

انتخاب مناسب‌ترین شبکه مناطق تحت حفاظت با استفاده از یک الگوریتم هوشمند (مطالعه موردی: استان مازندران)

آزاده مهری^{۱*}، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲، سید حامد میرکریمی^۳، حمیدرضا رضایی^۴

۱. کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳،۴. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۲/۲۹)

چکیده

برای حفاظت از تنوع زیستگاه‌ها و جمعیت‌های حیات وحش باید به انتخاب مناطق معرف و نمونه از کل طبیعت پرداخت. هدف اصلی این پژوهش انتخاب مناسب‌ترین شبکه مناطق تحت حفاظت در استان مازندران است. به این منظور، زیستگاه بالقوه ۸ گونه پستاندار، مناطق مناسب پراکنش ۴ گروه پرنده و ۲۶ تپ پوشش جنگل به‌عنوان معیارهای انتخاب مناطق تحت حفاظت استفاده شدند. اولویت‌بندی توسط الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده تحت نرم‌افزار Marxan انجام شد. در سناریوی اول کارایی مناطق تحت حفاظت موجود در رسیدن به هدف حفاظت ۳۰ درصد هر یک از معیارهای حفاظتی بررسی شد. نتایج نشان داد مناطق تحت حفاظت موجود تنها در برآورد هدف حفاظتی ۸ معیار موفق بوده‌اند. در سناریوی دوم با شرط وجود مناطق تحت حفاظت موجود، اقدام به انتخاب لکه‌های مناسب حفاظت برای تکمیل شبکه حفاظتی موجود شد. نتایج نشان دادند برای حفاظت ۳۰ درصد هر یک از معیارها، در بهترین حالت ۲۸ درصد از سطح استان باید حفاظت شود. بر این اساس، نیاز است حدود ۱۸۶.۹۱۸/۰۴ هکتار به سطح مناطق فعلی اضافه شود. در سناریوی سوم بدون در نظر گرفتن مناطق تحت حفاظت موجود، منطقه با هدف حفاظت ۳۰ درصد هر معیار اولویت‌بندی شد و بهترین لکه‌ها برای حفاظت معرفی شدند. نتایج نشان داد در بهترین حالت باید ۱۸/۴۳ درصد سطح استان حفاظت شود. از این مقدار تنها ۲۴/۱۷ درصد آن با مناطق تحت حفاظت موجود هم‌پوشانی دارد. با استفاده از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان خلاءهای حفاظتی موجود را شناسایی و مناطقی برای تکمیل این خلاءها معرفی کرد.

کلیدواژگان: استان مازندران، الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده، انتخاب سیستماتیک مناطق تحت حفاظت، بهینه‌سازی، Marxan.

۱. مقدمه

امروزه آهنگ تند تخریب منابع طبیعی از یک سو، و نیاز اجتناب ناپذیر انسان برای بهره‌برداری از منابع طبیعی از سوی دیگر، این حقیقت را بازگو می‌کند که باید بین قابلیت‌های متنوع طبیعت و شیوه‌های تفکر و برخورد با آن‌ها موازنه به‌وجود آید (Madjnoonian, 2000a). مطالعات اخیر نشان می‌دهند ما وارد یک دوره انقراض بزرگ شده‌ایم و حدود نیمی از زیستگاه‌های سطح زمین را تغییر داده‌ایم و اکوسیستم‌های زیادی را تخریب کرده‌ایم. انقراض‌های گذشته در محدوده زمانی میلیون‌ها سال رخ می‌داده است، این در حالی است که دوره‌های انقراض بزرگ اخیر در دوره‌های کوتاه و حدود ۲۰۰ سال رخ می‌دهند. با روند اخیر، انتظار می‌رود حدود ۲۰ درصد همه گونه‌ها در زمان ۳۰ سال و ۵۰ درصد آن‌ها تا پایان قرن ۲۱ نابود شوند (Singh, 2002). مهم‌ترین عامل کاهش گونه‌ها و جمعیت آن‌ها تخریب و انهدام زیستگاه‌های گیاهی و جانوری است (Madjnoonian, 2000a). برای حفظ و حراست از تنوع زیستگاه‌ها و جمعیت‌های حیات وحش در شرایط کنونی چاره‌ای جز انتخاب مناسب از مناطق نمونه و معرف از کل طبیعت و بهره‌برداری چندجانبه آموزشی، پژوهشی، حفاظتی و تفرجگاهی و اعمال کنترل و نظارت پیوسته به‌عنوان یک واحد فعال و مؤثر حفاظتی از آن‌ها وجود ندارد (Madjnoonian, 2000b). اگرچه در حالت ایده‌آل، کل یک کشور باید به شکل درجات مختلف حفاظتی باشد و سایر کاربری‌ها در متن حفاظت انجام شوند، اما به‌طور معمول این امکان وجود ندارد (Salman Mahin, 2009) و ما نمی‌توانیم تمام مکان‌های دربرگیرنده تنوع‌زیستی را حفاظت کنیم، زیرا این کار به معنی حفاظت کل زمین است. در نتیجه ما مجبور به اولویت‌بندی مکان‌ها هستیم. مکان‌های منتخب به‌عنوان مناطقی که اولویت بالای تنوع‌زیستی دارند باید حداقل دو ویژگی داشته باشند. آن‌ها باید نمونه‌ای از تنوع‌زیستی منطقه‌ای باشند که در آن واقع شده‌اند و باید تنوع‌زیستی را از فرایندهایی که پایداری آن را تهدید می‌کنند جدا کنند (Margules et al., 2002؛ Sarkar and Margules, 2002). کارایی مناطق تحت حفاظت در خصوص حفظ تنوع‌زیستی وابسته به

نماینده‌بودن آن‌هاست (Margules and Pressey, 2000). آنچه اهمیت دارد این است که چگونه می‌توان بیشتر شروط و پارامترها را در آن واحد در نظر گرفت و مجموعه‌ای از مناطق را برای حفاظت انتخاب کرد به گونه‌ای که بیشترین، کامل‌ترین، جامع‌ترین، یکپارچه‌ترین و پیوسته‌ترین بخش‌های طبیعت تا حد امکان به این کار اختصاص یابند (Salman Mahini, 2009). یکی از راه‌های دستیابی به این هدف استفاده از روش‌های هوشمند کامپیوتری یا هوش مصنوعی است. این روش‌ها شامل الگوریتم‌های کامپیوتری مختلفی هستند که تصمیم‌گیری را براساس تعریف یک تابع هدف انجام می‌دهند (Game and Grantham, 2008). انواع مختلفی از الگوریتم‌ها در زمینه انتخاب سیستماتیک مناطق تحت حفاظت، برای بهینه‌سازی فرایند انتخاب و چینش فضایی لکه‌های مناسب حفاظت استفاده شده‌اند. الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده به‌دلیل توانایی بررسی هم‌زمان اهداف چندگانه و هزینه‌ها و سرعت بالا، در حل مسائل پیچیده به نسبت سایر الگوریتم‌های اکتشافی تکراری کارایی بیشتری داشته است. یکی از مزیت‌های الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده، تولید چندین راه‌حل در مقابل راه‌حل مجزاست (Pressey, 2002). این الگوریتم یک سازش مفید بین الگوریتم‌های بهینه و اکتشافی مرحله‌ای متداول است و جواب‌های قابل قبولی را در زمان قابل قبول ارائه می‌کند (Pressey et al., 1996). این الگوریتم در پژوهش‌های مختلفی به‌منظور انتخاب مناطق مناسب حفاظت استفاده شده است. Giakoumi و همکاران (2010) به طراحی یک شبکه حفاظتی معرف گونه‌ها و زیستگاه‌های حساس در دریای مدیترانه پرداختند. استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده خلاءهای حفاظتی را شناسایی کرد و مکان‌های حفاظتی جدیدی برای جبران آن‌ها معرفی کرد. Jenkins و همکاران (2010) به تعیین اولویت‌های حفاظتی با هدف حفظ تنوع پرندگان در ریودوژانیرو برزیل پرداختند. نتایج کاربرد الگوریتم ۱۰ درصد از نواحی بدون حفاظت را به‌عنوان مناطقی با اولویت بالا برای حفظ گونه‌های پرندگان شناسایی کرد. Pearce و

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مطالعه شده

این پژوهش در محدوده استان مازندران اجرا شد. استان مازندران با حدود ۲۴ هزار کیلومتر مربع مساحت بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. این استان از استان‌های ساحلی است و از بخش شمالی هم‌مرز با دریای مازندران است. مناطق این استان به‌ویژه جنگل‌ها و مراتع زیستگاه گونه‌های گیاهی و جانوری گوناگونی است. شهرستان ساری با مساحت ۳۲۴۸/۴ کیلومتر مربع بزرگ‌ترین شهرستان و مرکز استان است (Statistical yearbook of Mazandaran province, 2010).

