تلفیق مدل مدار الکتریکی و حداکثر آنتروپی برای طرح‌ریزی کریدورهای حفاظتی بین استان‌های اصفهان و مرکزی

- **آزیتا رضوانی**: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
- **سیما فاخران‌اصفهانی***: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
- **علیرضا سفیانیان**: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
- **مصطفی ترکش**: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
- **محمودرضا همامی**: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۵

چکیده

آگاهی از مسیر حرکت گونه‌ها در میان زیستگاه‌های مختلف امری ضروری جهت توسعه رویکردهای حفاظتی در مقیاس سیمای سرزمین است. حفظ توانایی حرکت و جابه‌جایی افراد در دوره‌های کوتاه تا میان‌مدت امکان انتشار، دسترسی به زیستگاه‌های مطلوب، مهاجرت‌های فصلی و پویایی ابرجمعیت‌ها و در بلندمدت، امکان تغییر محدوده‌های پراکنش گونه‌ها در واکنش به تغییر اقلیم را فراهم می‌نماید. هدف از این مطالعه شناسایی کریدورهای مهاجرتی قوچ و میش اصفهانی *Ovis orientalis isphahanica* در بین منطقه حفاظت‌شده هفتادقله در استان مرکزی و پناهگاه حیات‌وحش موته در استان اصفهان با رویکرد تلفیقی مدل مدار الکتریکی با استفاده از نرم‌افزار Circuitscape و مدل حداکثر آنتروپی با استفاده از نرم‌افزار MaxEnt است. در مرحله اول، مدل‌سازی پراکنش گونه طی دو گام با استفاده از داده‌های حضور و بدون استفاده از داده‌های حضور درناحیه حدفاصل مورد مطالعه مابین مناطق تحت حفاظت مذکور انجام گرفت. خروجی‌های مدل حداکثر آنتروپی جهت شناسایی مسیرهای ارتباطی وارد مدل مدار الکتریکی گردید. نتایج مدل‌ها نشان داد تنها یک مسیر اصلی بالقوه مطلوب برای جابه‌جایی بین مناطق تحت حفاظت موته وهفتادقله وجود دارد که در نزدیکی منطقه هفتادقله به چند شاخه تقسیم شده و درنتیجه، مسیرهای متعدد بالقوه مطلوبی را درآن ناحیه به‌وجود می‌آورند. مسیرهای مطلوب شناسایی شده توسط مدل‌ها با راه‌های گدار شناخته شده‌ای که در طی سالیان گذشته توسط جمعیت‌های این گونه استفاده شده است مطابقت دارد و پیشنهاد می‌شود این کریدورها به شبکه مناطق تحت حفاظت، افزوده شود.

کلمات کلیدی: کریدور، مهاجرت، گردنه بطری، مقاومت سیمای سرزمین، مدار الکتریکی

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

مقدمه

آگاهی از مسیر حرکت گونه‌ها در میان زیستگاه‌های مختلف امری‌ضروری‌جهت‌توسعه‌رویکردهای حفاظتی در مقیاس سیمای سرزمین است. حفظ توانایی حرکت و جابه‌جایی افراد در دوره‌های کوتاه تا میان مدت امکان انتشار، دسترسی به زیستگاه‌های خالی، مهاجرت‌های فصلی و پویایی ابرجمعیت‌ها (Metapopulations) (Hanski، ۱۹۹۸)،ودر بلندمدت امکان تغییر محدوده‌های پراکنش گونه‌ها در واکنش به تغییر اقلیم را فراهم نموده و سبب حفظ تنوع ژنتیکی مورد نیاز جهت فرآیندهای تکاملی گونه‌ها می‌گردد (Minor و Urban، ۲۰۰۸).یکی از مهم‌ترین اشکال حرکت گونه‌ها در سیمای سرزمین، مهاجرت (حرکت رفت و برگشت هم‌زمان، دسته‌جمعی و قابل پیش‌بینی افرا یک گونه در میان زیستگاه‌های دور از هم) است (Poor و همکاران، ۲۰۱۲). در میان انواع مختلف گونه‌ها،مهاجرت‌های‌دسته‌جمعی‌وطولانی سم‌داران ازجمله جالب توجه‌ترین انواع مهاجرت می‌باشد (Bolger و همکاران، ۲۰۰۸). متأسفانه، در طول سال‌های اخیر، فعالیت‌های انسانی سبب شده است تا بخش قابل‌توجهی از مسیرهای مهاجرتی این گونه‌ها نابود گردد. مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی که در نابودی فرآیند مهاجرت و مسیرهای مهاجرتی سم‌داران نقش به‌سزایی داشته‌اند عبارتند از شکار بی‌رویه، موانع انسان ساخت و نابودی زیستگاه (Bolger و همکاران، ۲۰۰۸).کاهش‌هایی که در سالیان اخیر درنتیجه تأثیر این عوامل در اندازه جمعیت سم‌داران رخ داده است، به‌خوبی آسیب‌پذیری مسیرهای مهاجرتی باقی‌مانده را آشکار می‌نماید (Bolger و همکاران، ۲۰۰۸). از این‌رو، با ادامه شدت یافتن این تهدیدات انسانی، ضروری است که مسیرهای مهاجرتی باقی‌مانده شناسایی شده تا بتوان اقدامات مؤثر جهت حفاظت کافی از آن‌ها را به‌عمل آورد(Poor و همکاران، ۲۰۱۲). در این ارتباط، شناسایی کریدورهای ارتباطی به‌عنوان یک ابزار حفاظتی مهم (Cushman و همکاران، ۲۰۱۳)، می‌تواندنقش‌مؤثری در کاهش تأثیرات منفی فعالیت‌های انسانی و جلوگیری از نابودی مسیرهای مهاجرت سم‌داران داشته باشد. جهت پیش‌بینی و شناسایی کریدورها و ارتباطات‌زیستگاهی،روش‌های‌متعددی‌توسعه‌یافته‌است‌که مبنای آن‌هامحاسبه میزان مقاومت سیمای سرزمین دربرابر حرکت افراد می‌باشد. متداول‌ترین روش مورد استفاده، روش تحلیل حداقل هزینه است (Cushman و همکارن، ۲۰۰۹) که با استفاده از آن می‌توان مسیر یا کریدورهای حداقل هزینه را شناسایی نمود. مهم‌ترین‌عیب این‌روش در این است که تنها یک مسیر را به‌عنوان مطلوب‌ترین‌راه ارتباطی‌میان‌لکه‌های‌زیستگاهی شناسایی می‌کند، این در حالی است که ممکن است مسیرهای متعدد دیگری نیز جهت تسهیل حرکت افراد وجود داشته باشد (Pinto و Keitt، ۲۰۰۹؛ Moilanen و همکاران، ۲۰۱۱). برای برطرف نمودن این محدودیت، روش‌های جایگزینی توسعه یافته که قادر به شناسایی تمامی مسیرهای ارتباطی ممکن می‌باشند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل مدار الکتریکی (Circuitscape Theory) اشاره نمود (McRae و همکاران، ۲۰۰۸). کاربرد تئوری مدار الکتریکی در مسائل بوم‌شناختی به‌دلیل شباهتی است که میان ارتباطات بوم‌شناختی و ارتباط الکتریکی وجوددارد. در این تئوری، گره‌های الکتریکی‌به‌عنوان‌لکه‌های‌زیستگاهی،حرکت‌جریان‌به‌منزله‌حرکت افراد و مقاومت (Resistors) میان‌گره‌ها به‌عنوان مسیرها یا کریدورهای زیستگاهی درنظر گرفته می‌شوند. خروجی این مدل نقشه جریان است که شدت آن نشان‌دهنده احتمال حرکت افراد در سیمای‌سرزمین می‌باشد. به‌علاوه با استفاده از نقشه جریان می‌توان کریدورها و نواحی ارتباطی مهم در سیمای‌سرزمین را نیز شناسایی نمود(ملکوتی‌خواه و همکاران، ۱۳۹۲). Poor و همکاران (۲۰۱۲)،جهت‌شناسایی‌کریدورهای‌فصلی‌برای گونه شاخ چنگالی از دو مدل حداقل هزینه و مدل مدار استفاده کرده و نتایج حاصل از دو مدل ذکر شده را با یکدیگر مقایسه نمودند. در مطالعه‌ای دیگر Beier و همکاران (۲۰۰۸)، از مدل حداقل هزینه استفاده و کریدورهای حداقل هزینه را برای *Ovis canadensis nelsoni* در آریزونا مشخص نمودند. در ایران نیز مطالعاتی مشابهی انجام گرفته است. برای مثال، ملکوتی‌خواه و همکاران (۱۳۹۳) از این دو مدل استفاده و کریدورهای مهاجرتی را برای دو سم‌دار آسیب پذیر آهوی ایرانی *Gazelle subguttorosa subguttorosa*و قوچ و میش *Ovis orientalis isphahanica* در بین پناهگاه‌های حیات وحش‌موته‌وقمیشلوشناسایی‌نمودند.Goljaniوهمکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از مدل حداقل هزینه، مسیرهای حداقل هزینه واقع در میان زیستگاه‌های تابستانه و پاییزه برای قوچ و میش را در شمال ایران تعیین کردند. در بررسی مشابه، مشهدی‌احمدی (۱۳۹۳)، با به‌کارگیری ۸ لایه زیست‌محیطی و با استفاده از مدل الگوریتم حداکثر آنتروپی نقشه مطلوبیت تابستانه و زمستانه قوچ و میش البرز مرکزی را تهیه و با کمک مدل کم‌ترین هزینه مسیر، ۲۵ مسیر گدار یا مهاجرت را برای این گونه طراحی کرد. هم‌چنین Farhadinia و همکاران(۲۰۱۵) با کمک تئوری مدار الکتریکی به بررسی کریدورهای مهاجرتی پلنگ در قفقاز پرداختند. در بررسی دیگری الماسیه و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی شدت جریان بالقوه خرس سیاه ایرانی در سیستان و بلوچستان با استفاده از تئوری مدار اکتریکی اقدام نمودند. در اکثر مطالعات انجام‌شده،

