پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۹ شماره ۱۷، بهار و تابستان ۱۳۹۷، از صفحه ۱۷ تا ۲۸

شناسایی مناطق مناسب برای حفاظت از فون پرندگان استان گلستان

روح‌الله میرزایی*[۱]، عباس اسماعیلی ساری[۲]، محمودرضا هممی[۳]، حمیدرضا رضایی[۴]

۱ استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
۲ استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت‌مدرس، نور، ایران
۳ دانشیارگروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۴ استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۸؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹)

چکیده

حمایت از مجموعه‌ای معرف از زیستگاه‌ها، در حال حاضر کاراترین ابزار برای حفاظت تنوع‌زیستی است. بنابراین، شناسایی مهم‌ترین مناطق برای حفاظت امری حیاتی است و اولویت دارد. در این پژوهش، مناطق حفاظتی در استان گلستان بر اساس اهمیتشان برای پرندگان انتخاب شدند. بدین‌منظور، در ابتدا با استفاده از مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی، پراکنش ۱۲۹ گونه پرنده در استان گلستان مشخص شد. سپس الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده برای انتخاب لکه‌های حفاظتی برای دستیابی به اهداف حفاظتی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد از پراکنش گونه‌های پرندگان استفاده شد. برای انتخاب مناطق دو سناریو در نظر گرفته شد: ۱. انتخاب مناطق حفاظتی بدون لحاظ کردن شبکه مناطق حفاظتی موجود در استان گلستان و ۲. تکمیل مناطق حفاظتی موجود برای حفاظت گونه‌های پرندگان. نتایج نشان داد که برای دستیابی به اهداف حفاظتی ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ به ترتیب ۱۰۶۶ کیلومترمربع (۵/۲۳٪)، ۲۱۶۱ کیلومترمربع (۱۰/۶٪)، ۲۳۰۸ کیلومترمربع (۱۶/۲۳٪) و ۴۵۶۲ کیلومترمربع (۲۲/۴٪) از سطح استان نیاز است. میزان همپوشانی مناطق حفاظتی موجود با شبکه حفاظتی انتخابی با اهداف گوناگون ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد به ترتیب ۱۴/۸، ۲۱/۰۸، ۳۱/۲۱ و ۴۳/۲۰ درصد بود. منطقه گمیشان و قزانقایه بین مناطق بیشترین میزان همپوشانی را با شبکه‌های حفاظتی انتخابی دارا بودند و منطقه عزیزآباد و خوش‌ییلاق در هیچ کدام از بسته‌های حفاظتی قرار نگرفتند و سایر مناطق تا حدی در بسته‌های حفاظتی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشانگر این بود که در بهترین حالت کمتر از ۵۰٪ همپوشانی بین مناطق حفاظتی موجود و شبکه حفاظتی انتخابی وجود دارد. نتایج سناریوی تکمیل شبکه مناطق حفاظتی موجود نشان داد برای دستیابی به اهداف حفاظتی ۵، ۱۰، ۱۵ و۲۰ درصد، شبکه مناطق حفاظتی موجود باید به ترتیب به میزان ۵/۵، ۱۶/۶، ۴۰/۱ و ۷۲/۷ درصد گسترش یابد.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت، تبرید شبیه‌سازی شده، مارکسن، غنای پرندگان

*نویسنده مسئول: Email: rmirzaei@kashanu.ac.ir

سرآغاز

بسیاری از راهبردهای حفاظت متکی به حفاظت درجا می‌باشند. مناطق حفاظت شده یعنی مناطقی که برای حفاظت تنوع‌زیستی انتخاب شده‌اند و برای دستیابی به اهداف حفاظتی مدیریت می‌شوند با بیش از ۲۰ میلیون کیلومترمربع در سطح جهان، ۱۲٪ از سطح کره زمین را به خود اختصاص داده‌اند (Chape et al., 2005). این مناطق شالوده بسیاری از راهبردهای حفاظت هستند و می‌توانند به عنوان ابزاری مفید در نگهداری تنوع‌زیستی تلقی شوند. با وجود این، شبکه جهانی این مناطق هنوز دارای خلأهای وسیعی برای حمایت از گونه‌های نادر و در معرض خطر است (Rodrigues et al., 2004). از ۱۱۶۳۳ گونه مهره‌دار خشکی‌زی بررسی شده توسط (Rodrigues et al., 2004)، ۱۲٪ گونه‌ها در هیچ منطقه حفاظت شده‌ای قرار نگرفته‌اند و ۷۴٪ ندرتاً در مناطق حفاظت شده قرار گرفته‌اند. این وضع حتی برای گونه‌های تهدید شده و به شدت در معرض خطر بدتر است به طوری که به ترتیب ۸۹٪ و ۹۲٪ این گونه‌ها ندرتاً در این مناطق قرار گرفته‌اند (Rodrigues et al., 2004). در ایران نیز، (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۵) کارایی مناطق تحت حفاظت در پوشش بیوم‌های خشکی ایران را بررسی کردند و متوجه شدند زیست‌بوم بوته‌زارها و علفزارهای مناطق کوهستانی کمترین میزان پوشش توسط مناطق حفاظت شده را دارا هستند. همچنین ایشان پیشنهاد کردند پارک‌های ملی در زیست‌بوم‌های جنگل‌های پهن‌برگ و جنگل‌های مخلوط، بوته‌زارها و علفزارهای مناطق کوهستانی و بیابان‌ها و بوته‌زارهای مناطق خشک توسعه یابد؛ در حال حاضر این زیست‌بوم‌ها به ترتیب کمترین میزان پوشش به‌وسیله پارک‌های ملی را دارا هستند. یک دلیل مهم برای چنین خلأهایی این است که مناطق حفاظت شده در برخی موارد به درستی و بر پایه اصول علمی انتخاب نشده‌اند (Groves, 2003). در دوره‌های گذشته، مناطق حفاظت شده معمولاً به صورت تک منظوره انتخاب می‌شدند که این امر نیز وابسته به اراضی موجود و هزینه‌های لازم بود. زمین‌هایی که دارای ارزش کشاورزی کم بوده‌اند و یا زمین‌هایی که برای توسعه مناسب نبوده‌اند به عنوان مناطق حفاظتی انتخاب می‌شده‌اند. برخی از مناطق حفاظتی نیز برای ارزش تفرجی آن‌ها و گسترش صنعت توریسم انتخاب شده‌اند. به هرحال، این امر منجر به اریب‌هایی در معرف بودن این مناطق حفاظتی و ناکارآمد بودن این مناطق در ارتباط با حفاظت تنوع‌زیستی می‌شوند (Pressey, 1994).