۲.۲. تهیه معیارهای انتخاب مناطق تحت حفاظت

انتخاب معیارها به اهداف حفاظت، داده‌های در دسترس، منابع موجود برای تحلیل داده‌ها و جمع‌آوری داده‌های جدید وابسته است. در این پژوهش براساس داده‌های موجود و امکان تهیه آن‌ها و همچنین محدودیت زمانی از معیارهای تیپ پوشش جنگل، مطلوبیت زیستگاه بالقوه پستانداران و پراکنش پرندگان استفاده شد. معیارهای حفاظتی در کل ۳۸ معیار شامل زیستگاه بالقوه ۸ گونه پستاندار، نقشه پراکنش ۴ گروه پرنده (Rezaei et al, 2010) و ۲۶ تیپ پوشش جنگلی است. نقشه هر یک از این معیارها باید به‌صورت جداگانه و به‌صورت لایه‌های بولین (صفر و یک) تهیه شود. معیارهای حفاظتی بر اساس نظر کارشناسی و با توجه به محدودیت زمانی و منابع در دسترس انتخاب شده‌اند. روش تهیه این معیارها به شرح زیر است.

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه بالقوه پستانداران با روش

ارزیابی چندمعیاره^۱

در این پژوهش براساس جایگاه گونه‌ها در رده‌های تهدید و اهمیت آن‌ها در منطقه گونه‌های پلنگ ایرانی

همکاران (2008) به بررسی این مسئله در منطقه‌ای از یلواستون تا یوکان در کانادا پرداختند. براساس نتایج با کاربرد الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده ۱۹ درصد منطقه مناسب حفاظت معرفی شد که تنها ۲۹ درصد آن با مناطق حفاظت‌شده موجود هم‌پوشانی داشت. Leslie و همکاران (2003) کاربرد این الگوریتم در انتخاب مناطق مناسب حفاظت دریایی را بررسی کردند. هدف آن‌ها حفاظت حداقل ۲۰ درصد زیستگاه موجودات کفزی بود. نتایج آن‌ها نشان داد کاربرد این روش کارایی بالایی در رسیدن به اهداف حفاظتی دارد. Wells (2007) از این روش برای انتخاب یک شبکه تحت حفاظت از پوشش جنگلی در کانادا با هدف حفظ زیستگاه‌های حساس استفاده کرد. نتایج حاصل کارایی این روش را در دستیابی به اهداف مختلف در سطح سیمای سرزمین ثابت کرد. Klein و همکاران (2009) به اولویت‌بندی حفاظتی در سرزمین‌های رام‌نشده استرالیا پرداختند. کاربرد الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده نشان داد این الگوریتم کمک زیادی به دستیابی اهداف حفاظتی و کاهش هزینه انتخاب مناطق حفاظت‌شده به‌طور هم‌زمان دارد. در ایران نیز Momeni (2011) از این روش به‌منظور شناسایی شبکه‌ای از مناطق تحت حفاظت در استان گلستان استفاده کرد. نتایج نشان داد در بهترین حالت تنها ۱۷/۷ درصد مناطق حفاظتی منتخب با مناطق حفاظتی فعلی هم‌پوشانی دارند.

هدف از انجام این پژوهش اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت در استان مازندران و انتخاب مناسب‌ترین لکه‌ها برای حفاظت است. به این منظور از معیارهای حفاظتی شامل ۲۶ تیپ پوشش جنگل، زیستگاه بالقوه ۸ گونه پستاندار و مناطق مناسب پراکنش ۴ گروه پرنده استفاده شده است. مدل‌سازی زیستگاه بالقوه پستانداران توسط روش ارزیابی چندمعیاره و مدل‌سازی مناطق مناسب پراکنش پرندگان با استفاده از روش Echelon Analysis انجام شد. برای اولویت‌بندی از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده تحت نرم‌افزار Marxan استفاده شد.

۱. در این بخش روش تهیه معیارها به اختصار بیان شده است. خوانندگان محترم می‌توانند برای اطلاع بیشتر به (Mehri, 2012) یا (Mehri, et al, 2012) مراجعه کنند.

کارشناسی به صورت توابع فازی تعریف شدند. لایه‌های محدودیت نیز براساس مدل‌های حرفی به صورت لایه‌های بولین تهیه شدند. وزن هر یک از فاکتورها براساس نظر کارشناسی و توسط فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۲ در نرم‌افزار ایدریسی تایگا به دست آمد.

مرحله بعد در روش ارزیابی چندمعیاره ادغام لایه‌هاست. ادغام لایه‌ها به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. در ارزیابی حاضر از روش ترکیب خطی وزن‌دار^۳ به منظور ادغام لایه‌ها استفاده شد. در این روش ابتدا فاکتورها براساس وزنی که به آن‌ها داده می‌شود با هم جمع می‌شوند. سپس لایه به دست آمده در لایه‌های محدودیت ضرب می‌شود و یک لایه فازی که نشان‌دهنده مطلوبیت کل منطقه است به دست می‌آید.

مرحله بعد انتخاب مناسب‌ترین لکه‌های زیستگاه با استفاده از تصاویر پیوسته مطلوبیت است. نقشه تهیه شده در مراحل قبل یک لایه پیوسته مطلوبیت از کل منطقه است. همان گونه که ذکر شد، نقشه هر یک از این معیارها باید به صورت جداگانه و به صورت لایه‌های بولین (صفر و یک) تهیه شود. در این نقشه‌ها صفر نشان‌دهنده مناطق نامناسب و یک نشان‌دهنده مناطق مناسب زیستگاه گونه است. برای این کار از روش آستانه مطلوبیت استفاده شد. در این روش، برخی از سطوح مطلوبیت به عنوان آستانه استفاده شوند تا مطلوبیت و یا عدم مطلوبیت موقعیت‌ها در نتایج مشخص شود. در این روش ابتدا پیکسل‌هایی با مطلوبیت پایین‌تر از حد آستانه تعیین شده حذف می‌شوند. سپس لکه‌هایی با مساحت کمتر از یک مقدار مورد نظر نیز حذف می‌شوند (Salman Mahini & Kamyab, 2010).

مدل‌سازی مناطق مناسب پراکنش پرندگان با روش

^۴ Echelon Analysis

برای مدل‌سازی مناطق مناسب پراکنش پرندگان از داده‌های موجود درباره حضور آن‌ها استفاده شد. ابتدا سطح استان براساس نقشه ارائه شده سازمان حفاظت

(Panthera pardus)، سیاه‌گوش (*Lynx lynx*)، خرس قهوه‌ای (Ursus arctos)، شنگ (*Lutra lutra*)، قوچ و میش (*Ovis orientalis*)، کل و بز (*Capra aegagrus*)، شوکا (*Capreolus capreolus*) و مرال (*Cervus elaphus*) انتخاب شدند تا با مدل‌سازی و حفظ زیستگاه آن‌ها، زیستگاه سایر گونه‌ها نیز حفاظت شود. در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه، مدل‌ها اغلب براساس بررسی روابط آماری بین حضور فعلی گونه و متغیرهای زیستگاهی و خصوصیات منطقه ساخته می‌شوند. Store & Kangas (2001) معتقدند در مناطقی که اطلاعات و داده‌های تجربی در زمینه پراکنش گونه‌ها در دسترس نیست و تعداد گونه‌های مطالعه شده زیاد است، استفاده از دانش متخصصان و ارزیابی چندمعیاره^۱ راه حل مناسبی است (Momeni, 2011). در پژوهش حاضر با استفاده از دانش تجربی و نظر کارشناسی و با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره و منطق فازی، مناطقی که به احتمال زیاد نشان‌دهنده زیستگاه پستانداران است تعیین شد.