مناطق مورد بررسی جهت شناسایی کریدورهای زیستگاهی در یک استان قرار داشته‌اند، با توجه به این‌که مسیرهای مهاجرتی با مرزهای سیاسی استان‌ها مطابقت ندارد و از دیرباز مهاجرت بین مناطق صورت می‌گرفته، بنابراین هدف اصلی این مطالعه بررسی و شناسایی ارتباطات زیستگاهی و کریدورهای مهاجرتی قوچ و میش بین پناهگاه حیات‌وحش موته و منطقه حفاظت‌شده هفتادقله در نظر گرفته شد. به این منظور ابتدا با استفاده از روش حداکثر آنتروپی نقشه مطلوبیت زیستگاه قوچ و میش در ناحیه مطالعه تهیه و سپس با استفاده از تئوری مدار الکتریکی کریدورها و نواحی ارتباطی مهم شناسایی گردید.

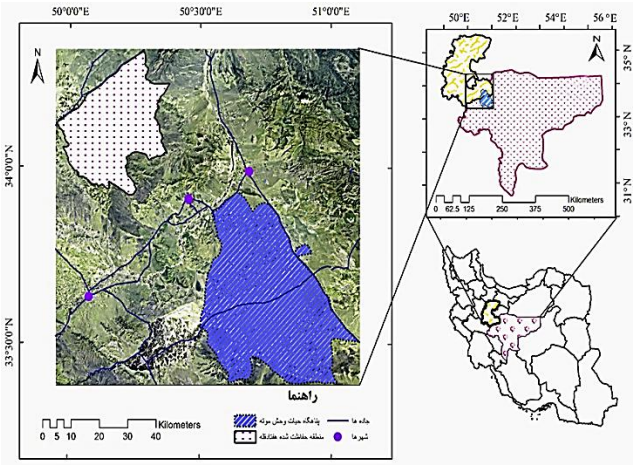
مواد و روش‌ها

گونه مورد مطالعه: در این مطالعه قوچ و میش *Ovis orientalis isphahanica* به‌دلیل مشاهدات میدانی مبنی بر مهاجرت این گونه در بین دو منطقه و اهمیت آن در مناطق مذکور، به‌عنوان گونه هدف انتخاب شد. ازجمله مشخصات این گونه عبارتند از: خمیدگی شاخ‌ها به دوطرف گردن، قسمت جلویی شاخ‌ها گرد و لبه پشتی تیز است (ضیایی، ۱۳۸۷). پیچش شاخ به اطراف گردن و مقطع شاخ مثلثی شکل است. میش‌ها اغلب بدون شاخ هستند. در زمستان موهای زیرگردن و سینه سیاه‌رنگ و در مقایسه با قوچ ارمنی بسیار بلنداند. لکه سفید زینی‌شکل در ناحیه کمر دیده می‌شود. رنگ بدن تیره‌تر از سایر قوچ‌هاست ولی دست و پا و پوزه سفید است (ضیایی، ۱۳۸۷). این حیوانات روزگردند. زندگی آن‌ها به‌صورت اجتماعی و میش‌ها و بره‌ها و نرهای جوان باهم و جدا از قوچ‌های مسن (گله نرهای بالغ) می‌باشند. فصل جفت‌گیری آن‌ها دراوایل پاییز است (مکی، ۱۳۹۰). قوچ و میش ارمنی و زیرگونه‌های آن ازجمله زیرگونه اصفهان در لیست IUCN در رده آسیب‌پذیر (Vulnerability) قرار دارد (www.IUCN.org) پراکندگی قوچ و میش اصفهانی فقط در مناطق جنوب‌غرب و جنوب‌شرق استان اصفهان و قسمتی از استان چهارمحال و بختیاری است (ضیایی، ۱۳۸۷؛ مکی، ۱۳۹۰).

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه، منطقه‌ای است به‌طول حدود ۶۳کیلومتر که در بین پناهگاه حیات‌وحش موته در شمال غربی استان اصفهان و منطقه حفاظت‌شده هفتادقله در جنوب استان مرکزی واقع شده‌است. ارتفاع این ناحیه در محدوده ۲۸۹۸-۱۴۲۰ متر می‌باشد. پوشش گیاهی در منطقه شامل *Scariola_Stipa*، *Scariola_Cousinia*، *Scariola_Euphorbia* و *Rosa Persica_Scariola* است (نقشه تیپ پوشش گیاهی، اداره آموزش، تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی). در بخش شرقی این منطقه بزرگراه اصفهان- تهران (میمه- دلیجان) و در بخش غربی آن شهرستان خمین و در بخش جنوبی جاده دلیجان- محلات قرار گرفته است. تعارضات انسانی موجود در ناحیه شامل شکار غیرقانونی، کاربری کشاورزی، چرای دام، صنایع و معادن می‌باشد که بیش‌ترین تمرکز این تعارضات در شمال و شمال‌غربی پناهگاه حیات‌وحش موته و جنوب‌شرقی منطقه حفاظت‌شده هفتادقله و نیز امتداد این دو ناحیه است (نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰) (شکل ۱). محدوده ارتفاعی پناهگاه حیات‌وحش موته درحدود ۱۵۰۰ تا ۲۸۵۸ متر قراردارد. متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۹/۷درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه ۲۴۹/۱۶ میلی‌متر ثبت شده است (ملکی‌نجف آبادی و همکاران، ۱۳۸۹). ارتفاعات شامل دو رشته‌کوه که بین آن منطقه دشتی و شوره‌زار است (علی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۹). محدوده ارتفاعی منطقه حفاظت شده هفتادقله ۱۵۸۰ تا ۲۹۶۰ متر بالاتر از سطح دریا است (Shams Eshandabad و همکاران، ۲۰۱۰). میانگین بارش سالیانه ۳۴۰ میلی‌متر است. کم‌ترین درجه حرارت در زمستان ۲۵- درجه سانتی‌گراد و بالاترین آن درتابستان ۴۰ درجه سانتی‌گراد است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۲). اختلاف در پارامترهای اقلیمی دو منطقه زمینه مناسبی جهت مهاجرت قوچ و میش اصفهانی را در فصول بهار (از پناهگاه حیات‌وحش موته به منطقه حفاظت‌شده هفتاد قله) و پاییز (از منطقه حفاظت‌شده هفتادقله به پناهگاه حیات‌وحش موته) فراهم نموده است.

