیرهای گدار شناسایی‌شده در سناریوهای مختلف اندازه گستره خانگی در بخش‌های جنوبی استان یعنی در مناطق حفاظت‌شده یکسان است. درحالی‌که اگر گستره خانگی برای گونه برابر ۱۵۵/۲ کیلومترمربع در نظر گرفته شود آنگاه مشخص است که مسیرهای اصلی اتصال از مناطق جنوبی به سمت منطقه مرکزی استان خواهند بود. به‌عبارتی‌دیگر درصورتی‌که اندازه گستره خانگی به‌عنوان یک ملاک در راستای شناسایی مسیرهای گدار در نظر گرفته شود اندازه‌های بالای گستره خانگی مانع باعث حذف لکه‌های زیستگاهی کوچکی خواهد شد که در بخش‌های جنوبی مناطق حفاظت‌شده و پارک ملی سیاه کوه قرار دارند. همچنین در اندازه گستره خانگی برابر ۱۰۳/۴ کیلومترمربع لکه زیستگاهی باقی‌مانده تنها به‌صورت منزوی در مرکز استان باقی خواهد ماند که عملاً بحث اتصال را غیرممکن خواهد ساخت. در تمام سناریوهای مختلف اندازه گستره خانگی در اطراف و حاشیه مناطق حفاظت‌شده بافق لکه‌های زیستگاهی حضور دارند که توسط هیچ منطقه‌ی پوشانیده نمی‌شوند. در تحلیل اتصال بر پایه مناطق حفاظت‌شده رویکرد نگرش به مناطق حفاظت‌شده است و قرار است این دسته از مناطق نقش اصلی را در اتصال و ارتباط داشته باشند؛ بنابراین در این مناطق لکه زیستگاهی حذف‌شده است و اتصال از طریق مناطق انجام می‌گیرد با در نظر گرفت این شرایط نقش مناطق حفاظت‌شده مرکزی استان شامل منطقه حفاظت‌شده کالمند، شیرکوه و مرور است. این مناطق به دلیل پوشانیدن لکه‌های زیستگاهی بزرگ گونه دارای پتانسیل بالایی برای دربرگیری جریان حرکتی خواهند بود، بنابراین در تلفیق با نتایج حاصل از تحلیل کمترین هزینه

بر پایه لکه‌های زیستگاهی باید اشاره کرد که اتصال مناطق لکه‌های زیستگاهی منطقه حفاظت‌شده بافق به منطقه حفاظت‌شده کالمند می‌تواند تضمین‌کننده انتشار گونه در مناطق شیرکوه و مرور باشد. براساس نتایج این مطالعه بر پایه متریک تراکم و یا شدت استفاده بیشترین امکان گدار و جابه‌جایی بین مناطق حفاظت‌شده بافق و کالمند است این دالان بالاترین میزان استفاده را در میان مسیرهای مشخص‌شده دارد. این مسیر به‌خوبی نشان می‌دهد که معیار نزدیکی مناطق نمی‌تواند یک معیار مناسب و بیان‌کننده کیفیت باشد چرا با اینکه منطقه شکارممنوع آریز به منطقه حفاظت‌شده بافق نزدیک است اما عملاً کیفیت میسر اتصالی آن‌ها پایین است. دراین مطالعه از روش تحلیل کمترین هزینه برای ایجاد کریدورهای زیستگاهی پلنگ استفاده شد. شباهت و وجود ارتباط‌هایی که ناشی از همسانی شرایط است باعث شده که برخی از دالان‌های پیش بینی شده در مناطقی قرار گیرند که خارج از مناطق حفاظت‌شده است؛ بنابراین این مناطق باید به‌طور جدی موردتوجه قرار گیرند چرا که هم از نظر زیستگاهی دارای مطلوبیت هستند و احتمال حضور گونه در آن‌ها بالاست و هم از مسیرهای اتصال در ارتباطات سیمای سرزمین اهمیت فراوانی دارند. در کنار مسائل مطرح شده برای مدل‌سازی دالان و مسیرهای اتصال باید به این نکته دقت کرد که شرایط محلی پراکنش هرگونه ممکن است برای مناطقی که برای اتصال انتخاب می‌شوند مؤثر باشد؛ بنابراین می‌توان سازگاری‌های محلی هر گونه را نیز یکی از پارامترهای مهم برای شناسایی مسیرهای اتصال دانست؛ که این مهم می‌تواند بر روی شکل‌گیری مسیرهای اتصال مؤثر و حتی متفاوت کننده پاسخ گونه باشد چراکه در مدل‌سازی‌های اتصال زیستگاهی در این مقیاس نقاط حضور از تمام مناطق حضور گونه جمع‌آوری‌شده‌اند و در مجموع وارد فرآیند مدل‌سازی می‌شوند. در مطالعه که توسط کرمی و شایسته (۱۳۹۷) پیرامون استفاده از روش تجسم انجام گرفت نیز نتایج نشان داد که شرایط محلی هر منطقه بر روی مسیرهای اتصال مناطق حفاظت‌شده برای قوچ و میش (*Ovis orientalis*) مؤثر است؛ که این امر نشان می‌دهد که شرایط محلی و سازگاری‌های محلی بر روی اتصال اثرگذار است (۱۸).