آگاهی روزافزون نسبت به بحران جهانی تنوع‌زیستی و تهدیدهای انسانی مرتبط با آن از طریق نابودی، تکه‌تکه شدن زیستگاه و تغییر اقلیم منجر به آن شده است که دانشمندان حفاظت و برنامه‌ریزان به صورت راهبردی در مورد چگونگی نگهداری تنوع‌زیستی و فرآیندهای ایجادکننده تنوع‌زیستی فکر کنند. تاکنون چندین چارچوب برای حفظ تنوع‌زیستی پیشنهاد شده است که شامل چارچوب‌های تک‌رویکردی تا رویکردهای بین‌رشته‌ای می‌باشد. یکی از این چارچوب‌ها با عنوان برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت (SCP)[1] رویکردی گام به گام به سوی هدف حمایت تنوع‌زیستی می‌باشد، (Pressey et al., 2007). برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت شامل مباحث: محدوده و هزینه فرآیند برنامه‌ریزی، ذی‌نفعان، زمینه برای مناطق حفاظتی، اهداف حفاظت، داده‌های اقتصادی- اجتماعی، تنوع‌زیستی و سایر ویژگی‌های طبیعی، اهداف جزیی حفاظت، دستیابی به هدف در مناطق حفاظتی موجود، مناطق حفاظتی اضافی، اجرای اقدام‌های حفاظتی و نگهداری و پایش مناطق حفاظتی ایجاد شده است. در حال حاضر، برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت، از نظر علمی، ابزاری معتبر و قابل‌قبول برای انتخاب کارایی مناطق حفاظتی محسوب می‌شود. در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، امتیازدهی برای رتبه‌بندی مناطق از لحاظ اهمیت مورد استفاده قرار می‌گرفته است. در دهه ۱۹۸۰ اولین الگوریتم[2] برای انتخاب مناطق که شامل اصل تکمیل‌گری بود مطرح شد (Knight et al., 2009). اخیراً، با بهبود قدرت رایانه‌ها و تکنولوژی‌های جدید، تکنیک‌های پیچیده‌تری در دسترس قرار گرفته‌اند. در میان این‌ها، مارکسن[3] (Ball et al., 2009)، نوعی نرم‌افزار برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظتی است که در آن الگوریتم مربوط، مناطق را بر اساس اهداف حفاظتی خاص اولویت‌بندی می‌کند.

سطح مناطق تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط‌زیست در ایران حدود ۸٪ مساحت کشور است (این رقم برای استان گلستان بدون احتساب مناطق شکار ممنوع حدود ۶٪ است) که برای دستیابی به سطح حداقل۱۰٪ خاک کشور که توسط IUCN مشخص شده است، افزایش این مناطق ضروری است. علاوه بر این، ممکن است در بین این مناطق خلأهایی وجود داشته باشد که حفاظت را حتی در مناطق کنونی نیز با مشکل

روبه‌رو سازد. طی سال‌های اخیر در ایران محققان مختلفی تلاش کرده‌اند تا وضعیت کارایی مناطق تحت حفاظت کشور را در حمایت از تنوع‌زیستی بررسی کنند. می‌توان مطالعه‌ها صورت گرفته در ارتباط با بررسی کارایی مناطق حفاظتی در ایران را در دو گروه کلی تقسیم‌بندی کرد: الف. گروه اول مطالعه‌های هستند که بیشتر از روش‌های ارزیابی چندمعیاره استفاده کرده‌اند؛ از این مطالعه‌ها می‌توان به مطالعه‌های (سپاسی و همکاران، ۱۳۸۹؛ یاری و همکاران، ۱۳۸۹؛ ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۱) اشاره کرد؛ ب. گروه دوم مطالعه‌های هستند که از مجموعه روش‌های جدیدتر یادگیری ماشین و هوش مصنوعی استفاده کرده‌اند. از این مطالعه‌ها می‌توان به مطالعه (جعفری و همکاران، ۱۳۸۹؛ مهری و همکاران،۱۳۹۳؛Momeni Dehaghi et al., 2013) اشاره کرد. تقریباً خروجی تمام این پژوهش‌ها مؤید این نکته است که مناطق حفاظتی موجود در حمایت از تنوع‌زیستی دارای کمبودهایی هستند و نیاز است شبکه حفاظتی موجود گسترش یابد. اولین مطالعه‌ای که در ایران، از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده[۴] برای بررسی کارایی مناطق حفاظت استفاده کرد مطالعه (Momeni Dehaghi et al., 2013) بود که به بررسی کارایی شبکه حفاظتی موجود در استان گلستان در حمایت از برخی از گونه‌های پستاندار پرداختند و متوجه شدند برای دستیابی به اهداف حفاظتی در نظر گرفته شده، ۲۷۲ کیلومترمربع باید به مساحت مناطق حفاظتی موجود اضافه شود. به هر حال، طبق مطالب ذکر شده، می‌توان دریافت که بحث برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت در کشور باید با جدیت بیشتری پیگیری شود. مشخص است که برای کارایی بیشتر مناطق حفاظتی نیاز است تا این مناطق از تمام اجزای تنوع‌زیستی حمایت کنند؛ اما مشکلی که محققان ایرانی معمولاً با آن روبه‌رو هستند و در مطالعه‌های مذکور در بالا نیز به چشم می‌خورد نبود داده‌های کافی از تمام اجزای تنوع‌زیستی در برنامه‌ریزی حفاظت است. از این‌رو، در این مطالعه تلاش شده است تا حداقل برای یکی از اجزای تنوع‌زیستی یعنی پرندگان از اطلاعات تقریباً کاملی برای انتخاب مناطق حفاظتی استفاده شود. گونه‌های پرندگان مورد مطالعه در این پژوهش را می‌توان در چند گروه پرندگان شکاری مانند قرقی و عقاب طلایی؛ پرندگان آبزی و کنارآبزی مانند آبچلیک‌ها، حواصیل ارغوانی و اگرت؛ پرندگان دشت‌زی مانند حواصیل‌ها و دراج؛ پرندگان جنگل‌زی مانند قرقاول، ... و پرندگان کوه‌زی مانند کبک و تیهو و برخی از پرندگان شکاری طبقه‌بندی کرد. از این رو، هدف این مطالعه اولویت‌بندی حفاظتی برای اطمینان از حفاظت فون پرندگان استان گلستان به عنوان یکی از بهترین خاستگاه‌های تنوع‌زیستی در ایران با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده است.

مواد و روش‌ها

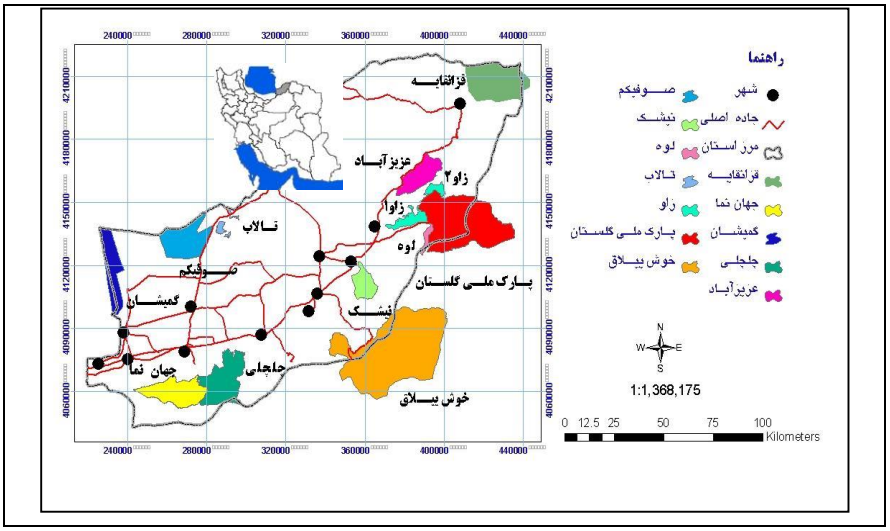
منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با مساحتی بالغ بر ۲۰۳۸۷ کیلومترمربع در جنوب شرقی دریای خزر واقع شده و در حدود ۱/۳ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. این استان بین ۳۶ درجه و ۲۵دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و۵۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این استان به سه بخش جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی تقسیم شده و دارای تنوع آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک، معتدل و کوهستانی است. پراکنش مناطق حفاظت شده در محدوده جغرافیایی استان در مجموع ۱۵۵۷۹۹/۲ هکتار می‌باشد که ۸۷۲۴۲ هکتار پارک ملی، ۱/۲ هکتار اثر طبیعی ملی، ۱۹۹۹۹ هکتار پناهگاه حیات‌وحش و ۴۸۵۵۷ هکتار منطقه حفاظت شده است. البته این آمار طی زمان در حال تغییر می‌باشد؛ به عنوان نمونه اخیراً منطقه شکار ممنوع چلچلی به منطقه حفاظت‌شده و منطقه شکارممنوع گمیشان به پناهگاه حیات‌وحش ارتقاء یافته است. بنابراین، طبق آخرین تغییرات صورت گرفته در استان گلستان یک پارک ملی به نام پارک ملی گلستان، سه منطقه حفاظت شده به نام‌های جهان‌نما، لوه و چلچلی، سه پناهگاه حیات‌وحش خوش ییلاق، صوفیکم و گمیشان، چهار منطقه شکار ممنوع به نام‌های عزیزآباد، قزانقایه، زاو و نیشک و همچنین تالاب‌های بین‌المللی آلاگل، آلماگل و آجی‌گل و رودخانه حفاظت شده گرگان‌رود وجود دارد که حدود ۱۳/۹٪ سطح استان را تشکیل می‌دهند شکل (۱).