جمع آوری داده و لایه‌های مورد نیاز: برای جمع‌آوری نقاط حضور در دو فصل مهاجرت بهار و پاییز، بازدیدهای میدانی در آبان، آذر و اسفند سال ۱۳۹۴ از مناطق مورد مطالعه صورت گرفت، به‌علاوه از اطلاعات محیط‌بانان نیز در این زمینه استفاده شد. در بازدیدهای میدانی، موقعیت مکانی حضورگونه به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم (ثبت نمایه‌هایی نظیر ردپا، سرگین) با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی ثبت گردید. در نهایت ۱۰۰ نقطه حضور جهت ورود به فرایند مدل‌سازی استفاده شد. در این مطالعه بر مبنای مطالعات میدانی، مرور منابع (مروتی و همکارن، ۱۳۹۳؛ مکی، ۱۳۹۰؛ ملکوتی خواه و همکاران، ۱۳۹۲) و پرسش از کارشناسان و محیط‌بانان پناهگاه حیات‌وحش موته و منطقه حفاظت‌شده هفتادقله، تیپ پوشش گیاهی، شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، شاخص NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)، پارامترهای اقلیمی و منابع آب برای تهیه مدل مطلوبیت

زیستگاه قوچ ومیش انتخاب شدند. در این مطالعه از ۱۹متغیر اقلیمی و زیست اقلیمی بانک داده Worldclim برای مدل‌سازی زیستگاه قوچ ومیش استفاده شد (Hiijmans و همکاران، ۲۰۰۵). کم‌ترین قدرت تفکیک مکانی داده‌های این وبگاه نزدیک به یک کیلومترمربع است، از آن‌جایی‌که هدف از این مطالعه بررسی تأثیر متغیرهای محیطی بر پراکنش قوچ ومیش در مقیاس ۲۵۰ متر بوده، لذا از روش spline جهت کاهش تغییر قدرت تفکیک مکانی پیکسل‌ها از یک کیلومتر به ۲۵۰متر استفاده گردید (Hiijmans و همکاران، ۲۰۰۵). در این مطالعه برای تهیه شاخص NDVI از تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Terra با دقت مکانی ۲۵۰متر استفاده شد. بدین‌منظور تصاویر سری زمانی ۲۰۱۵ این سنجنده برای دوره مهاجرت شهریور- مهر که در واقع ماه‌های اوج رشد پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است، از سایت USGU تهیه شد و شاخص پوشش‌گیاهی برای ماه‌های ذکرشده با استفاده از نرم‌افزار ENVI استخراج شد. با توجه به دوره ۱۶روزه تصویر برداری این سنجنده جهت تهیه تصویر نهایی ورودی به فرایند مدل‌سازی آنالیز تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی لایه‌ها در نرم‌افزار ArcMap ۱۰,۲ انجام شد. تصویر حاصل در مدل مطلوبیت به‌عنوان نقشه شاخص پوشش‌گیاهی وارد گردید.



شکل۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه، شامل پناهگاه حیات‌وحش موته استان اصفهان، منطقه حفاظت‌شده هفتادقله استان مرکزی و مناطق بینابینی

همبستگی بین متغیرها: به‌دلیل تعداد زیاد لایه‌های انتخاب شده و هم‌چنین احتمال همبستگی بالا بین برخی از متغیرها، انتخاب متغیرهای نهایی برای ورود به مدل به‌صورت زیر انجام شد. ابتدا بین تمامی متغیرها آنالیز همبستگی انجام گرفت. نتایج نشان داد تنها داده‌های اقلیمی دارای همبستگی هستند، بنابراین بین تمامی داده‌های اقلیمی آنالیز همبستگی با استفاده از شاخص همبستگی پیرسون انجام شد و متغیرهایی که همبستگی بالایی داشتند حدف گردید. آستانه درنظر گرفته شده جهت شناسایی متغیرها با همبستگی بالا برابر ۷/ درنظر گرفته‌شد (Li و همکاران، ۲۰۱۴). سپس مدل حداکثر آنتروپی با تمامی متغیرها و داده‌های اقلیمی انتخاب شده اجرا شد. در نهایت با استفاده از تحلیل جک نایف‌متغیرهایی که‌بالاترین‌درجه اهمیت را براساس کاربرد تنهایی آن متغیر داشتند، مشخص شدند، ۱۲متغیر به‌عنوان داده‌های نهایی انتخاب شدند (جدول۱).

جدول :۱ لیست متغیرهای نهایی مورد استفاده در مدل‌سازی پراکنش قوچ ومیش اصفهانی

نام متغیر	کد
ارتفاع	DEM
شیب	Slop
بارش خشک‌ترین ماه	Bio13
بارش مرطو ترین فصل	Bio14
تیپ‌های پوشش‌گیاهی	
(۱) *Artemisia aucheri_ Astragalus*	*auc_Ast*
(۲) *Artemisia sieberi_Astragalus*	*sie_Ast*
(۳) *Astragalus_Cousinia*	*Ast_Cou*
(۴) *Scariola_Cousinia*	*Sca_Cou*
شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده	Ndvi_pc1
شهرها	Urban
معادن وصنایع	Mine
جاده‌ها	Road

تهیه مدل مطلوبیت زیستگاه: اجرای مدل حداکثر آنتروپی در نرم‌افزار maxent۳,۳,۳ صورت گرفت (Philips و همکاران، ۲۰۰۶). در این مطالعه فرایند مدل‌سازی به دو شکل انجام گرفت. در گام اول، مدل حداکثر آنتروپی با استفاده از لایه‌های نهایی و داده‌های‌حضور (داده‌های حضورپناهگاه حیات‌وحش موته، منطقه حفاظت‌شده هفتادقله و مابین این دو منطقه) انجام شد. پارامتر هموارسازی(Regularization multiplier) یک‌انتخاب‌شدکه دلیل آن جلوگیری از برازش بیش از مقدار واقعی بود (Khosravi و همکاران، ۲۰۱۵، Phillips و همکاران، ۲۰۰۶). حداکثر تعداد نقاط پس زمینه۱۰۰۰۰، تعداد اجرای هر مدل ۱۰ بار و فرمت خروجی،لجستیک‌درنظر‌گرفته شد (Phillips و همکاران، ۲۰۰۶؛ خسروی، ۱۳۹۴؛ Khosravi و همکاران، ۲۰۱۵). در گام دوم مدل‌سازی همان متغیرهای محیطی مورد استفاده قرار گرفت، با این تفاوت که تنها از داده‌های حضور جمع‌آوری شده

از دو منطقه تحت حفاظت موته و هفتادقله استفاده و از نقاط ناحیه حدفاصل صرف نظر گردید. هدف از این کار بررسی میزان ارزیابی کارایی مدل در پیش‌بینی زیستگاه‌های مطلوب قوچ و میش در شرایط عدم دسترسی به داده‌های حضور کافی بود.