دراین مطالعه جاده‌های بخش‌های زیادی از کریدورهای شناسایی‌شده را تحت تأثیر قرار دادند و تقریباً تمام دالان‌های ترسیم‌شده برای گونه به‌وسیله جاده‌های موجود قطع‌شده که این امر باعث کاهش پتانسیل استفاده از آن‌ها خواهد شد. تأثیرپذیری مطلوبیت زیستگاه حیات‌وحش از جاده‌ها امری است که طی مطالعات مختلف مورد تأکید قرارگرفته است. تکه‌تکه شدگی زیستگاه، عدم دسترسی به منابع، افزایش مرگ میر و تقسیم جمعیت‌های حیات‌وحش به‌عنوان عمده‌ترین اثرات منفی جاده‌ها مطرح‌شده است (۳۰).

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از مجموعه اداره محیط زیست استان یزد جهت جمع آوری داده های مورد نیاز این مطالعه کمال سپاسگزاری را دارند.

منابع

۱. ابراهیمی، ا.، فراشی، آ.، و راشکی، ع.، ۱۳۹۸. همپوشانی زیستگاه پلنگ ایرانی با زیستگاه گوسفند وحشی و بز وحشی در ایران، مجله علمی پژوهشی زیست‌شناسی جانوری تجربی، ۸ (۳)، صفحات ۱۲۱- ۱۳۴.

۲. اسماعیلی، م.، شایسته، ک.، و کرمی، پ.، ۱۳۹۹. بررسی مطلوبیت زیستگاه و مسیرهای ارتباطی آهوی ایرانی در غرب استان کرمانشاه و شرق کشور عراق (مطالعه موردی: منطقه شکار ممنوع قراویز)، فصلنامه محیط‌زیست جانوری، ۱۲ (۱)، صفحات ۲۳- ۳۰.

۳. امیدی، م.، کابلی، م.، کرمی، م.، سلیمان ماهینی، ع.، و حسن زاده کیابی، ب.، ۱۳۸۹. مدلسازی مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) به روش تحلیل عاملی آشیان بوم شناختی (ENFA) در پارک ملی کلاه قاضی، استان اصفهان، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۸ (۲)، صفحات ۹- ۶.

۴. حبیب‌زاده، ن.، و حسنعلی زاده، ر.، ۱۳۹۶. مدل‌سازی چند مقیاسی از مطلوبیت زیستگاه تغذیه‌ای کرکس مصری در منطقه حفاظت شده ارسباران، فصلنامه بوم‌شناسی کاربردی، ۶ (۳)، صفحات ۱۲-۱.

۵. رضایی، ع.، کابلی، م.، اشرفی، س.، و اکبری، ح.، ۱۳۹۵. تعیین پهنای آشیان بوم‌شناختی غذایی پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) در منطقه حفاظت شده کوه بافق، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۸ (۱)، صفحات ۱- ۸.

۶. رضوانی، آ.، فاخران اصفهانی، س.، سفیانیان، ع.، ترکش، م.، و همامی، م.، ۱۳۹۸. تلفیق مدل مدار الکتریکی و حداکثر آنتروپی برای طرح-ریزی کریدورهای حفاظتی بین استان‌های اصفهان و مرکزی، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۱۰ (۲)، صفحات ۲۷- ۳۶.