روش پژوهش

الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده

تبرید شبیه‌سازی شده نوعی روش بهینه‌سازی است که از فرآیند ذوب کردن فلزها الهام گرفته شده است (Moilanen & Ball, 2009, Possingham et al., 2000).



شکل (۱): موقعیت استان گلستان و مناطق تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط‌زیست در استان

این روش فرآیندی تکرارپذیر است که از طریق آن راه‌حل‌هایی که تابع هدف را حداقل نمی‌کنند می‌توانند به منظور گیر افتادن در نقاط بهینه محلی پذیرفته شوند (Moilanen & Ball, 2009). مارکسن نرم‌افزاری است که از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای یافتن مناطق حفاظت شده برای دستیابی به اهداف حفاظتی از پیش تعیین شده برای هر گونه مورد نظر استفاده می‌کند (Possingham et al., 2000). این نرم‌افزار یکی از پرکاربردترین نرم‌افزارهای برنامه‌ریزی حفاظت در سطح جهان است (Game & Grantham, 2008). در حقیقت مارکسن برای کمک به تصمیم‌گیران برنامه‌ریزی حفاظت طراحی شده است (Ardron et al., 2010). مارکسن هرگز جوابی قطعی برای مشکل موردنظر ارایه نمی‌دهد بلکه چندین سیستم ذخیره‌گاهی خوب توسط برنامه ارایه می‌شود و تفسیر نتایج و اجرای خروجی آن در منطقه باید توسط مدیران و تصمیم‌گیران صورت گیرد. در این روش، منطقه به واحدهای برنامه‌ریزی تقسیم می‌شود که این‌ها، واحدهای انتخاب هستند که در شبکه حفاظتی نهایی یا قرار می‌گیرند یا قرار نمی‌گیرند. هدف نیز، کمینه کردن هزینه کل تمام واحدهای برنامه‌ریزی، کمینه کردن میزان کل حاشیه و طول کل مرز شبکه به شرط دستیابی به اهداف حفاظتی موردنظر است (Ball et al., 2009). هدف کاهش طول مرز شبکه حفاظتی مهم است چون آثار حاشیه‌ای ممکن است آثار زیان‌آوری بر گونه‌های حفاظتی داشته باشد و به علاوه حراست و مدیریت کردن مرزهای مناطق حفاظت شده هزینه‌بر و مشکل خواهد بود (Ball et al., 2009). معادله بهینه‌سازی یا معادله هدف برای مارکسن به صورت زیر است (معادله ۱):

$$\text{minimize} \sum X_i C_i + b \sum\sum x_i(1-x_h)cv_{ih} \quad (۱)$$

$$\sum_{\text{PUs}} \text{Cost} + \text{BLM} \sum_{\text{PUs}} \text{Boundary} + \sum_{\text{Con Value}} \text{SPF} \times \text{Penalty} + \text{Cost Threshold Penalty(t)}$$

که c هزینه کل واحد برنامه‌ریزی i، b تعدیل‌کننده طول مرز (BLM)، a ثابت عددی است که تعادلی میان حداقل کردن هزینه و تکه‌تکه شدن فراهم می‌کند. Cv امتداد مرز مشترک دو واحد برنامه‌ریزی است و x وضعیت واحد برنامه‌ریزی است. به معادله (۱) می‌توان محدودیت زیر را نیز اضافه کرد:

$$\sum x_i r_{ij} \geq T_i \quad (۲)$$

که r میزان ویژگی حفاظتی j در واحد برنامه‌ریزی i است و T هدف ویژگی حفاظتی است.

آماده‌سازی داده‌های ورودی نرم‌افزار

نرم‌افزار قابلیت انجام تحلیل را برای داده‌های جغرافیایی (یعنی نقشه) ندارد. بنابراین، داده‌های ورودی نرم‌افزار لازم است تا به جدول‌های داده‌ای غیرمکانی تبدیل شود. برای تولید واحدهای برنامه‌ریزی، شبکه‌ای از مربع‌های با اندازه ۱ کیلومترمربع در محیط ArcGIS تولید شد. وضعیت واحدهای برنامه‌ریزی صفر قرار داده شده بدین معنی که مناطق حفاظتی موجود ضرورتی ندارد در راه حل نهایی باشند. این وضعیت می‌تواند به شناسایی کارایی مناطق حفاظتی موجود در دستیابی به اهداف حفاظتی کمک کند.

فایل مرز که نشان‌دهنده طول مرزهای مشترک میان واحدهای برنامه‌ریزی است با استفاده از ArcGIS ایجاد شد و طول هر مرز مشترک میان دو سلول مجاور محاسبه شد. این اطلاعات همراه تعدیل‌کننده طول مرز[۵] برای حداقل کردن طول کل مرز راه‌حل نهایی شبکه حفاظتی استفاده شد.

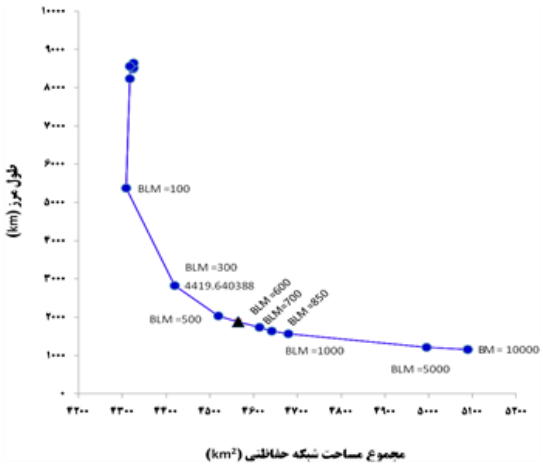
برای تعیین نقشه پراکنش پرندگان از نتایج مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی برای ۱۲۹ گونه پرنده استفاده شد (میرزایی، ۱۳۹۱). سپس فایل ویژگی‌های حفاظتی، که بیانگر گونه‌های پرندگان لحاظ شده در تحلیل و اهداف حفاظتی آن‌ها می‌باشد در محیط نرم‌افزار Excel با فهرست کردن آن‌ها و اختصاص شماره شناسایی مجزا تولید شد. وضع اهداف حفاظتی بیانگر این است که چه میزان از محدوده پراکنش هر گونه باید در راه‌حل نهایی شبکه حفاظتی باشد. در این پژوهش اهداف ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد از پراکنش هر گونه پرنده انتخاب شد. میزان فاکتور جریمه گونه‌ای[۶] نیز برای دستیابی به اهداف حفاظتی بر اساس معیارهای حفاظتی انتخاب شد؛ به عبارت دیگر وضعیت حفاظتی گونه‌ها در میزان فاکتور جریمه گونه‌ای لحاظ شد. لازم به ذکر است چنانچه دستیابی به اهداف حفاظتی تمام گونه‌ها میسر نشد فاکتور جریمه گونه‌ای برای هر گروه حفاظتی تا دستیابی به اهداف حفاظتی افزایش یافت.