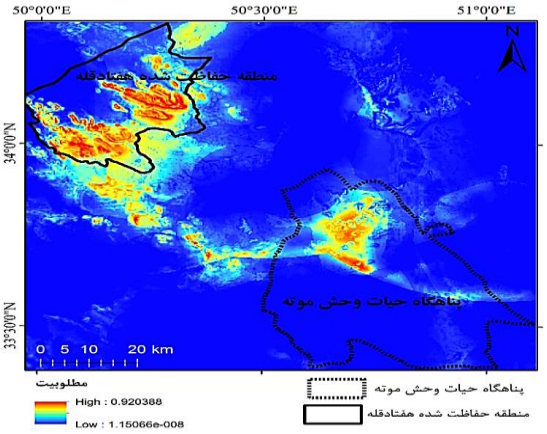
مدل‌سازی ارتباطات با نرم‌افزار Circuitscape:

Circuitscape برنامه‌ای است که از نظریه مدارهای الکتریکی برای پیش‌بینی ارتباط جمعیت‌های حیات‌وحش در سیمای سرزمین‌های ناهمگن در حرکت انفرادی افراد، جریان ژن و برنامه‌ریزی حفاظت بهره می‌برد. اجرای برنامه مدار الکتریکی در نرم‌افزار Circuitscape ۳,۵,۸ صورت گرفت (Mcrea و همکاران، ۲۰۱۱). این نرم‌افزار برای طراحی کریدور بین جمعیت‌های حیات‌وحش در طبیعت از دو نوع لایه زیستگاه ورودی استفاده می‌کند. این لایه می‌تواند به شکل مدل مطلوبیت زیستگاه گونه هدف و یا لایه مقاومت باشد (نقشه مناطق نامناسب برای حرکت گونه است که مکان‌های نامناسبی را که گونه در طول مسیرحرکت ممکن است با آن‌ها برخورد کند نشان می‌دهد و در نرم‌افزار مذکور به‌نام نقشه مقاومت خوانده می‌شود). مقاومت‌های کم به زیستگاه‌هایی اختصاص می‌یابند که بیش‌ترین نفوذپذیری را به‌حرکت دارند و یا بهترین راه‌های تسهیل جریان ژن هستند و مقاومت‌های زیاد برای زیستگاه‌هایی با کم‌ترین پراکنش و یا برای موانع حرکت طراحی شده‌اند. که در این مطالعه از مدل حداکثر آنتروپی تهیه‌شده در نرم‌افزار MaxEnt (به‌عنوان مطلوبیت) استفاده گردید. هر سلول شبکه با مقاومت محدود به‌عنوان یک گره در نمودار نشان داده می‌شود و به چهار سلول زیستگاه همسایه درجه یک یا هشت سلول زیستگاه همسایه درجه دو وصل شده‌است که در این‌جا از ۴ پیکسل به‌دلیل حجم کم‌تر استفاده شد. برای محاسبه جریان الکتریکی، از روش سوم all_to_one استفاده گردید. این روش نیازمند حافظه کم‌تری بود و الگوی ارتباطات در ناحیه براساس شدت جریان الکتریکی را بهتر نشان می‌دهد (ملکوتی‌خواه و همکاران ۱۳۹۲). پس از اجرای برنامه، خروجی آن‌که نقشه جریان در کل منطقه است، به‌دست آمد. از این نقشه برای بررسی ارتباطات عملکردی قوچ ومیش در ناحیه و شناسایی بهترین مسیرهای مهاجرت برای گونه استفاده گردید.

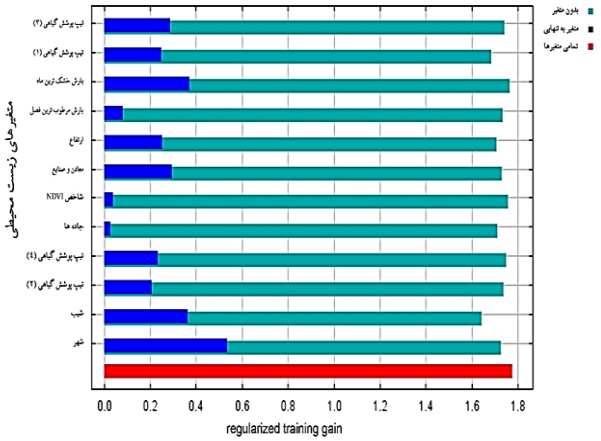
نتایج

مدل‌های مطلوبیت زیستگاه

مدل‌های مطلوبیت زیستگاه: نقشه پیش‌بینی پراکنش قوچ و میش در شکل ۲ نشان داده شده است. نقشه مطلوبیت زیستگاه به‌دست آمده مطلوبیت را از صفر تا یک بیان می‌کند. مناطق با مطلوبیت بالا که حداکثر احتمال حضورگونه را دارد است به رنگ قرمز و مناطقی که احتمال حضور گونه پایین است با رنگ آبی مشخص شده است. بیش‌ترین مناطق مطلوب در محدوده ناحیه مطالعه در قسمت شمالی پناهگاه حیات‌وحش موته و بخش‌های شرق و جنوب تا جنوب‌غربی منطقه حفاظت‌شده هفتادقله قرار دارند. کم‌ترین میزان مطلوبیت در این دو منطقه نیز در بخش‌های جنوبی پناهگاه حیات‌وحش موته و بخش شمالی منطقه حفاظت شده هفتادقله پیش‌بینی شده که مناطق دشتی آن‌ها را تشکیل می‌دهد. براساس پیش‌بینی مدل مکسنت، بخش عمده‌ای از وسعت ناحیه حدفاصل دو منطقه حفاظت شده، از مطلوبیت پایینی برای حمایت از جمعیت‌های قوچ و میش برخوردار می‌باشد. تنها گستره مطلوب در این بخش، نواری باریک و ناپیوسته از زیستگاه‌های مطلوب است که در طول رشته کوه‌های منطقه و در جهت شمال جنوب قرار گرفته است.



شکل ۲: نقشه مطلوبیت زیستگاه احتمال حضور قوچ ومیش با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی درگام اول



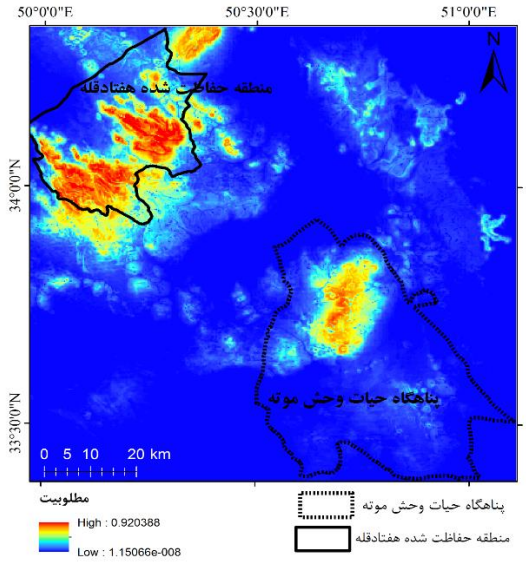
شکل ۳: نتایج آزمون جک‌نایف برای بررسی اهمیت هر یک از متغیرها

نتیجه حاصل از ارزیابی کارایی مدل حداکثر آنتروپی با استفاده از شاخص AUC (۰/۹۳) نشان داد که مدل از کارایی و دقت‌بالایی در پیش‌بینی مناطق مطلوب حضور این گونه در ناحیه مطالعه برخوردار است. آزمون جک‌نایف نشان داد که متغیرهای فاصله تا نواحی‌شهری و بارش خشک‌ترین ماه (BIO13) مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی کننده بودند (شکل ۳).

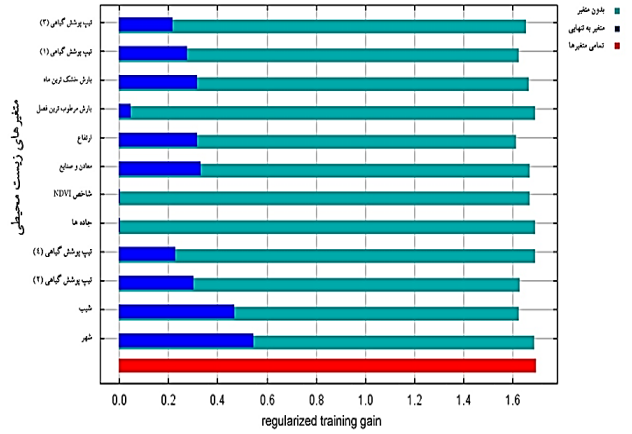
مدل مطلوبیت زیستگاه: خروجی مدل حداکثر آنتروپی که در گام دوم و بدون درنظر گرفتن نقاط حضور در ناحیه حد فاصل تهیه گردید در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طورکه مشخص است الگوی پیش‌بینی شده برای حضور قوچ و میش در دو منطقه‌حفاظت‌شده هدف مشابه مدل به‌دست آمده در گام اول است. مهم‌ترین تفاوت مشاهده شده در نتایج دو مدل در ناحیه حدفاصل‌دو منطقه مشاهده گردید. در مقایسه با مدل قبل، نواحی با حداکثر احتمال حضور قوچ و میش تنها به شکل چندین لکه و درحاشیه مرز جنوبی‌منطقه حفاظت‌شده‌هفتاد قله پیش‌بینی شده است.علاوه بر این، عدم استفاده از نقاط حضور در ناحیه حد فاصل سبب‌شده است تا مدل‌حداکثرآنتروپی‌احتمال‌حضوربسیار پایینی برای زیستگاه‌های مطلوب واقع در جهت شمال-جنوب پیش‌بینی نماید. به‌علاوه، مدل دوم در بخش شرقی ناحیه نواحی زیستگاهی جدیدی به‌شکل‌پراکنده شناسایی نموده است که توسط مدل اول پیش‌بینی نشدند.نتایج تحلیل جک‌نایف‌نشان‌می‌دهدکه متغیرهای شهر، شیب، صنایع و معادن، بارش خشک‌ترین ماه مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی کننده هستند. هم‌چنین میزان AUC برای این مدل، ۰/۹۳۲به‌دست آمده است که بیان‌کننده کارایی و دقت بالای مدل در پیش‌بینی مناطق حضور این گونه در ناحیه مطالعه می‌باشد(شکل ۵). براساس نتایج حاصل از آزمون جک‌نایف، فاصله تا نواحی شهری به‌عنوان یک متغیر وابسته به فعالیت‌های انسانی در هر دو مرحله به‌عنوان اصلی‌ترین متغیر در پیش‌بینی احتمال حضور گونه در ناحیه مطالعه شناسایی گردید.