در گام اول برای کمک به فرایند وزن‌دهی، استانداردهای و در نهایت ترکیب لایه‌ها در روش ارزیابی چندمعیاره، مدل‌های حرفی برای هر یک از گونه‌ها تهیه شدند. به این منظور، براساس مطالعات پیشین درباره زیستگاه گونه‌ها معیارهای ارزیابی زیستگاه برای هر یک از گونه‌ها براساس نیازهای زیستگاهی هر گونه انتخاب شدند. گام بعدی، شناسایی و توسعه معیارهاست. معیارها شامل دو دسته محدودیت و فاکتور هستند. محدودیت‌ها به صورت لایه‌های بولین تهیه می‌شوند که در آن صفر نشان‌دهنده عدم تناسب و یک نشان‌دهنده تناسب است. فاکتورهای معیارهایی هستند که درجات مطلوبیت را برای تمام منطقه تعریف می‌کنند و آن را به صورت اعداد پیوسته نشان می‌دهند. فاکتورها به صورت لایه‌های فازی تهیه می‌شوند و با توجه به معیارها می‌توان آن‌ها را به روش‌های مختلف استاندارد کرد (Salman Mahini & Kamyab, 2010).

در این پژوهش از توابع خطی و در برخی موارد از توابع تعریف شده توسط کاربر استفاده شد. برای این منظور، ابتدا فاکتورها براساس مدل‌های حرفی اولیه و نظرات

2. AHP-Analytical Hierarchy Process

3. WLC- Weighted Linear combination

۴. در این بخش روش تهیه معیارها به اختصار بیان شده است.

خوانندگان محترم می‌توانند برای اطلاع بیشتر به (Mehri, 2012) یا (Mehri, et al, 2012) مراجعه کنند.

1. MCE- Multi Criteria Evaluation

۱×۱ کیلومتر انجام شد و تعداد نقاط حضور پرندگان در هر شبکه شمارش شدند. با توجه به اینکه ثبت داده‌های حضور پرنده در شبکه‌های بزرگ‌تر انجام شده است، تعداد زیادی از سلول‌های این شبکه‌ها بدون داده باقی خواهند ماند. برای حل این مسئله ابتدا یک درون‌یابی از نقاط حضور گونه‌ها انجام شد. سپس، میانگین نقشه درون‌یابی شده در هر یک از سلول‌های شبکه محاسبه شد و به‌عنوان ارزش آن سلول در نظر گرفته شد. در نتیجه اجرای این روش یک نقشه طبقه‌بندی شده (طبقه ۱ با بیشترین اولویت و طبقه ۴ با کمترین اولویت درباره حضور پرندگان) برای هر گروه تولید شد. در مرحله آخر طبقات ۱ و ۲ از هر نقشه به‌عنوان مناطق مناسب برای پراکنش هر گروه انتخاب شدند و به آن‌ها ارزش یک و به سایر مناطق ارزش صفر داده شد.

آماده‌سازی لایه‌های تیپ‌های پوشش جنگل

برای این کار از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تیپ پوشش جنگل تهیه‌شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع استفاده شد. این نقشه شامل ۲۶ تیپ جنگل است و از هر ۲۶ تیپ به‌عنوان معیار استفاده شد. در مطالعه حاضر، هدف حفاظت حداکثر پوشش جنگلی ممکن با درصدی از مساحت تمام تیپ‌های جنگلی است. به‌منظور آماده‌کردن لایه‌ها، هر یک از تیپ‌ها در نرم‌افزار ایدرسی به‌صورت یک لایه بولین جداگانه تهیه شدند.

نقشه یگان‌های برنامه‌ریزی

یکی از مراحل ضروری در آماده‌سازی داده‌ها تقسیم منطقه مطالعه‌شده به مجموعه‌ای از یگان‌های برنامه‌ریزی است. یگان‌های برنامه‌ریزی باید کل سطح منطقه مطالعه‌شده را پوشش دهند و اندازه آن‌ها باید متناسب با ویژگی‌های بوم‌شناختی و مساحت منطقه باشد (Game & Grantham, 2008). در این پژوهش از مرز حوزه‌های آبخیز به‌عنوان یگان‌های برنامه‌ریزی استفاده شد. برای ساخت این نقشه، ابتدا توسط دستور Pit Removal در نرم‌افزار ایدرسی تایگا گودال‌های مصنوعی به‌وجودآمده در DEM حذف شدند. سپس، با استفاده از دستور Watershed و به شکل تجربی (Momeni, 2011) و تکرار در سامانه اطلاعات جغرافیایی، براساس نظر کارشناسی لایه رستری

محیط‌زیست و کارهای انجام‌شده قبلی توسط پرندشناسان از جمله اسکات درک به‌صورت شبکه سلول‌های مربع با ضلع ۲۵ کیلومتری تقسیم‌بندی شد. برداشت اطلاعات در مناطق جنگلی از شیوه ترانسکت نقطه‌ای و در مناطق باز از شیوه ترانسکت خطی استفاده شد. پایش مناطق در اکوتون‌ها با دقت بیشتری انجام شد، زیرا در این مناطق گونه‌های موجود در هر دو اکوسیستم وجود دارند. ثبت گونه‌های مشاهده‌شده توسط دستگاه موقعیت‌یاب جهانی^۱ انجام شد. آماربرداری در سال ۱۳۸۹ در فصل بهار انجام شد. در این بررسی تعداد ۳۹۷۲ پرنده ثبت شد، که شامل ۲۲۸ گونه، ۱۲۸ جنس و ۵۰ خانواده هستند (Rezaei *et al*, 2010). همان‌طور که ذکر شد روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی پراکنش و زیستگاه جانوران وجود دارد. امروزه، نقش تحلیل‌های آماری در مدل‌سازی پدیده‌ها و تعیین ساختار داده‌ها براساس اطلاعات مکانی آن‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Kurihara & IshioKa, 2008). یک روش جدید در این زمینه Echelon Analysis است. Echelon Analysis ابزاری جدید جهت تعیین علمی ساختار مکانی داده‌های کمی برای نقشه‌سازی مستقیم آن‌ها ارائه می‌کند (Myers & Patil, 2002؛ Myers *et al*, 1997). Echelon Analysis ساختار داده‌ها را براساس ارزش سلول‌ها و روابط آن‌ها با سلول‌های همسایه بررسی می‌کند (Patil *et al*, 2004). در این پژوهش پرندگان به چهار گروه پرندگان وابسته به آب (آبزی و کناراآبزی)، پرندگان شکاری، گنجشک‌سانان و سایر پرندگان به گونه‌ای تقسیم شدند که کمترین تفاوت درون گروهی از نظر نیازهای زیستگاهی براساس نظر کارشناسی میان آن‌ها وجود داشته باشد. انتخاب این گروه‌ها براساس داده‌های موجود و نظر کارشناسی بوده است. علت انتخاب‌نشدن گونه‌های منفرد به‌دلیل نبود تعداد کافی نمونه‌برداری‌ها بوده است. همچنین، مدل‌سازی براساس تعداد حضور پرندگان در هر شبکه سلولی است. سپس، روش Echelon Analysis برای مدل‌سازی مناطق مناسب پراکنش هر یک از گروه‌ها اجرا شد. این روش در یک شبکه سلولی با سلول‌های

1. GPS- Global Positioning System

اهداف تعیین شده برای شبکه مناطق تحت حفاظت اغلب اختیاری هستند (wiersma & Nudds, 2006). در این پژوهش براساس نظر کارشناسی، هدف حفاظت حداقل ۳۰ درصد مساحت هر یک از تیپ‌های پوشش گیاهی و زیستگاه هر یک از گونه‌هاست.

فاکتور تعدیل کننده طول مرز (BLM)^۱: تنظیم کننده میزان تکه تکه شدگی^۲ لکه‌های انتخاب شده برای حفاظت است. در طرح ریزی مناطق تحت حفاظت به طور کلی، یک لکه حفاظتی بزرگتر بهتر از چند لکه کوچک با همان اندازه است و هرچه نسبت محیط به مساحت لکه بیشتر باشد تأثیر اثرات خارجی بر آن بیشتر است. این موضوع در Marxan توسط فاکتور تعدیل کننده طول مرز کنترل می شود. با افزایش مقدار این فاکتور تأکید بر کاهش طول مرز افزایش می یابد و اهداف حفاظتی در تعداد کمتری از لکه‌های بزرگتر ملاقات خواهند شد.

تعداد تکرارها: تعیین کننده تعداد دفعاتی است که روش در هر بار اجرای نرم افزار تکرار می شود. در هر تکرار یک راه حل جدید تولید می شود و تعدادی از یگان‌ها به عنوان حفاظت شده معرفی می شوند. هر تکرار به صورت مستقل از تکرار قبل اجرا می شود، ولی در همه تکرارها پارامترها و معیارها یکسان هستند.