وضع پارامترهای نرم‌افزار، تحلیل حساسیت و انتخاب لکه‌های حفاظتی

پارامترهای عمومی برای مارکسن با استفاده از نرم‌افزار InEdit وضع شد. تعدیل‌کننده طول مرز توسط روش پیشنهادی (Ardron et al., 2010) وضع شد. گزینه‌های اجرا براساس الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده با بهبود تکراری وضع شد. تعداد تکرارها ۲۵ میلیون مرتبه در هر اجرا و تعداد اجرا برابر ۱۰۰ قرار داده شد. انتخاب لکه‌های حفاظتی در دو سناریوی اصلی اجرا شد: سناریوی اول حالتی است که مناطق حفاظتی موجود در راه حل نهایی لحاظ نشدند و سناریوی دوم مربوط به حالتی است که مناطق حفاظتی موجود، حتماً باید در راه‌حل نهایی شبکه حفاظتی وجود داشته باشد. نتایج نیز به صورت بهترین راه حل ارایه شد. بهترین راه حل، بهترین نتیجه ۱۰۰ اجرای نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

مقادیر بهینه برای ۱۰۰ اجرا و ۲۵۰۰۰۰۰۰ تکرار برای هر اجرا انتخاب شد. مقادیر مختلف تعدیل‌کننده طول مرز انتخاب و منحنی طول مرز کل شبکه حفاظتی در مقابل مجموع مساحت شبکه حفاظتی رسم شد شکل (۲) و مقدار تعدیل‌کننده بهینه طول مرز انتخاب شد که این مقدار ۶۰۰ است.

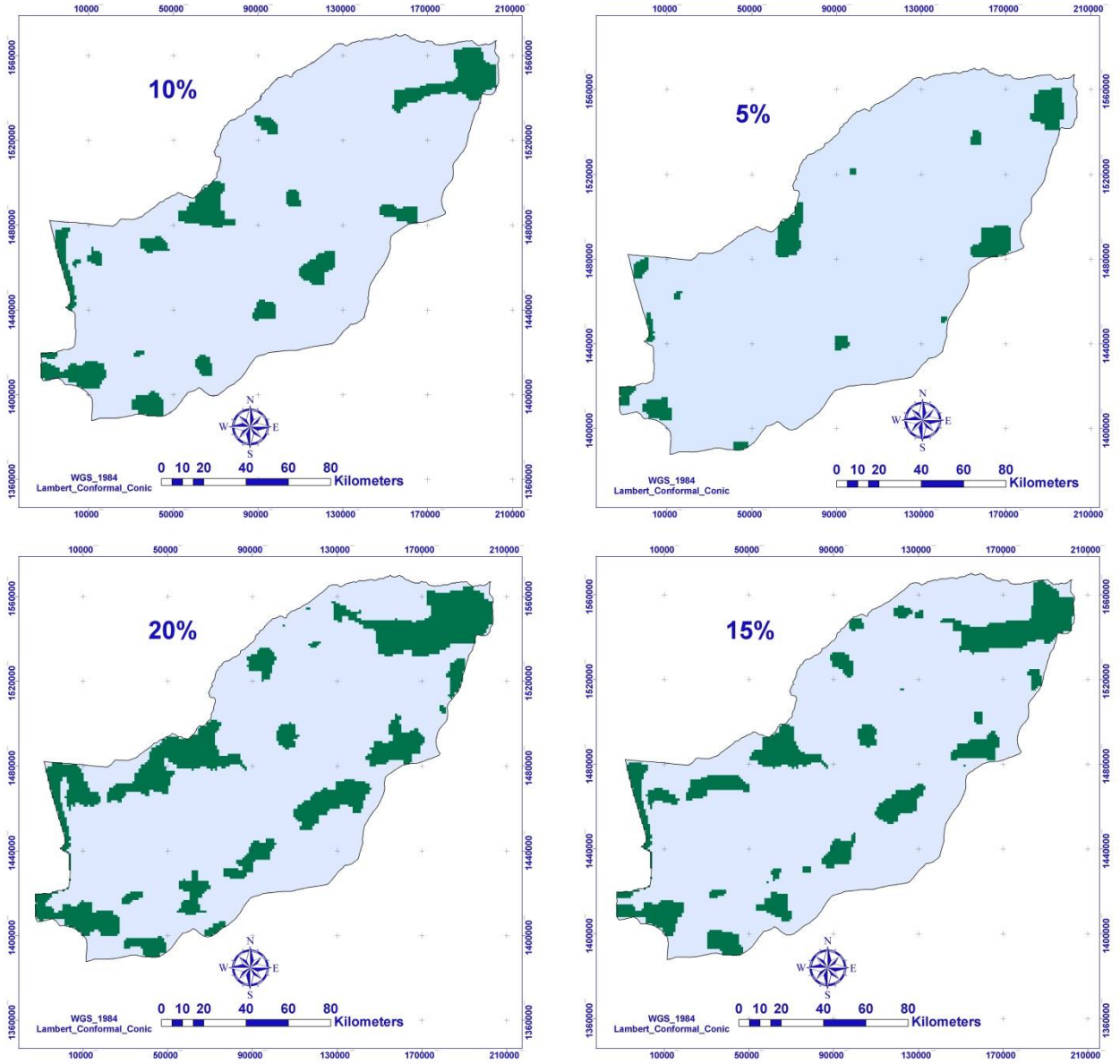


شکل(۲): بهینه‌یابی تعدیل‌کننده طول مرز با توجه به مساحت و طول مرز شبکه حفاظتی

اهداف حفاظتی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰٪ از پراکنش هر پرنده مدنظر قرار گرفت. در شکل (۳) خروجی مارکسن بر اساس این اهداف طبق سناریوی اول یعنی لحاظ نکردن مناطق حفاظتی موجود در راه‌حل نهایی مشخص شده است. همان‌طور که مشخص است با افزایش اهداف حفاظتی، شبکه حفاظتی انتخابی نیز بزرگ‌تر شده است. درصد مساحت انتخابی از سطح استان در شبکه حفاظتی تقریباً شبیه اهداف حفاظتی تعیین شده است. به عبارت دیگر برای دستیابی به اهداف حفاظتی ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ به ترتیب ۱۰۶۶ کیلومترمربع (۵/۲۳٪)، ۲۱۶۱ کیلومترمربع (۱۰/۶٪)،