نقشه‌های شدت جریان

مدل ارتباطی درگام اول: مدل ارتباط عملکردی قوچ و میش در ناحیه مطالعه که با استفاده از مدل مدار الکتریکی تهیه گردیددرشکل ۶ نشان‌داده‌شده است. براساس الگوی توزیع شدت جریان‌درناحیه،می‌توان نتیجه‌گرفت که بخش غرب و جنوب‌غربی منطقه موردمطالعه‌حداکثر احتمال‌برای حمایت از جابه‌جایی‌های فصلی‌این‌گونه‌رادارد.حداکثرشدت‌جریان‌در سراسر ناحیه (جریان با شدت بالا در این ناحیه با رگه‌های زرد رنگ نمایان شده‌است) در این بخش متمرکز شده است که به شکل نواری پیوسته در جهت شمال- جنوب بین دو منطقه حفاظت‌شده پیش‌بینی شده است. با توجه به نقشه مطلوبیت (شکل۲) مشخص می‌شود که حداکثر جریان با آن بخشی از منطقه که دارای حداکثر مطلوبیت و حداقل مقاومت زیستگاهی است، مطابقت دارد.



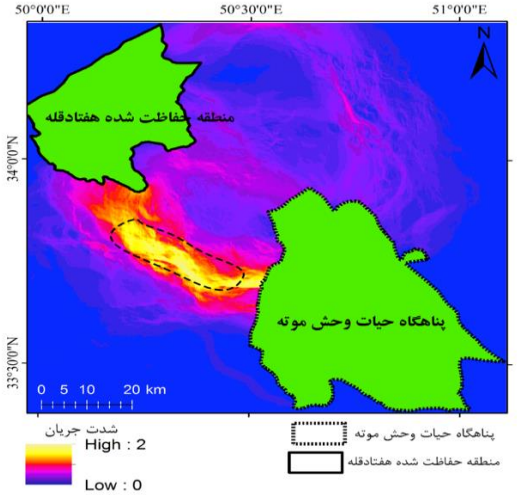
شکل ۴: نقشه مطلوبیت زیستگاه احتمال حضور قوچ و میش با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در گام دوم



شکل ۵: نتایج آزمون جک‌نایف‌برای بررسی‌اهمیت هریک از متغیرها در گام دوم

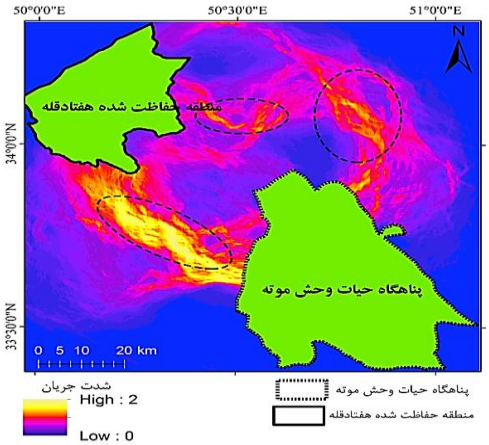
دلیل دوم برای بالا بودن جریان، مقاومت بالای پیکسل‌های پیرامون ناحیه است که در نقشه مطلوبیت(شکل ۲) به‌وضوح قابل مشاهده‌است. علاوه براین، در بخش میانی و شرقی منطقه نیز رگه‌هایی از جریان مشاهده می‌شود که به‌دلیل وجود زیستگاه‌های کم‌تر در این مناطق، شدت جریان عبوری از این ناحیه به نسبت پایین بوده است. همان‌طورکه از روی شکل مشخص است جاده دلیجان- محلات که در جهت شرقی- غربی کشیده شده است،

از بخش میانی مسیر جریان عبور نموده است. مقایسه نقشه شدت جریان و مطلوبیت زیستگاه نشان می‌دهد که بخش شرقی ناحیه بینابینی به‌دلیل مقاومت زیاد، شدت جریان کمی را دارد. این ناحیه دارای بیش‌ترین تعارضات انسانی از جمله صنایع و معادن (معدن تراورتن موته و ترشاب)، مناطق شهری و روستاها (ازجمله شهرستان محلات، دلیجان و روستای راوه و خورهه) است. در کل می‌توان گفت با وجود دو جاده اصلی در شمال پناهگاه حیات‌وحش موته و جنوب منطقه حفاظت‌شده هفتادقله و هم‌چنین کاربری‌های متعدد انسانی، قوچ و میش بین دو ناحیه موردنظر مهاجرت می‌کنند.



شکل ۶: نقشه بالقوه شدت جریان حرکت افراد گونه قوچ و میش ارمنی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در گام اول

مدل ارتباطی گام دوم: الگوی حرکت قوچ و میش بدون درنظر گرفتن نقاط حضور در منطقه حدفاصل در مدل ارتباطی تهیه شده در شکل ۷ نشان داده شده است. مقایسه نقشه جریان دوم با نقشه اول نشان می‌دهد که مسیر اصلی شمالی- جنوبی که ضلع جنوب‌غربی منطقه حفاظت‌شده هفتاد قله و ضلع غربی پناهگاه حیات‌وحش موته را به‌هم مرتبط نموده است در مدل دوم نیز پیش‌بینی شده است. مهم‌ترین تفاوت این دو مدل افزایش شدت جریان در طول مسیرهایی است که در مدل اول شدت جریان عبوری از آن‌ها پایین ولذا به‌طور مشخصی پیش‌بینی نشده بودند. دلیل اصلی افزایش شدت جریان و تشکیل این مسیرها در واقع زیستگاه‌های جدیدی است که به شکل پراکنده در بخش شرقی ناحیه توسط مدل دوم مطلوبیت زیستگاه شناسایی شدند. این مسیرها عبارتنداز: مسیر واقع در منتهی‌الیه شرقی منطقه که جهت شمال-جنوب داشته و ازحاشیه شمال‌شرقی پناهگاه حیات‌وحش موته تا نزدیکی مرز شرقی منطقه حفاظت‌شده هفتاد قله در شمال ادامه یافته است.. مسیر دوم نیز در نزدیکی پناهگاه حیات وحش موته قرار دارد که ارتباط میان حاشیه شمال‌غربی منطقه با مسیر اصلی را برقرار نموده است. در برخی از بخش‌های این مسیرهای ارتباطی، شدت جریان عبوری حداکثر میزان بوده که به‌عنوان گردنه بطری در شبکه ارتباطی شناسایی شده عمل می‌نمایند. این مناطق با شدت جریان بالای عبوری در بخش‌های مختلفی در طول مسیر ارتباطی اول و دوم مشاهده می‌شوند. مقایسه مدل جریان با نقشه جاده‌های منطقه نشان می‌دهد که مشابه مسیر اصلی، جاده‌های منطقه در چندین بخش، مسیرهای جدید شناسایی شده را قطع نموده‌اند. ازجمله بزرگراه اصفهان- تهران که در یک بخش مسیر ارتباطی اول قرار را قطع نموده و هم‌چنین جاده دلیجان- محلات که ازدو نقطه شامل مسیر اصلی جریان و مسیر اول عبور نموده‌است. مقایسه شکل ۷ و نقشه مطلوبیت زیستگاهی شکل ۴ نشان می‌دهد که مقاومت زیستگاهی در بخش غربی منطقه بینابینی نیز کم‌تر است. سلول‌های اطراف این جریان به شدت مقاومت زیستگاهی بالایی دارند، که این نیز بر وجود شدت جریان در آن بخش غربی ناحیه بینابینی می‌افزاید. در سمت راست پناهگاه حیات‌وحش موته و منطقه حفاظت‌شده هفتادقله نیز جریان ضعیفی دیده می‌شود که به‌دلیل مقاومت زیستگاهی در این ناحیه است.