تعداد تکرار الگوریتم: در پیدا کردن راه حل بهینه مؤثر است و میزان آن از یک مقدار بالا، برای مثال ۱ میلیون شروع می شود و سپس می تواند تا مقادیر بالاتر افزایش یابد. باید توجه داشت تعداد تکرارهای الگوریتم با تعداد تکرارها در هر بار اجرای نرم افزار متفاوت است. در حقیقت در هر بار اجرای نرم افزار به تعداد تکرارهای تعیین شده راه حل بهینه ارائه می شود، که هر راه حل بهینه خود نتیجه چندین بار تکرار الگوریتم است. همین قابلیت تکرارهای متوالی و بسیار زیاد از مزایای این روش است.

موقعیت یگان: تعیین کننده وضعیت یگان در فرایند انتخاب شبکه حفاظتی جدید است. بر این اساس حضور هر یک از یگان‌ها در شبکه حفاظتی نهایی می تواند تصادفی باشد (ارزش ۰ و ۱)، حضور یگان در تمامی تکرارها الزامی باشد (ارزش ۲) و یا یگان در هیچ یک از تکرارها انتخاب نشود (ارزش ۳).

حوزه‌های آبخیز بزرگتر از ۵۰ هکتار تهیه شد. در نتیجه کل منطقه به ۱۹۸۶۵ حوزه آبخیز تقسیم شد.

نقشه مناطق تحت حفاظت موجود

این نقشه زمانی استفاده می شود که کاربر تمایل دارد مناطق تحت حفاظت جدید در مجاورت مناطق تحت حفاظت موجود انتخاب شوند. در این پژوهش از مناطق چهارگانه تحت حفاظت سازمان حفاظت محیط زیست استان مازندران استفاده شد. به این منظور، لایه‌های رستری این مناطق در نرم افزار ایدرسی تایگا با یکدیگر ادغام شدند و به صورت یک لایه رستری بولین درآمدند. این مناطق ۵۱۸.۶۸۸/۳۶ هکتار، معادل ۲۰/۵۸ درصد سطح استان را پوشش می دهند.

۳.۲. اولویت بندی مناطق مناسب حفاظت

در این پژوهش برای اولویت بندی از الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی شده تحت نرم افزار Marxan استفاده شد. Marxan یک ابزار پشتیبان تصمیم گیری را به منظور طرح ریزی سیستم‌های حفاظتی ارائه می کند که الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی شده را برای بهینه سازی فرایند انتخاب و چینش فضایی لکه‌های مناسب حفاظت استفاده می کند (Ardron et al, 2008; Game & Grantham, 2008; Pattison et al, 2004). Marxan برای اجرا نیاز به تنظیم تعدادی پارامتر دارد. تعدادی از این پارامترها عبارتند از:

هزینه یگان: مقدار هزینه‌ای است که در صورت انتخاب یگان به عنوان تحت حفاظت، به تابع هدف اضافه می شود و هزینه نهایی انتخاب منطقه را افزایش می دهد. در این پژوهش، مساحت کل یگان‌های انتخاب شده برای حفاظت به عنوان هزینه انتخاب منطقه در نظر گرفته شده است و Marxan تلاش می کند آن را به حداقل برساند.

هدف حفاظتی: حداقل مقداری از هر معیار است که باید حفاظت شود. این اهداف ممکن است بر پایه اهداف زیست‌شناختی (تحلیل زیست‌مندی جمعیت)، قوانین سیاسی و یا ارزش‌های اجتماعی تعیین شوند. در غیاب هرگونه اهداف تجربی، اهدافی به منظور اهداف توصیفی به کار گرفته می شوند (Pearce et al., 2008). در اغلب مطالعات انجام شده، اشاره شده است، درصد

1. Boundary Length Modifier
2. Fragmentation

یگان‌های شامل مناطق تحت حفاظت موجود ارزش دو و به سایر یگان‌ها ارزش صفر تعلق می‌گیرد. این وضعیت موجب می‌شود یگان‌های شامل مناطق تحت حفاظت موجود در هر مرحله انتخاب شوند و حضور سایر یگان‌ها در شبکه حفاظتی جدید براساس تناسب آن‌ها تصادفی باشد. در این سناریو Marxan با هدف ۳۰ درصد، ۱۰۰ تکرار اجرای مدل، ۱۰ میلیون تکرار اجرای الگوریتم در هر تکرار مدل، نرخ کاهش درجه حرارت ۱۰۰۰، و با BLM‌های ۰، ۰/۰۱، ۱، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ اجرا شد.

سناریوی سوم: انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید بدون محدودیت

در این سناریو انتخاب یا عدم انتخاب تمام یگان‌ها در فرایند اجرای مدل در تمامی مراحل تصادفی است. در نتیجه احتیاجی به استفاده از لایه وضعیت نیست و به تمام یگان‌ها ارزش صفر تعلق می‌گیرد. در این سناریو Marxan با هدف ۳۰ درصد، ۱۰۰ تکرار اجرای مدل، ۱۰ میلیون تکرار اجرای الگوریتم در هر تکرار مدل، نرخ کاهش درجه حرارت ۱۰۰۰، و با BLM‌های ۰، ۰/۰۱، ۱، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ اجرا شد.

۶.۲. اجرای Marxan

با اجرای نرم‌افزار، الگوریتم مذب‌سازی شبیه‌سازی شده براساس یک تابع هدف اقدام به شناسایی بهترین مناطق برای دستیابی به اهداف حفاظتی می‌کند. در هر تکرار، یک یگان برنامه‌ریزی به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود. این یگان ممکن است از قبل در مجموعه تحت حفاظت وجود داشته باشد یا به مجموعه اضافه شود. سپس، تغییر تابع هزینه در مقابل اضافه‌کردن یا حذف این یگان به مجموعه ارزیابی می‌شود. تابع هدف به گونه‌ای تعریف شده است که پایین‌ترین مقادیر اولویت دارند. هدف کلی تابع هدف در این پژوهش، انتخاب حداقل مساحت ممکن از شبکه مناطق تحت حفاظت است به گونه‌ای که تمام اهداف حفاظتی در آن قابل دستیابی باشند. تابع هدف در Marxan به صورت رابطه ۱ است (Game & Grantham, 2008).

نرخ کاهش دما: از پارامترهای ویژه الگوریتم مذب‌سازی شبیه‌سازی شده است که در اغلب موارد به صورت پیش‌فرض ۱۰۰۰ در نظر گرفته می‌شود.

۴.۲. کالیبره کردن مدل

برای اغلب پارامترهای ذکر شده مقدار ویژه و معینی وجود ندارد. این پارامترها باید متناسب با داده‌های مدل تعیین شوند. برای این کار مدل حدود ۳۰ بار به‌طور اولیه و با مقادیر مختلف هر یک از پارامترها اجرا شد. برای کالیبره کردن هر پارامتر نتایج اجرای مدل با مقادیر مقادیر مختلف آن پارامتر، با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها، بررسی شد. در نتیجه، مقادیر هر پارامتر تعیین و مدل در سه سناریو به شرح زیر اجرا شد.

۵.۲. سناریوهای اجرای Marxan

در این پژوهش، پس از آماده‌کردن تمامی فایل‌های مورد نیاز، Marxan در سه سناریو اجرا شد.

سناریوی اول: ارزیابی کارایی مناطق تحت حفاظت موجود

در این سناریو کارایی مناطق تحت حفاظت موجود از لحاظ دستیابی به اهداف حفاظتی و بدون انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید بررسی شد. به این منظور، در فایل وضعیت یگان، به یگان‌های شامل مناطق تحت حفاظت موجود ارزش دو و به سایر یگان‌ها ارزش سه تعلق می‌گیرد. این وضعیت موجب می‌شود در هر مرحله یگان‌های شامل مناطق تحت حفاظت موجود انتخاب شوند و هیچ یگانی به آن‌ها اضافه نشود. در این سناریو هدف حفاظت حداقل ۳۰ درصد هر معیار حفاظتی در نظر گرفته شد. سایر پارامترهای اجرای Marxan در این مورد اهمیت ندارند، زیرا این پارامترها زمانی اهمیت دارند که هدف انتخاب مناطق جدید باشد (Eastman, 2009).