۲۳۰۸ کیلومترمربع (۱۶/۲۳٪) و ۴۵۶۲ کیلومترمربع (۲۲/۴ ٪) از سطح استان نیاز است. هر چقدر هدف حفاظتی بیشتر شده است سطح بیشتری از استان برای حمایت از پرندگان نیاز است و در اهداف حفاظتی بالاتر، اختلاف هدف حفاظتی و مساحت مورد نیاز بیشتر شده است. عکس این مطلب دقیقاً در سناریوی دوم اتفاق افتاده است یعنی هنگامی که مناطق حفاظتی موجود در راه‌حل نهایی لحاظ شدند. به عنوان نمونه برای هدف حفاظتی ۵٪، نیاز است تا ۱۷/۷۴٪ از سطح استان حفاظت شود در حالی که برای هدف حفاظتی ۲۰٪، ۲۴/۱۱٪ از سطح استان باید حفاظت شود. اصولاً خروجی این الگوریتم تا حد زیادی وابسته به تعداد اجزای تنوع‌زیستی مورد استفاده، منطقه مطالعه و پراکنش گونه‌ها دارد و الگوریتم تلاش می‌کند با کمترین مساحت، به اهداف حفاظتی مدنظر دست یابد. بنابراین، ممکن است درصد مساحت به دست آمده شبیه هدف حفاظتی و حتی کمتر از آن به دست آید. مشخص است هر میزان اهداف بزرگ‌تر یا تعداد گونه‌های بیشتری انتخاب شود دستیابی به اهداف سخت‌تر شده و ممکن است مساحت بسیار بیشتری برای دستیابی به اهداف نیاز باشد. این موضوع توسط مطالعه‌های دیگر نیز تایید شده است. به عنوان نمونه (Pawar et al., 2007) دریافتند هنگامی که از ۸۰ گونه در اولویت‌بندی حفاظتی استفاده شود برای دستیابی به اهداف ۵ و ۲۰٪ به ترتیب ۵/۵۸ و ۱۷/۵۴ ٪ از سطح منطقه نیاز است تا حفاظت شود و هنگامی که از ۱۳۱ گونه برای اولویت‌بندی استفاده شود برای دستیابی به اهداف ۵ و ۲۰٪ به ترتیب به ۵/۷ و ۲۰/۱٪ از سطح منطقه نیاز است تا حفاظت شود. در ایران نیز (مهری و همکاران، ۱۳۹۳) تقریباً نتایج مشابهی به دست آوردند و متوجه شدند برای دستیابی به هدف حفاظتی ۳۰ درصد طبق مقادیر متفاوت از تعدیل‌کننده طول مرز، نیاز است از ۱۶/۹۳ تا ۳۴/۶۶ درصد از سطح استان مازندران حفاظت شود. این موضوع در مورد این پژوهش نیز کاملاً صدق می‌کند. انتخاب تنها گونه‌های پرندگان، استفاده از تنها یک مقدار تعدیل‌کننده بهینه طول مرز و وضعیت خاص استان گلستان که تقریباً شمال و جنوب استان مناطق کمتر دست‌خورده و بکر می‌باشند سبب شده است که درصد مساحت‌های به دست آمده تقریباً شبیه اهداف حفاظتی به دست آمده‌اند؛ اما مهم‌تر از نزدیکی این اعداد، موقعیت لکه‌های پیشنهادی است که براساس آن کارایی مناطق حفاظتی موجود بررسی می‌شود. همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است اندازه لکه‌های انتخابی متغیر است اما وجه شباهت چهار سناریو، وجود بزرگ‌ترین لکه در قسمت شرقی استان است. در هدف حفاظتی ۵٪، سه لکه اصلی در شرق، جنوب شرقی و شمال مرکزی قرار گرفته‌اند که تا حدود زیادی این لکه‌ها به ترتیب منطبق یا مجاور مناطق قزانقایه، گلستان و مجموعه تالاب‌ها می‌باشند. با افزایش هدف حفاظتی به ۱۰، تقریباً موقعیت دو لکه شرقی و شمال میانی حفظ شده و اندازه آن‌ها نیز بزرگ‌تر شده است اما اندازه لکه جنوب شرقی کاهش یافته و بیشتر منطبق بر منطقه حفاظتی لوه است تا پارک ملی گلستان. علاوه بر این لکه‌ها، لکه باریکی در غرب استان انتخاب شده است که تا حدودی با تالاب گمیشان همپوشانی دارد؛ همچنین ۴ لکه دیگر نیز در جنوب استان انتخاب شده است. با افزایش اهداف حفاظتی به ۱۵ و ۲۰٪ تقریباً تغییری در موقعیت لکه‌ها ایجاد نشده است و تنها اندازه لکه‌ها افزایش یافته است. تنها مطلب مهم این است که با افزایش اهداف حفاظتی، مناطق بیشتری در شمال شرقی استان انتخاب شده و در هدف حفاظتی ۲۰٪ ، دو لکه بزرگ را در همان منطقه ایجاد کردند. میزان همپوشانی مناطق حفاظتی موجود با شبکه حفاظتی با اهداف گوناگون ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد به ترتیب ۱۴/۸، ۲۱/۰۸، ۳۱/۲۱ و ۴۳/۲۰ درصد به دست آمد جدول (۱). منطقه گمیشان و قزانقایه بین مناطق بیش‌ترین میزان همپوشانی را با شبکه‌های حفاظتی انتخابی دارا می‌باشند و منطقه عزیزآباد و خوش ییلاق در هیچ کدام از بسته‌های حفاظتی قرار نگرفتند و سایر مناطق تا حدی در بسته‌های حفاظتی قرار گرفته‌اند. نتایج به دست آمده نشانگر این است که در بهترین حالت کمتر از ۵۰٪ همپوشانی بین مناطق حفاظتی موجود و شبکه حفاظتی انتخابی وجود دارد.

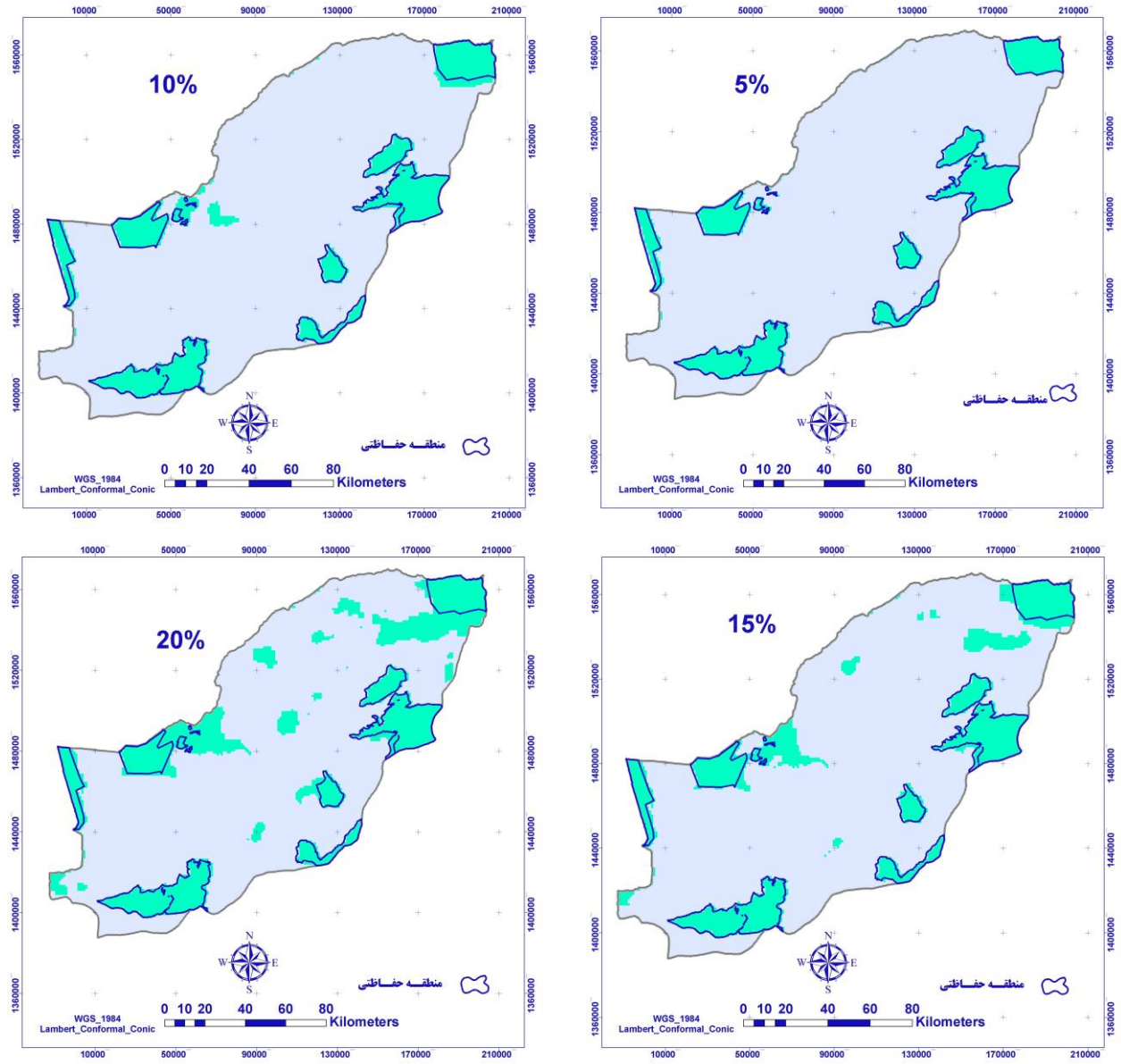
در سناریوی دوم، هدف تکمیل مناطق حفاظتی موجود است. بنابراین، وضعیت واحدهای برنامه‌ریزی به گونه‌ای تعریف شد تا مناطق حفاظتی موجود حتماً در راه‌حل نهایی شبکه‌های حفاظتی انتخابی باشد. لازم به ذکر است مناطق شکار ممنوع هم جزو مناطق لحاظ شده‌اند. در شکل (۴) مناطق حفاظتی انتخابی بر اساس اهداف حفاظتی گوناگون برای تکمیل مناطق حفاظتی موجود آورده شده است. در هدف ۵٪، تقریباً مناطق انتخابی با مناطق حفاظتی موجود همپوشانی دارد. وقتی هدف حفاظتی به ۱۰٪ افزایش می‌یابد وسعت منطقه قزانقایه افزایش می‌یابد و لکه‌ای نیز در شمال مرکزی در کنار مجموعه تالاب‌ها انتخاب شده است.