شکل ۷: نقشه شدت جریان با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در گام دوم

بحث

مدل‌های پراکنش قوچ و میش: مدل‌سازی پراکنش قوچ و میش با و بدون استفاده از نقاط حضور جمع‌آوری شده در منطقه مطالعه رویکرد جدیدی است که برای اولین‌بار در این مطالعه انجام گرفت. هرچند که هدف از تهیه این مدل‌ها مقایسه خروجی‌های مدل ارتباطی گونه بوده است، اهمیت متغیرهای

پیش‌بینی کننده ورودی به مدل حداکثر آنتروپی در هر دو مرحله حاوی نکته قابل توجهی می‌باشد. با توجه به تحلیل نمودار جک نایف(شکل‌های ۳و۵)فاصله تا نواحی شهری در پیش‌بینی احتمال حضور جمعیت‌های قوچ و میش سهم قابل توجهی داشته‌اند که نشان‌دهنده اهمیت فاکتور امنیت برای این گونه می‌باشد. عدم حفاظت مسیرهای مهاجرتی در خارج از مناطق حفاظت‌شده، از جمله دو منطقه هدف در این مطالعه و از طرفی وجود سه ناحیه شهری‌اصلی‌در‌این ناحیه که از نقاط حضور با فاصله قرار گرفته‌اند، می‌تواند به‌خوبی اهمیت فاکتور امنیت برای این گونه در فصل مهاجرت را توجیه نماید. در این ارتباط، نتایج حاصل از مطالعه Bashari و Hemami (۲۰۱۳) نیز به‌خوبی نتیجه این مطالعه را تایید می‌کند. آن‌ها در بررسی خود با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه بیزین، مدلی را برای مدیریت مؤثر این گونه در مناطق حفاظت‌شده توسعه دادند که براساس آن متغیر امنیت زیستگاه به‌عنوان مهم‌ترین متغیر در تعیین مطلوبیت زیستگاه این گونه در گستره پراکنش آن در ایران مشخص گردید. در مدل اول، متغیر بارش(BIO13) به‌عنوان‌دومین‌متغیر مهم‌در پراکنش قوچ و میش تعیین شد. هرچند که عمده تأثیر متغیرهای اقلیمی بر پراکنش گونه‌ها‌در‌مقیاس‌های‌وسیع‌می‌باشد(Pearson‌و‌Dawson، ۲۰۰۳)، تاثیر این متغیر اقلیمی در پیش‌بینی مدل با توجه مقیاس مورد مطالعه درخور توجه است. اهمیت بارش در تعیین پراکنش قوچ و میش را می‌توان این‌گونه توضیح داد‌که بارش نقش عمده‌ای در کنترل رویش پوشش گیاهی به‌خصوص در‌نواحی‌خشک‌و بیابان‌ها دارد(Bertiller‌و‌همکاران، ۱۹۹۵).در‌دسترس‌بودن‌پوشش گیاهی نیز به‌عنوان یک مولفه زیستگاهی در تعیین پراکنش علف‌خواران از‌اهمیت‌زیادی‌برخوردار است (Fryxell، ۱۹۹۱). از این‌رو می‌توان اهمیت متغیر بارش در پراکنش قوچ و میش را به‌واسطه تأثیر آن بر کمیت و کیفیت پوشش گیاهی در دسترس برای این گونه در فصل مهاجرت توجیه نمود. استفاده و عدم استفاده از نقاط حضور گونه‌در‌ناحیه‌حدفاصل‌پناهگاه حیات‌وحش موته و منطقه حفاظت شده هفتادقله سبب ایجاد‌تفاوت‌چشم‌گیری در‌پیش‌بینی دو مدل مطلوبیت گردید. ارتفاعات منطقه که در جهت شمال- جنوب (رشته کوه‌های کلاته و چشمه دراز) امتداد یافته‌اند از دیرباز به عنوان زیستگاه‌های اصلی جمعیت‌های قوچ و میش مهاجر در منطقه شناخته‌شده‌که مطلوبیت بالای این زیستگاه‌ها به‌خوبی در مدل اول مطلوبیت و با استفاده از نقاط حضور پیش‌بینی گردید. در حالی‌که، در مدل دوم احتمال حضور گونه در این بخش تقریباً نزدیک به صفر پیش‌بینی شد که با واقعیت زمینی انطباق نداشته و استفاده از‌نقاط حضور در‌داخل مناطق‌هدف نیز به تنهایی جهت تعمیم پیش‌بینی به این بخش کافی نبوده است (Philips و همکاران،۲۰۰۶).به‌عبارت‌دیگر‌با‌توجه‌به‌این‌که این مسیر ارتباطی یک کریدور عملکردی است مدل حداکثر آنتروپی در گام دوم توانایی پیش‌بینی مطلوبیت را برای آن نداشته‌است درحالی‌که در گام اول به‌دلیل وجود نقاط حضوردر ناحیه حدفاصل به‌خوبی پیش‌بینی صورت گرفته‌است.

مدل‌های ارتباطی قوچ و میش: براساس پیش‌بینی مدل ارتباطی اول، محتمل‌ترین مسیر شناسایی شده برای مهاجرت قوچ و میش با مسیر شناخته شده‌ای که در طی سالیان گذشته توسط جمعیت‌های این گونه استفاده شده است مطابقت دارد. با توجه به مدل اول مطلوبیت، مشخص می‌گردد که علت حداکثر بودن شدت جریان عبوری از این مسیر احاطه شدن زیستگاه‌های مطلوب مسیر با نواحی با مقاومت بسیار بالا است. به‌عبارتی مقاومت بالای زیستگاه‌های پیرامونی مانع عبور جریان و منحرف نمودن آن به این بخش از منطقه شده است. در طول این مسیر کم‌ترین تعارضات انسانی ازجمله صنایع و معادن و مناطق شهری به چشم می‌خورد. تراکم روستاها در این نواحی به نسبت بالاست که با توجه به مطالعات میدانی مسیر مهاجرت این گونه در نواحی روستایی قرار‌گرفته‌است، بنابراین به‌نظر‌می‌رسد وجود روستاها در این ناحیه مقاومتی ایجاد نکرده‌است (ملکوتی‌خواه و همکاران، ۱۳۹۲). برخلاف پناهگاه حیات‌وحش موته که بالا بودن شدت جریان تا نزدیکی منطقه حفظ شده است، حداکثر شدت جریان در نزدیکی منطقه هفتاد قله کاهش یافته است که دلیل آن وجود زیستگاه‌های مطلوب گسترده در این بخش می‌باشد. این نشان می‌دهد‌که تنها یک‌مسیر اصلی بالقوه مطلوب برای جابه‌جایی بین مناطق تحت حفاظت موته وهفتادقله وجود دارد که در نزدیکی منطقه هفتادقله به چند شاخه تقسیم شده ودرنتیجه مسیرهای متعدد بالقوه مطلوبی را درآن ناحیه به‌وجود می‌آورند (شکل ۶). جاده دلیجان- محلات که از بخشی از مسیر عبور نموده است به عنوان یک مانع بالقوه بر سر راه عبور جریان، محسوب می‌گردد. ولی برخلاف انتظار، جریان از این مانع عبور نموده و پیوستگی خود را حفظ نموده است. این رفتار جریان نشان‌دهنده این واقعیت مهم است که این مسیر بهترین مسیر ممکن بوده و مسیر جایگزین دیگری جهت عبور جریان، وجود ندارد. مدل ارتباطی دوم علاوه بر پیش‌بینی مسیر اصلی مدل اول، مسیرهای جدید دیگری را نیز در منطقه مطالعه شناسایی نمود. مسیرهای ارتباطی جدید که توسط مدل تئوری مدار الکتریکی پیش‌بینی گردید، می‌تواند به-عنوان مسیرهای بالقوه دیگری تلقی شده که جمعیت‌های قوچ و میش برای مهاجرت بین دو منطقه