سناریوی دوم: انتخاب مناطق حفاظتی جدید با شرط وجود مناطق تحت حفاظت موجود

در این سناریو هدف انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید در جهت تکمیل مناطق تحت حفاظت موجود است. به این منظور، در فایل وضعیت یگان‌ها، به

$$\sum_{Pus} \text{هزینه} + \underbrace{BLM \sum_{Pus} \text{مرز}}_3 + \underbrace{\sum_{ConValue} SPF * \text{جریمه}}_4 + \text{جریمه هزینه آستانه} \quad \text{رابطه (۱)}$$

۱. مجموعه هزینه‌های تعریف شده برای هر یک از یگان‌های برنامه‌ریزی

۲. جریمه دست‌نیافتن به اهداف حفاظتی

۳. هزینه تکه‌تکه‌شدگی لکه‌های انتخاب شده، به صورت طول مرز مؤثر بین یگان‌های برنامه‌ریزی

۴. جریمه افزایش هزینه کل به بالاتر از حد آستانه مطلوب (بر این اساس با افزایش هزینه به بالاتر از حد آستانه تعیین شده، یک هزینه اضافی به تابع هدف افزوده می‌شود. در این پژوهش این پارامتر در نظر گرفته نشده است)

۳. نتایج

۱.۳. نتایج سناریوی اول: ارزیابی کارایی مناطق

تحت حفاظت موجود

در این سناریو کارایی مناطق تحت حفاظت موجود با توجه به هدف حفاظت ۳۰ درصد هر یک از معیارهای حفاظتی، بدون انتخاب مناطق جدید، بررسی شد. نتایج نشان داد مناطق تحت حفاظت موجود تنها در برآورد هدف حفاظتی ۸ معیار شامل: مناطق مناسب پراکنش شاهین‌سانان و جغدسانان، مناطق مناسب پراکنش سایر پرندگان، تپ‌های جنگلی شمشاد، ممرز-راش، لور-بلندمازو، سرو شیراز، انجیلی و بلندمازو - ممرز موفق بوده‌اند و در رسیدن به هدف حفاظتی ۳۰ معیار دیگر ناتوان هستند.

۲.۳. نتایج سناریوی دوم: انتخاب مناطق حفاظتی

جدید با شرط وجود مناطق تحت حفاظت موجود

این سناریو با هدف حفاظت ۳۰ درصد هر معیار حفاظتی و انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید برای تکمیل شبکه حفاظتی موجود اجرا شد. با هر بار اجرای Marxan تحت BLM های مختلف یک راه حل نهایی تولید می‌شود. این راه حل‌ها شامل یک نقشه اولویت‌بندی و یک نقشه بهترین لکه‌های مناسب

داده شده است.

در نتیجه بررسی چشمی در نهایت $BLM=70$ به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. نتایج حاصل از این BLM در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. در نقشه‌های اولویت‌بندی ارزش‌ها نشان‌دهنده تعداد دفعات انتخاب یگان در کل ۱۰۰ تکرار است و با افزایش آن اولویت یگان برای حفاظت افزایش می‌یابد. سپس، Marxan از میان یگان‌ها، یگان‌هایی را که بیشترین تعداد دفعات انتخاب را داشته‌اند به‌عنوان مناطق دارای اولویت بالای حفاظتی انتخاب می‌کند.

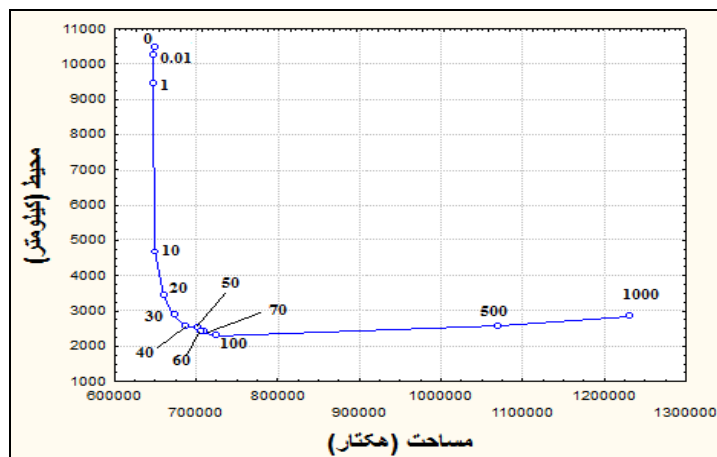
۳.۳. نتایج سناریوی سوم: انتخاب مناطق تحت

حفاظت جدید بدون محدودیت

این سناریو با هدف حفاظت ۳۰ درصد هر معیار حفاظتی اجرا شد و تمامی یگان‌های برنامه‌ریزی وضعیت مشابه برای انتخاب دارند. حضور مناطق تحت

محیط در برابر مساحت برای هر BLM در نرم‌افزار Statistica ترسیم شد. این نمودار برای این سناریو در شکل ۴ نشان داده شده است.

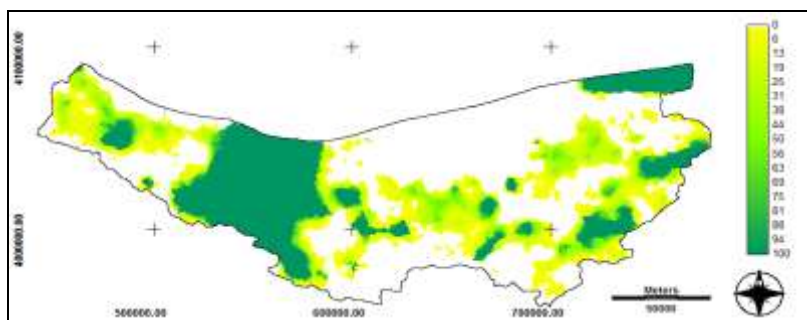
حفاظت موجود در این سناریو الزامی نیست و وابسته به مطلوبیت آن‌هاست. در این سناریو نیز برای پیدا کردن بهترین نتایج بین BLM های مختلف نمودار



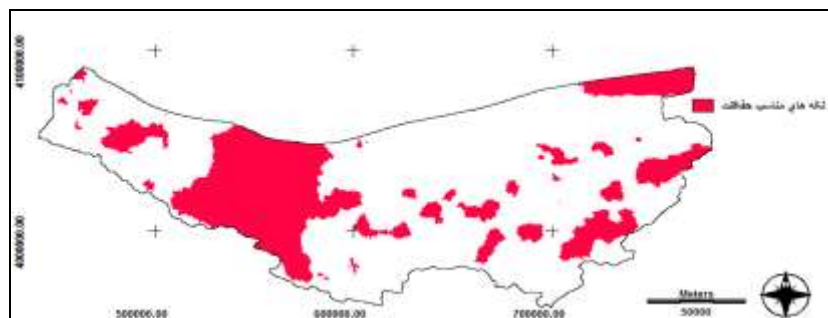
شکل ۱. رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLM های مختلف در سناریوی دوم

جدول ۱. مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت انتخاب شده در سناریوی دوم

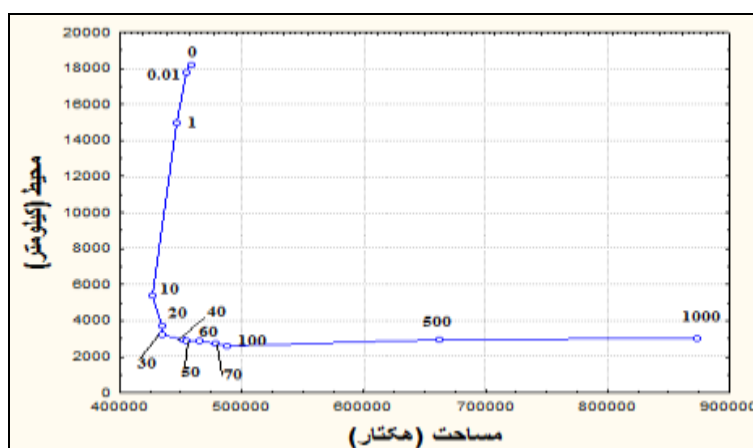
درصد پوشش استان	محیط (کیلومتر)	مساحت (هکتار)	BLM
۲۵/۷۱	۱۰.۲۷۸/۲۹	۶۴۷.۷۰۷/۴۱	۰
۲۵/۷۲	۱۰.۵۰۴/۷۹	۶۴۸.۰۶۸/۴۹	۰/۰۱
۲۵/۶۷	۹.۴۶۶/۰۷	۶۴۶.۷۸۰/۵۰	۱
۲۵/۷۶	۴.۶۸۶/۵۹	۶۴۹.۰۵۸/۵۸	۱۰
۲۶/۲۲	۳.۴۳۲/۸۳	۶۶۰.۵۵۳/۲۹	۲۰
۲۶/۶۸	۲.۸۹۰/۴۹	۶۷۲.۳۵۶/۱۶	۳۰
۲۷/۲۴	۲.۵۸۶/۵۹	۶۸۶.۳۱۰/۳۰	۴۰
۲۷/۸۶	۲.۵۲۲/۷۵	۷۰۱.۹۸۱/۸۲	۵۰
۲۸/۱۳	۲.۴۳۶/۵۳	۷۰۸.۸۰۹/۶۷	۶۰
۲۸/۰۰	۲.۴۰۷/۲۵	۷۰۵.۶۰۶/۴۰	۷۰
۲۸/۷۲	۲.۳۰۳/۷۵	۷۲۳.۵۸۱/۵۵	۱۰۰
۴۲/۵۰	۲.۵۶۴/۹۹	۱۰۷۰.۶۵۳/۰۵	۵۰۰
۴۸/۸۵	۲.۸۴۷/۶۵	۱۲۳۰.۶۶۱/۲۶	۱۰۰۰