شکل(۳): مناطق حفاظتی انتخابی براساس اهداف حفاظتی گوناگون در حالتی که مناطق حفاظتی موجود در راه حل نهایی لحاظ نشده‌اند

جدول (۱): میزان همپوشانی مناطق حفاظتی انتخابی با مناطق حفاظتی موجود

هدف حفاظتی	مساحت مناطق حفاظتی (km^2)	درصد مناطق حفاظتی	درصد همپوشانی با مناطق حفاظتی موجود
٪۵	۱۰۶۶	۵/۲۳	۱۴/۸
٪۱۰	۲۱۶۱	۱۰/۶	۲۱/۰۸
٪۱۵	۲۳۰۸	۱۶/۲۳	۳۱/۲۱
٪۲۰	۴۵۶۲	۲۲/۴	۴۳/۲۰



شکل (۴): مناطق حفاظتی انتخابی برای تکمیل مناطق حفاظتی موجود بر اساس اهداف گوناگون (سناریوی دوم)

وقتی هدف ۱۵٪ شود همراه افزایش وسعت منطقه قزانقایه، لکه دیگری نیز در مجاور آن انتخاب شده است. همچنین لکه بزرگی در شمال مرکزی مجاور مجموعه تالاب‌ها انتخاب شده است. علی‌رغم این دو لکه، پنج لکه کوچک نیز انتخاب شده که سه لکه در شمال شرقی، یک لکه در غرب و یک لکه در جنوب مرکزی انتخاب شده است. برای دستیابی به اهداف مذکور یعنی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰٪ به ترتیب به ۳۰۰۷، ۳۳۲۱، ۳۹۹۰ و ۴۹۱۷ کیلومترمربع فضا نیاز است که این مقادیر به ترتیب ۱۴/۷۴، ۱۶/۲۸، ۱۹/۵۷ و ۲۴/۱۱ درصد از سطح استان را پوشش می‌دهند. میزان همپوشانی شبکه حفاظتی انتخابی طبق اهداف حفاظتی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با مناطق حفاظتی موجود به ترتیب ۹۴/۶، ۸۵/۷، ۷۱/۳ و ۵۷/۹ درصد می‌باشد؛ یا به عبارت دیگر برای دستیابی به اهداف حفاظتی مذکور نیاز است تا به ترتیب ۱۶۰، ۴۷۴، ۱۱۴۳ و ۲۰۷۰ کیلومترمربع فضا به مناطق موجود اضافه شود تا اهداف حفاظتی برآورده شود (جدول ۲). مقایسه این نتایج با نتایج سناریوی اول بسیار قابل تأمل است. مهم‌ترین نکته در این ارتباط میزان مساحت شبکه حفاظتی است. در سناریوی اول برای دستیابی به اهداف حفاظتی ۵، ۱۰، ۱۵ و

۲۰ درصد به ترتیب ۱۰۶۶، ۲۱۶۱، ۲۳۰۸ و ۴۵۶۲ کیلومترمربع فضا نیاز است اما در سناریوی دوم این مقادیر بسیار بیشتر است و اختلاف آن‌ها به ترتیب ۱۹۴۱، ۱۱۶۰، ۱۶۸۲ و ۳۵۵ کیلومترمربع می‌باشد. یا به عبارت دیگر برای دستیابی به اهداف حفاظتی در سناریوی اول درصد کوچک‌تری از سطح استان نیاز است که مقادیر آن تقریباً شبیه اهداف حفاظتی مذکور است اما در سناریوی دوم ۱۴٪ پوشش تقریبی مناطق حفاظتی موجود باز نتوانسته است به طور ۱۰۰٪ هدف حفاظتی ۵٪ را پوشش دهد و حتی برای هدف ۱۰٪ نیاز است تا حدود ۱۶٪ از سطح استان حفظ شود. به هر حال علت چنین تفاوتی به دلیل محدود کردن انتخاب مناطق حفاظتی به پوشش کامل مناطق حفاظتی موجود می‌باشد.

جدول(۲): مساحت مناطق حفاظتی و میزان همپوشانی آن‌ها با مناطق حفاظتی موجود (سناریوی دوم)

هدف حفاظتی	مساحت مناطق حفاظتی (km^2)	مناطق حفاظتی (%)	همپوشانی با مناطق حفاظتی موجود (%)	مساحت اضافه شده (km^2)
٪۵	۳۰۰۷	۱۴/۷۴	۹۴/۶	۱۶۰
٪۱۰	۳۳۲۱	۱۶/۲۸	۸۵/۷	۴۷۴
٪۱۵	۳۹۹۰	۱۹/۵۷	۷۱/۳	۱۱۴۳
٪۲۰	۴۹۱۷	۲۴/۱۱	۵۷/۹	۲۰۷۰