۷. روحی، ح.، تحسینی، ه.، سلمان ماهینی، ع.، و رضایی، ح.، ۱۳۹۷. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) در پناهگاه حیات‌وحش خوش‌ییلاق با روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۱۰ (۴)، صفحات ۱۳- ۲۲.

۸. روحی، ح.، تحسینی، ه.، سلمان ماهینی، ع.، و رضایی، ح.، ۱۳۹۸. تعیین گذرگاه احتمالی پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) بین دو زیستگاه و پناهگاه حیات وحش خوش ییلاق و پارک ملی گلستان با استفاده از تئوری جریان الکتریکی مدار، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۱۱ (۱)، صفحات ۱- ۱۲.

۹. روحی، ح.، سلمان ماهینی، ع.، و رضایی، ح.، ۱۳۹۸. مدلسازی کریدور احتمالی پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) بین دو زیستگاه و پناهگاه حیات وحش خوش ییلاق و پارک ملی گلستان با روش کریدور حداقل هزینه، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط-زیست، ۲۱ (۳)، صفحات ۲۰۹- ۱۹۵.

۱۰. سرهنگ‌زاده، ج.، کریمیان، ع.، و اکبری، ح.، ۱۳۹۷. پیش‌بینی زیستگاه‌های مطلوب پلنگ ایرانی در منطقه حفاظت شده کوه بافق، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۱۰ (۱). صفحات ۱- ۸.

۱۱. شعاعی، ا.، قلی‌پور، م.، رضایی، ح.، و یارمحمدی بربرستانی، ث.، ۱۳۹۶. ارزیابی مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor, Pocock 1927*) با روش آنتروپی بیشینه (Maxent) در پارک ملی تندوره طی فصول تابستان و پاییز، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۹ (۱)، صفحات ۲۱- ۳۰.

۱۲. شعاعی، ا.، و یارمحمدی بربرستانی، ث.، ۱۳۹۵. رژیم غذایی پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor, Pocock 1927*) در پارک ملی تندوره طی فصول تابستان و پاییز، مجله پژوهش‌های جانوری (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۲۹ (۴)، صفحات ۴۲۶- ۴۳۴.

۱۳. صادقیان، ف.، ۱۳۹۲. مدلسازی مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) به روش ماکزیمم آنتروپی (MaxEnt) در منطقه حفاظت شده کوه بافق استان یزد، پایان نامه کارشناسی ارشد محیط‌زیست. دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد. ۹۵ صفحه.

۱۴. فلاحتی، س.، شایسته، ک.، و کرمی، پ.، ۱۳۹۸. کمی‌سازی اثر عوامل محیطی بر توزیع خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos*) در جنگل-های بلوط زاگرس (مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده قلاجه)، فصلنامه محیط‌زیست جانوری، ۱۱ (۴)، صفحات ۸-۱.

۱۵. کبیری بالاجاده، ح.، رضایی، ح.، و نادری، س.، ۱۳۹۶. تنوع ژنتیکی شوکا در استان‌های گلستان و مازندران براساس توالی ژن دی‌لوپ (D-loop) میتوکندری، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۹ (۱)، صفحات ۴۹- ۵۶.

۱۶. کرمی، پ.، ۱۴۰۰. شناسایی و تحلیل نواحی داغ زیستگاهی مهره-داران شاخص از منظر سیمای سرزمین در استان کرمانشاه. رساله دکتری محیط زیست، گرایش آمایش محیط زیست. دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر. ۴۲۱ صفحه

۱۷. کرمی، پ.، شایسته، ک.، و رستگارپویانی، ن.، ۱۳۹۹. بارزسازی نقش ارتفاع در جابه‌جایی گونه‌های حیات‌وحش مناطق کوهستانی با تأکید بر مناطق حفاظت شده: مطالعه موردی استان کرمانشاه، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۱۲ (۲)، صفحات ۲۱- ۳۰.

۱۸. کرمی، پ.، و شایسته، ک.، ۱۳۹۷. مدلسازی دالان‌های زیستگاهی با استفاده از روش تجسم در مدل آنتروپی بیشینه مطالعه موردی: قوچ

و میش (*Ovis orientalis*) مناطق حفاظت شده استان مرکزی و همدان، فصلنامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹ (۴)، صفحات ۵۴-۳۷.