شکل ۲. اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با BLM=۷۰ در سناریوی دوم



شکل ۳. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با $BLM=70$ در سناریوی دوم



شکل ۴ رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLMهای مختلف در سناریوی سوم

تحت حفاظت منتخب در هر BLM در جدول ۲ نشان داده شده است.

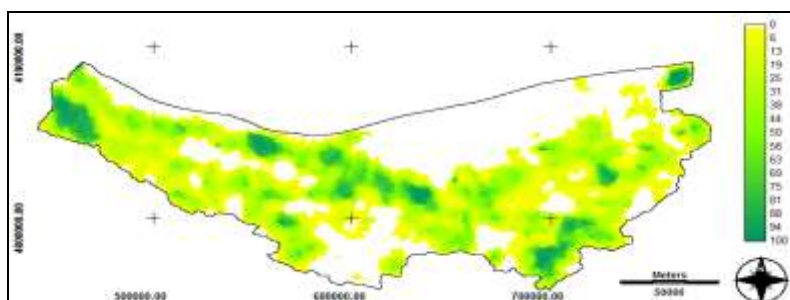
همان گونه که مشخص است، نسبت محیط به مساحت در BLMهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ نسبت به سایر مقادیر وضعیت بهتری دارد. مشخصات شبکه مناطق

جدول ۲. مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت انتخاب شده در سناریوی سوم

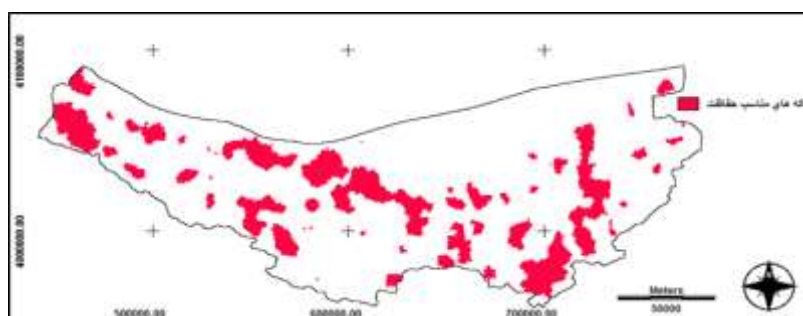
BLM	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	در صد پوشش سطح استان	در صد هم پوشانی با مناطق تحت حفاظت موجود
۰	۴۵۷.۸۸۲/۳۸	۱۸.۱۸۳/۵۹	۱۸/۱۷	۲۵/۰۷
۰/۰۱	۴۵۴.۷۲۷/۳۷	۱۷.۷۴۲/۹۵	۱۸/۰۵	۲۵/۰۴
۱	۴۴.۶۴۹۴/۵۹	۱۴.۹۶۹/۵۷	۱۷/۷۲	۲۴/۷۴
۱۰	۴۲۶.۷۱۲/۶۸	۵.۳۸۳/۱۹	۱۶/۹۳	۲۴/۳۴
۲۰	۴۳۴.۹۰۴/۳۰	۳.۶۷۷/۳۳	۱۷/۲۶	۲۲/۳۸
۳۰	۴۳۴.۹۴۸/۴۹	۳.۲۰۹/۰۹	۱۷/۲۶	۱۹/۳۳
۴۰	۴۵۲.۲۷۲/۶۸	۲.۹۴۸/۸۷	۱۷/۹۵	۲۵/۸۶
۵۰	۴۵۵.۰۲۹/۸۳	۲.۸۵۶/۴۷	۱۸/۰۶	۲۲/۳۵
۶۰	۴۶۴.۴۷۴/۴۳	۲.۸۵۴/۰۷	۱۸/۴۳	۲۴/۱۷
۷۰	۴۷۷.۷۲۲/۱۶	۲.۷۴۱/۶۹	۱۸/۹۶	۲۳/۲۱
۱۰۰	۴۸۸.۲۱۵/۸۹	۲.۵۹۲/۷۱	۱۹/۳۸	۲۷/۱۲
۵۰۰	۶۶۲.۲۳۱/۸۸	۲.۹۳۴/۲۹	۲۶/۲۸	۲۸/۳۹
۱۰۰۰	۸۷۳.۱۹۳/۳۲	۳.۰۱۸/۷۱	۳۴/۶۶	۱۸/۲۸

BLM در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

در نتیجه بررسی چشمی در نهایت $BLM=60$ به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. نتایج حاصل از این



شکل ۵. اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با $BLM=60$ در سناریوی سوم



شکل ۶. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با $BLM=60$ در سناریوی سوم

پرنندگان، تیپ‌های جنگلی شمشاد، ممرز-راش، لور-بلندمازو، سرو شیراز، انجیلی و بلندمازو-ممرز موفق بوده‌اند و در رسیدن به هدف حفاظتی ۳۰ معیار دیگر ناتوان هستند. این نتایج نشان می‌دهند شبکه مناطق تحت حفاظت موجود کارایی مناسبی از لحاظ دستیابی به اهداف ندارند. از این نظر (Momeni (2011) به نتایج مشابهی در استان گلستان رسید و نشان داد مناطق موجود تنها در حفاظت ۳ گونه از میان ۹ گونه معرفی‌شده برای حفاظت موفق هستند. همچنین Jenkins و همکاران (2010) به نتایج مشابهی رسیدند. گونه‌های پستانداران استفاده شده در این پژوهش همگی جزء گونه‌های تهدیدشده و حمایت شده در سطح کشور هستند. باین‌حال، زیستگاه بالقوه مطلوب هیچ یک از آن‌ها به‌طور کافی در مناطق موجود حفاظت نشده است. این نتایج اهمیت اصلاح مرز مناطق تحت حفاظت موجود و انتخاب مناطق جدید را روشن می‌سازند. بنابراین، در مرحله بعد برای انتخاب مناطق جدید برای حفاظت معیارها اقدام شد.

در سناریوی دوم با شرط وجود مناطق تحت

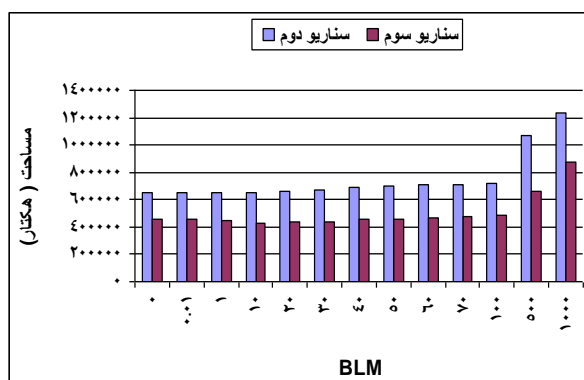
۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده برای بررسی کارایی مناطق تحت حفاظت موجود و اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت در استان مازندران بررسی شده است. هدف اصلی انتخاب مناسب‌ترین شبکه مناطق تحت حفاظت با حداقل مساحت ممکن است، به گونه‌ای که نماینده جامعی از تنوع زیستی منطقه باشد. به این منظور، زیستگاه بالقوه ۸ گونه پستاندار، مناطق مناسب پراکنش ۴ گروه پرنده و ۲۶ تیپ پوشش جنگل به‌عنوان جانشین‌های تنوع زیستی و معیارهای انتخاب مناطق تحت حفاظت استفاده شدند. این روش توسط نرم‌افزار Marxan و تحت سناریوهای مختلف اجرا شد. در سناریوی اول کارایی مناطق تحت حفاظت موجود در رسیدن به هدف حفاظت ۳۰ درصد هر یک از معیارهای حفاظتی بررسی شد. نتایج نشان داد مناطق تحت حفاظت موجود تنها در برآورد هدف حفاظتی ۸ معیار شامل: مناطق مناسب پراکنش شاهین‌سانان و جغدسانان، مناطق مناسب پراکنش سایر