نگاه دقیق‌تر به وضعیت حمایت مناطق حفاظتی از پرندگان مورد مطالعه نشان می‌دهد که میانگین درصد پراکنش پرندگان داخل مناطق حفاظتی موجود ۰/۷۲ ±۱۸/۷ درصد می‌باشد و تنها ۹ گونه پرنده (۷٪) بیش از ۳۰٪ از پراکنش آنها درون شبکه مناطق حفاظتی قرار گرفته است و ۱۰۶ گونه (۸۲٪) بیش از ۱۰٪ پراکنش آنها درون شبکه حفاظتی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که پرندگان با بیشترین حمایت توسط مناطق حفاظتی، گونه‌های با پراکنش محدود می‌باشند و بالعکس. اگر حدآستانه ۵٪ به عنوان حداقل درصد حفاظتی مورد نیاز لحاظ شود، شبکه حفاظتی موجود توانسته است تمام گونه‌ها را مورد حفاظت قرار دهد، اما اگر حد آستانه ۱۰٪ قرار داده شود یعنی فرض شود که حداقل ۱۰٪ از پراکنش یک پرنده در سطح استان باید مورد حفاظت قرار گیرد حدود ۲۳ گونه یا ۱۸٪ گونه‌ها به طور کامل برای دستیابی به هدف حفاظتی موردنظر مورد حفاظت قرار نگرفته‌اند. به عبارت دیگر مناطق حفاظتی موجود در حفاظت سه گروه از پرندگان موفق نبوده‌اند که اجرای دو سناریو تلاش کرده است تا از این سه گروه بیشتر حمایت کند. گروه اول بیشتر شامل پرندگان آبزی و کنارآبزی مانند سنقر تالابی، ماهی‌خورک ابلق، حواصیل ارغوانی، پرستوی دریایی بال سفید، پرستوی دریایی گونه سفید، باکلان، آبچلیک شکیل، اگرت بزرگ، آبچلیک تک‌زی و آبچلیک پاسبز می‌باشد. انتخاب لکه‌هایی در شمال استان در هر دو سناریو برای افزایش میزان حفاظت از این گروه پرندگان بوده است. گروه دوم مربوط به پرندگانی است که به طور معمول در خارج از مناطق حفاظت شده پراکنش دارند و برخی از آنها حتی به مناطق انسان‌ساخت وابستگی دارند از این گروه می‌توان به پرندگان گنجشک خانگی، یاکریم، قمری معمولی، قمری خانگی، سبزقبا و زنبورخور گلوخرمایی اشاره کرد. تمام این پرندگان دارای پراکنشی کمتر از ۱۰٪ در مناطق حفاظتی موجود بودند که با اجرای دو سناریو تلاش شده است پوشش حفاظتی این پرندگان نیز افزایش یابد. بیشتر لکه‌هایی که در قسمت‌های مرکزی استان پیشنهاد شده است برای پوشش حفاظتی این پرندگان بوده است. گروه سوم شامل برخی از پرندگان شکاری است. از مهم‌ترین این پرندگان می‌توان به پیغو، پیغوی کوچک، جغد کوچک، دلیجه کوچک و قرقی اشاره کرد. لکه‌های پیشنهادی در جنوب و شرق و شمال شرق استان توانسته است پراکنش این پرندگان را پوشش دهد. به هر حال با اجرای دو سناریو، اهداف حفاظتی برای تمام گونه‌ها به جز گونه باکلان بزرگ تامین شده است. پوشش حفاظتی ۱۵ و ۲۰٪ برای این گونه در هر دو سناریو تامین نشده است و تنها گونه‌ای بود که وقتی اهداف حفاظتی به بیش از ۱۵٪ افزایش یافت لکه‌های حفاظتی پیشنهادی نتوانستند به طور کامل از پراکنش مدنظر این گونه حمایت کنند. به هر حال در حالتی که مناطق حفاظتی فعلی باید حتماً در راه حل نهایی باشد و هدف تکمیل مناطق موجود است؛ در دو قسمت استان خلأ محسوس قابل مشاهده است که

این دو قسمت در شمال شرقی و مرکزی قرار دارد به عبارت دیگر از یک سو برای رسیدن به اهداف موردنظر مناطق قزانقایه در شمال شرقی و صوفیکم و تالاب‌های آلاگل، آلماگل و آجی گل در شمال مرکزی کفایت لازم برای حفاظت گونه‌ها را دارا نمی‌باشند و لازم است تا محدوده شبکه حفاظتی در این مناطق افزایش یابد. تاکنون مطالعه مشابهی در منطقه مطالعه‌های انجام نشده است؛ تنها (Momeni Dehaghi et al., 2013) مطالعه‌ای را در ارتباط با کارایی مناطق حفاظت‌شده برای حمایت از ۹ گونه پستاندار انجام دادند که دریافتند در بهترین حالت، تنها ۱۷/۷٪ بین لکه‌های پیشنهادی و مناطق حفاظتی موجود همپوشانی وجود دارد که نشان‌دهنده بهینه نبودن مناطق حفاظت شده فعلی است. نتایج بررسی ایشان نشان داد که برای دستیابی به هدف حفاظتی ۲۰٪ از میان ۹ گونه موردنظر، مناطق حفاظت شده فعلی، تنها در حفاظت از ٪۲۰ زیستگاه‌های مطلوب ۳ گونه خرس قهوه‌ای، قوچ و میش و کل و بز موفق هستند و ۶ گونه کبک، قرقاول، شنگ، سیاه‌گوش، مرال و شوکا در شرایط کنونی، به صورت مطلوب تحت حفاظت قرار ندارند. ایشان در سناریوی تکمیلی نتیجه‌گیری کردند که برای حفاظت از ۲۰ ٪ زیستگاه مطلوب گونه‌ها، باید در حدود ۲۱۸۰۰ هکتار به سطح مناطق حفاظت شده فعلی استان افزوده شود.

به هر حال، اختصاص ناکافی مناطق حفاظتی یکی از مباحث متداول در برنامه‌ریزی حفاظت است که توسط مطالعه‌های دیگر نیز ذکر شده است (Cowling et al., 2003, Rodrigues et al., 2004, Tognelli et al., 2008). در ایران نیز مطالعه‌های دیگری مانند (جعفری و همکاران، ۱۳۸۹؛ مهری و همکاران،۱۳۹۳؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۵) به این موضوع اشاره کرده‌اند.

بنابر مباحث ذکر شده به نظر می‌رسد که شبکه حفاظتی موجود که تقریباً ۱۴٪ سطح استان را پوشش می‌دهد (در این پژوهش مناطق شکار ممنوع نیز لحاظ شده است) برای اطمینان از پایداری گونه‌های پرندگان موردنظر کافی نیست. (Rodrigues and Gaston, 2001) اشاره کردند که حداقل درصد مساحت مورد نیاز برای حفاظت گونه‌ها در یک منطقه با افزایش تعداد گونه‌های هدف افزایش می‌یابد؛ بنابراین، کارایی بررسی شده تنها برای ۱۲۹ گونه پرنده ذکر شده است و سایر پرندگان و حتی سایر جانوران منطقه مانند پستانداران، خزندگان، دوزیستان، ماهی‌ها، و حتی سایر عناصر تنوع‌زیستی لحاظ نشده‌اند؛ و این گروه جانوری نمی‌تواند جایگزین سایر آرایه‌های جانوری و یا سایر اجزای تنوع‌زیستی باشد.

در این پژوهش، براساس نقشه‌های پراکنش ۱۲۹ گونه پرنده، با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده لکه‌های حفاظتی انتخاب شد. مناطق شناسایی شده برای دستیابی به اهداف حفاظتی پرندگان، نقطه شروع مفیدی برای تصمیم‌گیران در اولویت‌بندی مناطق مهم و باارزش در استان گلستان فراهم می‌کند. لکه‌های باارزش در مرز یا پیرامون مناطق حفاظتی موجود می‌تواند به عنوان زیستگاه‌های سپر برای آن‌ها مدیریت شود یا الگوی تغییر مرز مناطق حفاظتی موجود را مشخص می‌کند. فعالیت‌های حفاظتی احتمالاً باید متمرکز بر مناطقی باشد که دارای بیش‌ترین میزان تخریب یا پشتیبانی‌کننده مرحله‌های حساس حیات‌وحش مانند مناطق زادآوری باشد. انتخاب لکه‌های حفاظتی در عمل نیاز به داده‌های دیگری مانند داده‌های اقتصادی- اجتماعی و تهدیدات نیز دارد. در جمع‌بندی مطالب اشاره شده، ذکر چند نکته لازم است: الف. خروجی این پژوهش تنها برای پرندگان مذکور است و باید با داده‌های جدید پرندگان در سطح منطقه تکمیل شود، ب. رسیدن به نتیجه نهایی معرفی لکه‌های حفاظتی در عمل با انجام تنها یک پژوهش امکان‌پذیر نیست و مطالعه‌ها متعددی در این زمینه نیاز دارد، ج. تمام مراحل انجام پژوهش دارای خطا و عدم قطعیت است اگرچه تلاش شد تا این عدم‌قطعیت‌ها به حداقل کاهش یابد و د. توسعه فنون و نرم‌افزارهای جدید به هیچ وجه خلأ نبود، داده‌های پایه در ارتباط با تنوع‌زیستی را پر نمی‌کند و همچنان چنین داده‌هایی، زیربنای تمام تصمیم‌گیری‌های حفاظتی است و این فنون و روش‌ها تنها ابزاری برای دستیابی به اهداف مورد نظر است.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از زحمات و حمایت‌های دکتر سیدمحمود قاسمپوری، دکتر عبدالرسول سلمان ماهینی، دکتر بهرام حسن‌زاده کیابی و سرکار خانم پریناز رشیدی قدردانی می‌شود.