۱۹. کرمی، پ.، شایسته، ک.، کرمی، ا.، و حسینی، م.، ۱۳۹۷. شناسایی دالان‌های زیستگاهی گوسفند وحشی ارمنی *(Ovis Orientalis)* در بستر سیمای سرزمین مبتنی بر تئوری مدارهای الکتریکی (مطالعه موردی: مناطق لشگردر و گلپرآباد)، مجله پژوهش‌های جانوری (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۳۱ (۳)، صفحات ۳۱۶- ۳۳۰.

۲۰. مخفی، گ.، میرسنجری، م.، و یالپانیان، ع.، ۱۳۹۹. شناسایی کریدورهای زیستگاهی گوسفند وحشی ارمنی در مناطق حفاظت شده خانگرمز و آلموبلاغ در استان همدان، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۱۲ (۴)، صفحات ۹- ۱۷.

۲۱. مددی، ح.، و وارسته، ح.، ۱۳۹۸. مطلوبیت زیستگاه پلنگ (*Pantera pardus saxicolor*) با استفاده از روش حداکثر آنتروپی در پارک ملی و ذخیرگاه زیست کره گلستان، فصلنامه محیط‌زیست جانوری، ۱۱ (۲)، صفحات ۲۰-۱۱.

۲۲. وصالی، ف.، وارسته مرادی، ح.، و سلمان ماهینی، ع.، ۱۳۹۶. ارزیابی مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی (*Pantera pardus saxicolor*) با روش آنتروپی بیشینه در استان گلستان، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۸ (۱۵)، صفحات ۱۰۱- ۱۱۲.

۲۳. ولوی، ر.، ۱۳۹۵. مدل‌سازی توزیع گونه‌های بلوط زاگرس در شرایط تغییر اقلیم، مطالعه موردی: استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی- منابع اب و خاک، گروه آموزشی سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۱۸ صفحه.

24. Beier, P., Majka, D.R., and Spencer, W.D., 2008. Forks in the Road: Choices in Procedures for Designing Wildlife Linkages, Conservation Biology, 22 (4), PP: 836–851.

25. Bradter, U., Kunin, W.E., Altringham, J.D., Thom, T.J., and Benton, T.G., 2013. Identifying appropriate scales of predictors in species distribution models with the random forest algorithm, Methods in Ecology and Evolution, 4, PP:167-174.

26. Farhadinia, M.S., Johnson, P.J., Hunter, L.T.B., and Macdonald, D.W., 2018. Persian leopard predation patterns and kill rates in the Iran- Turkmenistan borderland, Journal of Mammalogy, 99, PP: 713–723. https ://doi.org/10.1093/jmamm al/gyy047.

27. Fuller, D.O., Meijaard, E.M., Christy, L., and Jessup, T.C., 2010. Spatial assessment of threats to biodiversity within East Kalimantan, Indonesia, Applied Geography, 30, PP: 416- 425.

28. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., and Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote sensing of Environment, 202, PP:18-27.

29. Gould, W., 2000. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots. Ecol. Appl, 10, PP: 1861–1870.

30. Hilty, J. A., Lidicker, W. Z., and Merenlender, A., 2012. Corridor ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation, Island Press.

31. Kitchener, A.C., Breitenmoser-Würsten, C., Eizirik, E., Gentry, A., Werdelin, L., Wilting, A., Yamaguchi, N., Abramov, A.V., Christiansen, P., Driscoll, C., Duckworth, J.W., Johnson, W., Luo, S.J., Meijaard, E., O'Donoghue, P., Sanderson, J., Seymour, K., Bruford, M., Groves, C., Hoffmann, M., Nowell, K., Timmons, Z., and Tobe, S., 2017. "A revised taxonomy of the Felidae: The final report of the Cat Classification Task Force of the IUCN Cat Specialist Group". Cat News (Special Issue 11), PP: 73–75.

32. Lian, X., Zhang, T., Cao, Y., Su, J., and Thirgood, S., 2013. Road proximity and traffic flow perceived as potential predation risks: evidence from the Tibetan antelope in the Kekexili National Nature Reserve, China, Wild Research, 38, PP: 141-146.

33. Liu, C., Newell, G., and White, M., 2019. The effect of sample size on the accuracy of species distribution models: considering both presences and pseudo-absences or background sites. Ecography, 42 (3), PP: 535- 548.

34. LU¨Tolf, M., Kienast, F., and Guisan, A., 2006. The ghost of past species occurrence: improving species distribution models for presence-only data. Journal of Applied Ecology, 43, PP: 802– 815.