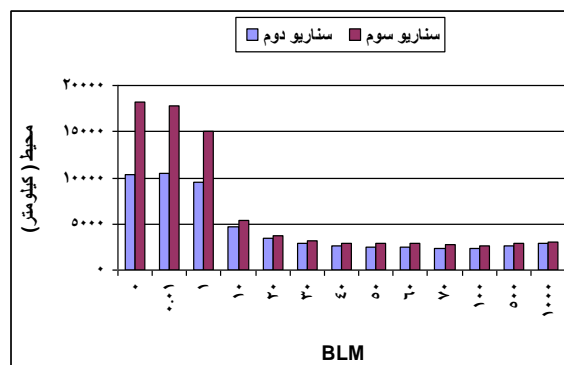
بهترین حالت ($BLM=60$) باید $464.474/43$ هکتار، معادل $18/43$ درصد سطح استان حفاظت شود. از این مقدار تنها $24/17$ درصد آن با مناطق تحت حفاظت موجود هم‌پوشانی دارد. این نتایج نشان‌دهنده بهینه‌نبودن مناطق تحت حفاظت موجود از لحاظ دستیابی به اهداف این پژوهش است. پژوهش‌های Pearce و همکاران (2008) و Leslie و همکاران (2003) نیز نتایج مشابهی را نشان دادند. نتایج آن‌ها اثبات کرد مناطق انتخاب‌شده به صورت سیستماتیک هم‌پوشانی کمی با مناطق حفاظت‌شده موجود دارد.

در این پژوهش سناریوهای مختلف تحت مقادیر متفاوت BLM اجرا شدند. نتایج نشان دادند رسیدن به اهداف حفاظتی در مجموعه‌ای از مناطق تحت حفاظت با درجات متفاوتی از پراکندگی و تکه‌تکه‌شدگی امکان‌پذیر است. مقادیر محیط و مساحت شبکه‌های منتخب در سناریوهای دوم و سوم در BLM های مختلف در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شد.

حفاظت موجود، اقدام به انتخاب لکه‌های مناسب حفاظت برای تکمیل شبکه حفاظتی موجود شد. نتایج نشان دادند برای حفاظت ۳۰ درصد هر یک از معیارها، در بهترین حالت $705.606/4$ هکتار، معادل 28 درصد از سطح استان باید حفاظت شود. مساحت مناطق تحت حفاظت موجود در استان $518.688/36$ هکتار، معادل $20/58$ درصد سطح استان است. بر این اساس، نیاز است حدود $186.918/04$ هکتار به سطح مناطق فعلی اضافه شود. در سناریوی سوم بدون در نظر گرفتن مناطق تحت حفاظت موجود، منطقه با هدف حفاظت ۳۰ درصد هر معیار اولویت‌بندی شد و بهترین لکه‌ها برای حفاظت معرفی شدند. نتایج اجرای روش در سیزده مقدار متفاوت BLM نشان داد $16/93$ تا $34/66$ درصد از سطح استان نیاز است حفاظت شود. همچنین، شبکه‌های حفاظتی منتخب تحت BLM های مختلف، از $18/28$ تا $28/39$ درصد با مناطق تحت حفاظت موجود هم‌پوشانی دارند. پس از بررسی نتایج مشخص شد در



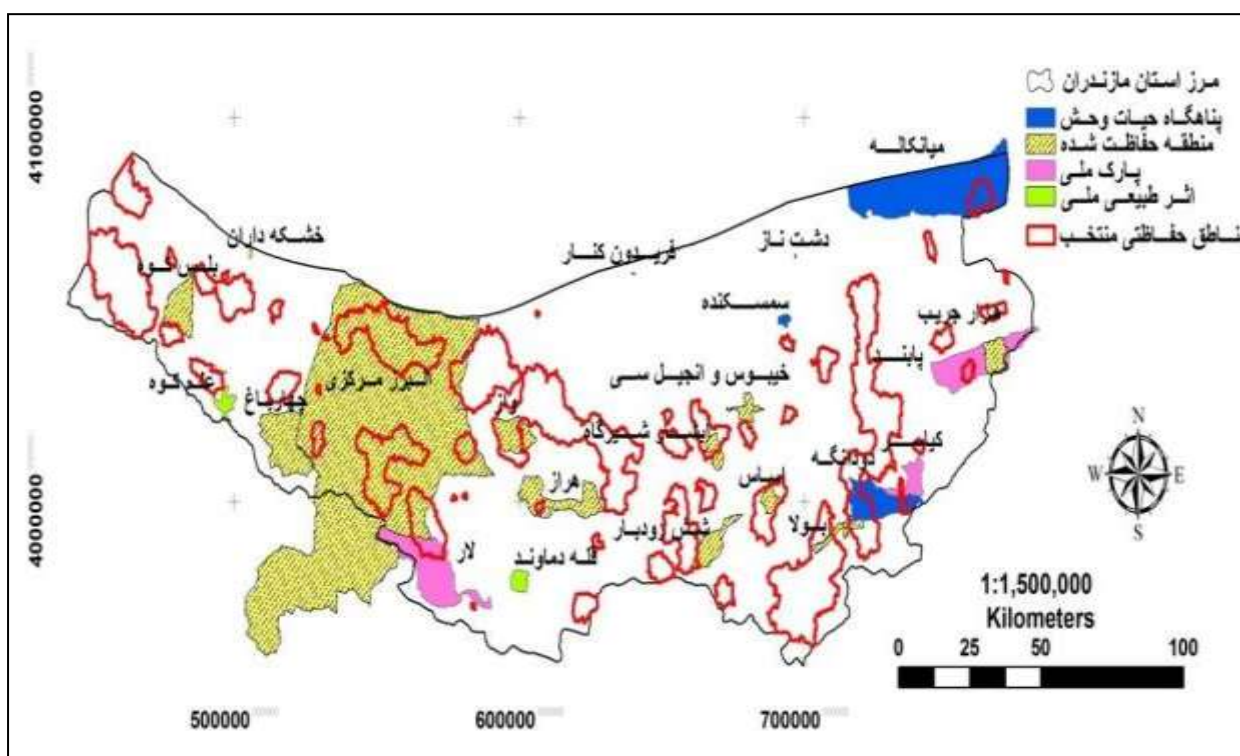
شکل ۷. مقادیر متفاوت محیط لکه‌های حفاظتی منتخب در BLM های مختلف



شکل ۸. مقادیر متفاوت مساحت لکه‌های حفاظتی منتخب در BLM های مختلف

موجودات و انتقال مواد و همچنین مدیریت مناطق را تسهیل می‌کنند (Leslie et al, 2003). همان طور که گفته شد، یک روش مناسب در تعیین میزان BLM روش ارائه شده توسط Stewart و Possingham (2005) است. مطابق این روش، بهترین BLM مقداری است که بهترین تعادل را بین محیط و مساحت شبکه حفاظتی تحت حفاظت موجود از لحاظ دستیابی به اهداف این پژوهش، نقشه پراکنش این مناطق با نقشه لکه‌های حفاظتی منتخب در سناریوی سوم و $BLM=60$ بررسی شد. نتایج در شکل ۹ ارائه شده است.