یادداشت‌ها

1. Systematic Conservation Planning
2. Algorithm
3. Marxan
4. Simulated annealing algorithm
5. Boundary Length Modifier (BLM)

6. Species Penalty Factor (SPF)

فهرست منابع

سپاسی، ی.؛ دانه‌کار، ا.؛ علیزاده، ا.؛ درویش صفت، ع.ا. و شریفی‌پور، ر. ۱۳۸۹. طرح‌ریزی محیط‌زیستی جزیره هنگام برای حفاظت و گردشگری با ارزیابی چندمعیاره مکانی (SMCE). محیط‌زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران. ۶۳: ۱۵۹-۱۷۲.

جعفری، ع.؛ یاوری، ا.ر.؛ بهرامی، ش. و یارعلی، ن. ۱۳۸۹. انتخاب مناطق حفاظت شده جدید با تأکید بر تیپ‌های گیاهی و استفاده از C-Plan (مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد). محیط‌شناسی، ۵۶: ۱-۱۲.

ذوالفقاری، ر.؛ فیاض، پ.؛ جعفری، ع.؛ میرزایی، م.ر. و زمانی، س.م. ۱۳۹۱. تعیین مناطق دارای اولویت حفاظتی در جنگل آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه یاسوج براساس عوامل فیزیوگرافی. اکولوژی کاربردی. ۲: ۶۵-۷۳.

مهری، ا.؛ سلمان‌ماهینی، ع.؛ میرکریمی، س.ح. و رضایی، ح.ر. ۱۳۹۳الف. انتخاب مناسب‌ترین شبکه مناطق تحت حفاظت با استفاده از یک الگوریتم هوشمند (مطالعه موردی: استان مازندران). محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۶۷: ۲۰۷-۲۲۲.

مهری، ا.؛ سلمان‌ماهینی، ع.؛ میرکریمی، س.ح. و رضایی، ح.ر. ۱۳۹۳ب. مقایسه کارایی سه الگوریتم هوشمند یارانه‌ای در انتخاب مناطق مناسب حفاظت (مطالعه موردی: استان مازندران). محیط‌شناسی. ۴۰(۱): ۱-۱۶.

میرزایی، ر.۱۳۹۱. تعیین مناطق مناسب حفاظت از پرندگان بر اساس الگوی مکانی تهدیدات محیط‌زیستی و تنوع گونه‌ای در استان گلستان. رساله دکتری، مهندسی منابع‌طبیعی- محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۶ص.

یاری، ف.؛ دانه‌کار، ا.؛ و شریفی‌پور، ر. ۱۳۸۹. شناسایی مناطق تحت حفاظت در شهرستان رودان از طریق ارزیابی چندمعیاره مکانی. فصلنامه زمین‌شناسی و محیط‌زیست. ۱۳: ۶۵- ۷۸.

یوسفی، م.؛ اشرفی، س.؛ کفاش، ا.؛ و داور، ل. ۱۳۹۵. بررسی میزان پوشش بیوم‌های خشکی ایران به وسیله مناطق حفاظت‌شده. محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران. ۶۹ (۲): ۵۸۱-۵۹۵.

Ardron, J. A.; Possingham, H. P. & Klein, C. J. 2010. Marxan Good Practices Handbook, Version 2. Pacific Marine Analysis and Research Association. Victoria, BC, Canada, 155 p.

Ball, I. R.; Possingham, H. P. & Watts, M. E. 2009. Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritization, In: Moilanen, A.; Wilson, K. A. & Possingham, H. P. (Eds.), Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools. Oxford University Press, New York, pp. 185-195.

Chape, S.; Harrison, J.; Spalding, M. & Lysenko, I. 2005. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences. 360: 443-455.

Cowling, R.; Knight, A.; Faith, D.; Ferrier, S.; Lombard, A.; Driver, A.; Rouget, M.; Maze, K.& Desmet, P. 2004. Nature conservation requires more than a passion for species. Conservation Biology. 18: 1674-1676.

Cowling, R.; Pressey, R.; Sims-Castley, R.; Le Roux, A.; Baard, E.; Burgers, C.& Palmer, G. 2003. The expert or the algorithm? - Comparison of priority conservation areas in the cape floristic region identified by park managers and reserve selection software. Biological Conservation. 112:147-167.

Game, E. T. & Grantham, H. S. 2008. Marxan User manual: For Marxan Version 1.8.10. University of Queensland, Queensland, Australia, and Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, British Columbia, Canada, 127 p.

Groves, C. 2003. Drafting a conservation blueprint: A practioner's guide to planning for biodiversity. Island Press, Washington D.C., 457 p.

Knight, A. T.; Cowling, R. M.; Possingham, H. P. & Wilson, K. A. 2009. From theory to practice: Designing and situating spatial prioritization approaches to better implement conservation action. In: Moilanen, A.; Wilson, K. A. & Possingham, H. P. (Eds.). Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools. Oxford University Press, New York, pp. 249-259.

Moilanen, A. & Ball, I. R. 2009. Heuristic and approximate optimization methods for spatial conservation prioritization. In: Moilanen, A.; Wilson, K. A. & Possingham, H. P. (Eds.). Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools. Oxford University Press, New York, pp. 58-69.

Momeni Dehaghi, I.; Salman Mahiny, A.; Alizadeh Shabani, A. & Karami, M. 2013. Efficiency of current reserve network in Golestan Province (Iran) for the protection of hoofed ungulates, Biodiversity, 14: 162-168.

Pawar, S.; Koo, M. S.; Kelley, C.; Ahmed, M. F.; Chaudhuri, S. & Sarkar, S. 2007. Conservation assessment and prioritization of areas in Northeast India: priorities for amphibians and reptiles. Biological Conservation 1 3 6: 3 4 6 - 3 6 1.

Possingham, H. P.; Ball, I. R. & Andelman, S. J. 2000. Mathematical methods for identifying representative reserve networks. In: Ferson, S. & Burgman, M. (Eds.). Quantitative methods for conservation biology. Springer-Verlag, New York, 291-305.

Pressey, R. 2004. Conservation planning and biodiversity: Assembling the best data for the job. Conservation Biology. 18: 1677-1681.

Pressey, R. L.; Cabeza, M.; Watts, M. E.; Cowling, R. W. & Wilson, K. A. 2007. Conservation planning in a changing world. Trends in Ecology and Evolution. 22: 583-592.

Pressey, R. L. 1994. Ad hoc reservations - forward or backward steps in developing representative reserve systems. Conservation Biology. 8: 662-668.

Rodrigues, A.; Akçakaya, H.; Andelman, S.; Bakarr, M.; Boitani, L.; Brooks, T.; Chanson, J.; Fishpool, L.; Da Fonseca, G. & Gaston, K. 2004. Global gap analysis: Priority regions for expanding the global protected-area network. BioScience. 54:1092-1100.

Rodrigues, A. S. L. &Gaston, K. J. 2001. How large do reserve networks need to be?. Ecology Letters. 4:602–609.

Tognelli, M. F.; Ramirez de Arellano, P. I.; Brooks, T.; Rodrigues, A. & Marquet, P. A. 2008. How well do the existing and proposed reserve networks represent vertebrate species in Chile?. Diversity and Distributions. 14: 148–158.