از آن‌ها استفاده نمایند. این از جنبه حفاظتی اهمیت زیادی دارد، چرا که در صورت نابودی هر کدام مسیر جایگزین دیگری جهت حفظ یکپارچگی جابه‌جایی‌های فصلی وجود خواهد داشت. ولی به‌دلیل شناسایی این مسیرها در شرایط عدم حضور داده، کارایی این مسیرها جهت حمایت از جمعیت‌های مهاجر نیازمند بررسی‌های میدانی دقیق می‌باشد (ملکوتی‌خواه و همکاران، ۱۳۹۲). مدل ارتباطی اول تنها یک مسیر اصلی جهت جابه‌جا شدن جمعیت‌ها بین موته و منطقه مطالعه شناسایی نمود، درحالی‌که مدل دوم مسیر ارتباطی دومی در نزدیکی منطقه موته شناسایی نمود که می‌تواند به‌عنوان یک مسیر فرعی ارتباط میان پناهگاه حیات‌وحش موته و مسیر اصلی در منطقه را برقرار نماید. مسیر ارتباطی اول که ارتباط بین دو منطقه حفاظت‌شده را در بخش شرق منطقه مطالعه برقرار می‌کند، نشان‌دهنده تأثیر جاده‌های منطقه در منحرف نمودن مسیر جریان می‌باشد. همان‌طورکه از روی نقشه جریان مشخص است، بالاترین میزان مقاومت در ناحیه در بخش کوچکی در شمال پناهگاه حیات‌وحش موته به‌چشم می‌خورد که دلیل اصلی آن عبور جاده‌های ارتباطی از این بخش می‌باشد. حضور این جاده‌ها مانعی بر سر راه عبور جریان بوده که برخلاف مسیر اصلی، به‌دلیل وجود یک مسیر جایگزین جریان به سمت شرق منطقه منحرف و با طی کردن مسیری طولانی‌تر به منطقه حفاظت شده هفتاد قله رسیده است. چنین انحرافی در مسیر جریان در نزدیکی منطقه حفاظت‌شده هفتادقله نیز مشاهده می‌شود که مقاومت بالای ناشی از منطقه شهری (شهرستان دلیجان) مجدداً مانع عبور بخشی ازمسیر اول جریان و انحراف آن شده است. ادامه مسیر جریان در این بخش می‌تواند نشان‌دهنده مسیر بالقوه دیگری باشد که سبب برقراری ارتباط با منطقه حفاظت‌شده جاسب در شمال منطقه بوده که در این بررسی وارد نگردید. گردنه‌های بطری (مشخص شده در شکل ۶ و ۷) در طول مسیر اول مهم‌ترین بخش‌های شبکه ارتباطی در بخش شرقی منطقه بوده که نقش مهمی در حفظ ارتباط میان دو منطقه ایفا می‌نمایند. نابودی این مناطق ارتباطی مهم به‌هر دلیلی می‌تواند سبب کاهش یا قطع ارتباط میان پناهگاه حیات‌وحش موته و منطقه حفاظت‌شده هفتاد قله در این بخش از منطقه شود. این به‌ویژه درمورد ناحیه ارتباطی باریکی که در نزدیکی منطقه حفاظت‌شده هفتادقله قرار گرفته صادق است چرا که به احتمال زیاد ارتباط میان این منطقه و مسیر اول از طریق این گردنه‌های بطری برقرار می‌گردد. از این‌رو ضروری است تا این نواحی مهم جزء الویت‌های حفاظتی قرار داده شوند(Dickson و همکاران ۲۰۱۳).اهمیت انجام چنین مطالعه‌ای برای شناسایی کریدورهای مهاجرتی قوچ و میش در بین پناهگاه حیات‌وحش موته و منطقه حفاظت‌شده هفتادقله به‌دلیل مهاجر بودن این گونه و ویژگی تنوع‌طلبی آن است که بدون توجه به مرزهای حفاظتی به شکل فصلی و برحسب نیازهای اقلیمی بین مناطق جابه‌جا می‌شود. با توجه به گسترش مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی و هم‌چنین گسترش جاده‌ها امکان حفاظت یکپارچه از مناطق وجود ندارد. بنابراین، حفاظت از کریدورهای شناسایی شده بهترین راه‌کار در شرایط موجود است. کارایی مدل مدار الکتریکی در شناسایی کریدورها تاکنون در مطالعات متعدی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مطلوبی نیز به‌همراه داشته است (Poor و همکاران، ۲۰۱۳؛ Roever و همکاران، ۲۰۱۳؛ McClure و همکاران، ۲۰۱۶؛ McRae و همکاران، ۲۰۰۸). در این مطالعه برای اولین‌بار و با استفاده از دو مرحله مدل‌سازی، عملکرد این مدل در پیش‌بینی مسیرهای ارتباطی در شرایطی که داده حضور وجود ندارد مورد بررسی قرار گرفت. شناسایی مسیر اصلی مهاجرت قوچ و میش بین دو منطقه حفاظت‌شده بدون داشتن نقاط حضور گونه در منطقه حدفاصل مشابه آن‌چه مدل در گام اول پیش‌بینی شد، توانایی و کارایی بالای مدل مدار در انجام پیش‌بینی‌های صحیح در شرایط عدم وجود داده را نشان می‌دهد. این توانایی مدل مدار از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، به‌ویژه در زمانی که امکان بررسی میدانی و حضور در منطقه وجود ندارد که می‌توان از این روش برای پیش‌بینی مسیرهای ارتباطی بالقوه استفاده نمود. با این حال پیشنهاد می‌شود برای رسیدن به نتایج بهتر و حصول اطمینان بیش‌تر، دو مرحله تهیه مدل مطلوبیت و شناسایی کریدورها با استفاده از روش‌ها و مدل‌های دیگری نیز انجام و نتایج مقایسه گردد. باتوجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که استفاده از مدل حداکثر آنتروپی جهت پیش‌بینی احتمال حضور گونه‌ها در زمان کمبود داده درصورتی‌که به‌عنوان ورودی مدل مدار استفاده شوند، در مقایسه با زمانی‌که داده‌ها از توزیع مناسبی برخوردارند از کارایی و صحت نتایج مدل مدار الکتریکی نمی‌کاهد و می‌توان به نتایج مدل اطمینان داشت. ولی با توجه به تفاوت قابل ملاحظه در پیش‌بینی‌های دو مدل حداکثر آنتروپی در این مطالعه، اگر هدف اصلی از پیش‌بینی پراکنش زیستگاه‌های یک گونه، حفاظت از زیستگاه‌های آن است تعداد و توزیع مناسب داده‌ها ضروری می‌باشد. زیرا عدم توزیع مناسب نقاط، ممکن است سبب شود بخشی از زیستگاه‌های مهم پیش‌بینی نشده توسط مدل برای حفاظت نادیده گرفته شده که به نوبه خود پیامدهای نامطلوبی برای گونه به‌ویژه گونه‌های در معرض خطر انقراض به‌همراه خواهد داشت.

تشکر و قدردانی

نگارندگان این مقاله از مهندس شیما ملکوتی‌خواه، مهندس محسن‌احمدی،دکتررسول خسروی‌و هم‌چنین تمامی محیط‌بانان پناهگاه حیات‌وحش موته و منطقه حفاظت‌شده هفتاد قله که در انجام این مطالعه یاری نمودند، کمال سپاس و قدردانی را دارند.

منابع

۱. **خسروی، ر.، ۱۳۹۴.** تاثیرناهمگونی زیستگاه برساختارژنی و اکولوژی جمعیت‌های آهوی گواتردار (*Gazella subgutturosa*) در مناطق مرکزی کشور با رویکرد سیما- ژنتیک. رساله دکتری. دانشگاه صنعتی اصفهان. دانشکده منابع طبیعی.