35. Mateo-Sánchez, M. C., Balkenhol, N., Cushman, S., Pérez, T., Domínguez, A., and Saura, S., 2015. Estimating effective landscape distances and movement corridors: comparison of habitat and genetic data. Ecosphere, 6 (4), PP:1- 16.

36. McRae, B. H., and Kavanagh, D. M., 2011. Linkage Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy. SeattleWA. Available at: <www.circuitscape. org/linkagemapper>.

37. Mirakbari, M., Ganji, A., and Fallah, S., 2010. Regional bivariate frequency analysis of meteorological droughts. Journal of Hydrologic Engineering, 15 (12), PP: 985-

1000. doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000271.

38. Nekolny, S.R., Denny, M., Biedenbach, G., Howells, E.M., Mazzoil, M., Durden, W.N., Moreland, L., David Lambert, J., and Gibson, Q.A., 2017. Effects of study area size on home range estimates of common bottlenose dolphins Tursiops truncatus. Current zoology, 63 (6), PP: 693-701.

39. Pelletier, D., Clark, M.G., Anderson, M., Rayfield, B.A., Wulder, M., and Cardille, A.J., 2014. Applying circuit theory for corridor expansion and management at regional scales: tiling, pinch points, and omnidirectional connectivity, Viewed 4 June 2016. <https:// www.plosone.org>.

40. Poor, E., Loucks, C., Jakes, A., and Urban, D., 2012. Comparing Habitat Suitability and Connectivity Modeling Method for Conserving Pronghorn Migratins, PLOS.

41. Poursalem, S., Amininasab, S.M., Zamani, N., Almasieh, K., and Mardani, M., 2021. Modeling the Distribution and Habitat Suitability of Persian Leopard Panthera pardus saxicolor in Southwestern Iran. Biology Bulletin, 48 (3), PP: 319-330.

42. Rodriguez, C., Monroy-Vilchis, O., and Zarco-Gonzalez, M., 2013. Corridors for jaguar (Panthera onca) in Mexico, Conservation strategies Journal for Nature Conservation, 6, PP: 438- 443.

43. Senay, S.D., Worner, S.P., and Ikeda, T., 2013. Novel three-Step Pseudo-absence Selection technique for improved Species distribution modelling, Plos One, 8 (8), e71218 p.

44. VanDerWal, J., Shoo Luke, P., Graham, C., and Williams Stephen, E., 2009. Selecting pseudo-absence data for presence-only distribution modeling: How far should you stray from what you know? Ecological Modelling, 220, PP: 589–594.

Distribution and landscape connectivity modeling between habitat patches of Persian leopard (*Panthera pardus tulliana*) in Yazd province

Daheji F.[1], Morovati M.[1*] and Zare khormizi M.[2]

[1] .Dept. of Environmental Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, I.R. of Iran

[2] yazd Porvincial Office of Department of Environment, Yazd, I.R. of Iran

Abstract

The Persian leopard (*Panthera pardus tulliana*) is the largest species feline family in Iran with the widest distribution among large feline cats that is distributed in most habitats of the country. The aim of this study was to identify habitat spots and connection pathways between known spots for Persian leopard. In order to model the species presence points and 11 habitat variables were used including topographic moisture, altitude, altitude roughness, distance from main roads, distance from residential areas, peak density, vegetation density index, vegetation density roughness, Normal water difference index, sky visibility coefficient and valley depth along with presence and quasi-absence methods of classification and regression tree (CART), random forest (RF), TreeNET and MARS. All possible models were combined by the AUC method, the cost map was obtained from the inverse of that map, were collected together the threshold maps and in the algebraic sum, were determined 4 different dimensions of home area of the habitat spots. Corridors between habitat spots were identified using the least cost analysis (LCP) method. Connection the protected areas of the province to each other was also done from the theory electrical circuit. According to the agreement between the results of Kalmand and Bafgh protected areas, Shirkuh no-hunting area has the largest area, Siahkuh protected areas and national park have the lowest area of the species habitat, respectively. In combination with the results of the analysis of the lowest cost based on habitat spots, it should be noted that the connection of habitat spots in the Bafgh Protected Area to the Kalmand Protected Area can guarantee the spread of the species in Shirkuh and Marvar areas.

Keywords: Persian panther, corridor, habitat, Yazd province