۲. **ضیایی،ه.، ۱۳۸۷.**راهنمای صحرایی پستانداران‌ایران. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست.

۳. **علی‌نیا، ا. و سامانی، م. و افخمی، م. و بیرانوند، م.، ۱۳۸۹.** بررسی تنوع زیستی استان اصفهان. همایش ملی تنوع زیستی و تأثیر آن برکشاورزی و محیط زیست.

۴. **محمدی، ع.؛ و کابلی، م.؛ اشرفی، س.؛ یوسفی، م. و مفیدی‌نیستانک، م.، ۱۳۹۲.** تعیین اندازه گستره خانگی کمرکولی‌بزرگ sittatephonotaو کمرکولی کوچک *S. neumayer* درناحیه تماس آن‌ها در ایران. همایش ملی برنامه‌ریزی حفاظت، حمایت از محیط زیست و توسعه پایدار.

۵. **مروتی، م.؛ کرمی، م.؛ کابلی، م.؛ روستا، ز. و شرکائی، م.، ۱۳۹۳.**مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه‌قوچ‌ومیش *Ovis oreintalis* مهم‌ترین‌طعمه یوزپلنگ آسیایی(*Acinonyx jubatus venaticus*) با استفاده از حداکثر آنتروپی در پناهگاه حیات‌وحش دره انجیر در استان یزد. محیط‌زیست جانوری. صفحات ۱۳۵ تا ۱۴۹.

۶. **مشهدی‌احمدی، ا.؛ شمس‌اسفندآباد، ب. و گشتاسب میگونی، ح.، ۱۳۹۳.**مدل‌سازی‌مسیرهای‌گذارگوسفند وحشی البرز مرکزی با استفاده از آنالیز کم‌ترین هزینه مسیر در استان تهران (*O.o.arkali & O.o.vigneii*). علوم و مهندسی محیط زیست. ۴۱ صفحه.

۷. **مکی،ت.،۱۳۹۰.**ارزیابی اثرات اکولوژیکی کنارگذرغرب اصفهان بر پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

۸. **ملکوتی‌خواه، ش.؛ فاخران، س. و سفیانیان، ع.، ۱۳۹۲.** استفاده‌ازتئوری‌مدارهای الکتریکی جهت شناسایی کریدورهای مهاجرتی بین پناهگاه‌های حیات‌وحش موته و قمشلو در استان اصفهان. بوم‌شناسی کاربردی. ۷۷ صفحه.

۹. **ملکی‌نجف آبادی، س.؛ همامی، م. و ماهینی، ع.، ۱۳۸۹.** تعیین مطلوبیت زیستگاه قوچ ومیش اصفهانی در پناهگاه حیات وحش موته با استفاده از روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی. نشریه محیط زیست طبیعی. مجله منابع طبیعی ایران. صفحات ۲۷۹ تا ۲۹۰.

۱۰. **Bashari, H. and Hemami, MR., 2013.** Apredictive diagnostic model for wild sheep (*ovis orientalis*) habitat suitability in iran. J of Natural Conservation. pp: 319-325.

۱۱. **Beier, P.; Garding, E. and Majka, DR., 2008.** Arizona missing linkages Gila Bend - Sierra Estrella Linkage Design. Report to Arizona Game and Fish Department. School of Forestry, Northern Arizona University.

۱۲. **Bertiller, M.B.; Elissalde, N.O.; Rostagno, C.M and Defosse, G.E., 1995.** Environmental patterns and plant distribution along a precipitation grardient in western Patagonia. Journal of Arid Environments. pp: 85-97.

۱۳. **Bolger, DT.; Newmark, WD.; Morrison, TA. and Doak, DF., 2008.** The need for integrative approaches to understand and conserve migratory ungulates. Ecol Lett. Vol. 11, pp: 63-77.

۱۴. **Cushman, S.; McKelvey, K. and Schwartz, M., 2009.** Use of Empirically De ived Source-DestinationModels toMap Regional Conservation Corridors. Conservation Biology. pp: 368-376.

۱۵. **Cushman, SA.; McRae, BH.; Adriaensen, F.; Beier. P.; Shirley, M. and Zeller, K., 2013.** Biological corridors and connectivity. Key Topics in Conservation Biology. pp: 384-404.

۱۶. **Dickson, B.; Roemer, G.; McRae, B. and Rundall, J., 2013.** Models of Regional Habitat Quality and Conectivity for Pumas (*Puma concoloor*) in the Southwestern United. PLOS. Vol. 8.

۱۷. **Farhadinia, M.; Ahmadi, M.; Sharbafi, E.; Khosravi, S.; Alinezhad, H. and Macdonald, D., 2015.** Leveraging trans-boundary conservation partnershio: Persistence of Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor*) in the Iranian Caucasus. Biological Conservation. pp: 770-778.

۱۸. **Fryxell, J.M., 1991.** Forage quality and aggregation by large herbivores. American Naturalist. pp: 478-498.

۱۹. **Goljani, R.; Kaboli, M.; Karami, M.; Ghodsizadeh, Z. and Nourani, E., 2012.** Male Alborz Red Sheep (*Ovis qmelini* × *O. vignei*) Migration Corridors Selection from Summer to Fall Habitats in Jajroud Protected Area Complex Iran. Russian Journal of Ecology. pp: 67-76.

۲۰. **Hanski, I.; 1998.** Connecting the parameters of local extinctionand metapopulation dynamics. Oikos. pp: 390-396.

۲۱. **Hijmans, RJ.; Cameron SE, Parra JL; Jones, PG. and Jarvis, A., 2005.** Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. Int J Climatol. Vol. 25. pp: 1965-1978.

۲۲. **Khosravi, R.; Hemami, M.; Malekian, M.; Flint, A. and Flint, L., 2015.** Maxent modelling for predicting distribution of goitered gazelle in central Iran: the effect of extent and grain size on performance of the model. Turkish Journal of Zoology. pp: 574-585.

۲۳. **Li, G.; Xu, G.; Guo, K. and Du, Sh. 2014.** Mapping the global potential geographical distribution of black locust using herbarium data and a maximum entropy model. Forest. pp: 2773-2792.

۲۴. **McClure, M.L.; Hansen, A.J. and Inman, R.M., 2016.** Connecting models to movements: testing connectivity model predictions against empirical migration and dispersal data. Landscape Ecology. pp: 1419-1432.

۲۵. **McRae, B.H.; Dickson, B.G.; Keitt, T.H. and Shah, V.B., 2008.** Using circuit theory to model connectivity in ecology evolution & conservation. Ecology. pp: 2712-2724.

۲۶. **McRae, B.H. and Shah, V.B., 2011.** Circuitscape User Guide. The University of California, Santa Barbara.

۲۷. **Minor, E. and Urban, D., 2008.** A graph theory framework for evaluating landscape connectivity and conservation planning. Conservation Biology. pp: 297-307.

۲۸. **Moilanen, A.; Leathwick, J.R. and Quinn, J.M., 2011.** spatial prioritization of conservation management. Conserv Lett. pp: 393-383.

۲۹. **Pearson, R.G. and Dawson, T.P., 2003,** Predicting the impacts of climate change on thedistribution of species: are bioclimate envelope models useful? Global ecology and Biogeography. pp: 361-371.

۳۰. **Phillips, S.J.; Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006.** Maximum Entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modeling. pp: 231-259.

۳۱. **Pinto, N. and Keitt, T.H., 2009.** Beyond the least-cost path: evaluating corridor redundancy using a graph-theoretic approach. Landscape Ecol. pp: 253-266.

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

۳۳. **Roever, C.L.; Aarde, R.J.V. and Leggett, K., 2013.** Functional connectivity within conservation networks: delineating corridors for African elephant. Biological Conservation. pp: 128-135.

۳۴. **Shams Esfandabad, B.; Karami, M.; Hemami, M.; Riazi, B. and Sadough, M., 2010.** Habitat associations of wild goat in central Iran: implications for conservation. European Journal of Wildlife Research.

۳۵. **WWW.IUCN.org**