همان گونه که مشخص است، با افزایش BLM مساحت شبکه حفاظتی در هر دو سناریو افزایش می‌یابد. برعکس، محیط شبکه حفاظتی با افزایش BLM کاهش می‌یابد. مناطق با فشردگی بیشتر گرایش به محیط کمتر ولی مساحت بیشتر دارند. مشابه این نتایج، نتایج پژوهش Klein و همکاران (2009) در سه مقدار متفاوت BLM نشان داد با افزایش این پارامتر از صفر تا یک مساحت لکه‌های منتخب افزایش و تکه‌تکه‌شدگی آن‌ها کاهش می‌یابد. مناطق فشرده‌تر و با تکه‌تکه‌شدگی کمتر از لحاظ بوم‌شناختی و اجتماعی-سیاسی بیشتر قابل قبول هستند. این مناطق جابه‌جایی



شکل ۹. مقایسه مناطق تحت حفاظت منتخب در سناریوی سوم و $BLM=60$ با مناطق تحت حفاظت موجود در استان مازندران

می‌توان خلاءهای حفاظتی موجود را شناسایی و مناطقی برای تکمیل این خلاءها معرفی کرد. پیشنهاد می‌شود از نتایج این پژوهش برای اصلاح مرز مناطق تحت حفاظت موجود در استان در رابطه با پراکنش گونه‌های جانوری و گیاهی مهم استفاده شود. افزایش محدوده مناطق تحت حفاظت موجود و اصلاح مرز آن‌ها با نتایج می‌تواند سبب بهبود وضعیت حفاظتی گونه‌های گیاهی و جانوری منطقه شود. همچنین براساس یافته‌های این پژوهش و همچنین مطالعات

همان گونه که در شکل مشخص است، تعداد زیادی از مناطق منتخب در خارج از محدوده پراکنش مناطق تحت حفاظت موجود قرار دارند. این مناطق باید به‌منظور حفاظت گونه‌های گیاهی و جانوری منطقه حفاظت شود. بررسی نتایج سناریوهای حفاظتی مختلف نشان داد شبکه مناطق چهارگانه تحت حفاظت سازمان محیط‌زیست در استان مازندران از لحاظ دستیابی به اهداف حفاظتی این پژوهش کارایی مناسبی ندارد. با استفاده از نتایج حاصل از این پژوهش

متفاوت شود. بررسی تأثیر یگان‌های برنامه‌ریزی با شکل‌ها و اندازه‌های مختلف می‌تواند به شناسایی نتایج بهتر کمک کند. در این پژوهش براساس داده‌های موجود و محدودیت زمانی تعدادی از معیارها به‌عنوان نماینده سایر معیارهای حفاظتی انتخاب شدند. کاربرد معیارهای بیشتر و جدیدتر مثل خدمات اکوسیستم می‌تواند کمک زیادی به شناسایی مناطق مناسب حفاظت کند. مسئله مهمی که اخیراً در طرح‌ریزی مناطق تحت حفاظت مورد توجه قرار گرفته است بحث کالاها و خدمات اکوسیستم حاصل از سیستم‌های بوم‌شناختی است (Naidoo et al, 2008). خدمات اکوسیستم دربرگیرنده سودهایی هستند که انسان از اکوسیستم به دست می‌آورد، مانند سوخت چوب، تصفیه آب، تجزیه و ذخیره کربن، تولید چراگاه برای دام و تفرج که در نهایت حمایت‌کننده رفاه انسان هستند (Egoh et al, 2007). به‌رغم اهمیت خدمات اکوسیستم برای رفاه انسان‌ها عرضه پیوسته این خدمات توسط فعالیت‌های انسانی ناپایدار در معرض تهدید قرار گرفته است (Naidoo et al, 2008).

قبلی، در راستای بهبود نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری درخصوص پراکنش گونه‌های پستانداران مهم منطقه و تعیین نقشه‌های پراکنش آن‌ها انجام شود. در این پژوهش به‌دلیل وجودنداشتن اطلاعات حضور پستانداران، از روش‌های فازی برای بررسی زیستگاه بالقوه آن‌ها استفاده شد. جمع‌آوری اطلاعات از حضور این گونه‌ها می‌تواند سبب بهبود نتایج شود. علاوه بر این، در این پژوهش به‌علت محدودیت زمانی و تعداد زیاد گونه‌ها به نقاط حضور گونه‌ها برای مدل‌سازی مناطق پراکنش پرندگان اکتفا شد. بررسی شرایط زیستگاهی مناسب پراکنش پرندگان جهت مدل‌سازی زیستگاه آن‌ها در کنار نقاط حضور گونه‌ها می‌تواند سبب بهبود هرچه بیشتر نتایج شود. همچنین گروه‌بندی پرندگان به سایر گروه‌ها مانند جنگلی، آبی، مرتعی، استپی نیز می‌تواند نتایج متفاوتی را ارائه کند. در این پژوهش از آبخیزها به‌عنوان یگان برنامه‌ریزی استفاده شد. علاوه بر آبخیز، سایر شکل‌های یگان برنامه‌ریزی مانند شبکه‌های سلولی مربع یا شش‌وجهی می‌تواند موجب ارائه نتایج

REFERENCES

1. Ardron, J. A., Possingham, H. P., Klein, C. J. (2008). *Marxan Good Practices Handbook*. External review version, 17 May, 2008. Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, BC, Canada. 155 pp, viewed 10 December 2010, www.pacmara.org
2. Eastman, J. R. (2009). *IDRISI Taiga tutorial*. 316 P.
3. Egoh, B., Rouget, M., Reyers, B., Knight, A. T., Cowling, R. M., Jaarsveld, A. S. V., Welz, A. (2007). Integrating ecosystem services into conservation assessments: A review, *Ecological Economics*, 63(4): 714- 721.
4. Game, E. T. H. S. Grantham. (2008), *Marxan User Manual: For Marxan version 1.8.10*. University of Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia, and Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, British Columbia, Canada, viewed 10 December 2010, www.ecology.uq.edu.au/marxan.htm
5. Giakoumi, S., Grantham, H. S., Kokkoris, G. D. Possingham, H. P. (2010). Designing a network of marine reserves in the Mediterranean Sea with limited socio-economic data, *Biological Conservation*, 144 (2): 753- 763.
6. Jenkins, C. N., Alves, M. A. S. Pimm, S. L. (2010). Avian conservation priorities in a top-ranked biodiversity hotspot, *Biological Conservation*, 143(4): 992- 998.
7. Klein, C. J., Wilson, K. A., Watts, M., Stein, J. Carwardine, J., Mackey, B. Possingham, H. P. (2009). Spatial conservation prioritization inclusive of wilderness quality: A case study of Australia's biodiversity, *Biological Conservation*. 142(7): 1282-1290.
8. Kurihara, K. IshioKa, F. (2008) *Statistical Approach for Environmental Problems based on Spatial structure*. Department of mathematics, Hokkaido university. 10pp.

- http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/34730?mode=simple
9. Leslie, H., Ruckelshaus, M., Ball, I. R., Andelman, S., Possingham, P. H. (2003). Using siting algorithms in the design of marine reserve networks. *Ecological Applications*: 13(1): s185-s198.
 10. Madjnoonian, H. (2000) a. National parks and protected areas (values, function & characteristics). Department of the Environment I.R. IRAN. 480 pp.
 11. Madjnoonian, H. (2000) b. Protected areas of IRAN (principles & conservation and management of protected areas). Department of the Environment I.R. IRAN. protection organization. 742 pp.
 12. Margules, C. R., Pressy, R. L., Williams, p. H. (2002). Representing biodiversity: data and Procedures for identifying priority areas for conservation. *J. Biosci.* 27(4). PP: 309-326.
 13. Margules, C. R. Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning, *nature*, 405(6783): 243-253.
 14. Mehri, A. (2012). Using artificial intelligence for prioritization of protected areas (case study: Mazandaran province). M.Sc. thesis in environmental sciences. Gorgan University of agricultural Sciences and natural resources. College of Fisheries and environmental sciences. 200 PP.
 15. Mehri, A., Salmanmahiny, A. R., Mirkarimi, H., Rezaei, H. R. (2012). Investigation of potential mammals habitat based on multi-criteria evaluation for landuse planning in Mazandaran province. The 2nd National Iranian conference on Environmental planning and management. Tehran. Iran.
 16. Mehri, A., Salmanmahiny, A. R., Mirkarimi, H., Rezaei, H. R. (2012). Analysis of The Spatial Distribution of Bird Species Richness In Mazandaran Province Using Echelon Analysis. 2nd international conference and exhibition on mapping and spatial information and 19th national geomatics conference. Tehran. Iran.
 17. Momeni, I. (2011). Systematic selection of conservation areas for Golestan province using simulated annealing. M.Sc. thesis in environmental science. University of Tehran. Faculty of natural resources. 140 PP.
 18. Myers, W. L., Patil, G. P. Joly, K. (1997), Echelon approach to areas of concern in synoptic regional monitoring. *Environmental and Ecological Statistics*, 4(2): 131-152.
 19. Myers, W.L. Patil, G. P. (2002). Echelon analysis, *Encyclopedia of Environmetrics*, Volme 2: 583-586.
 20. Naidoo, R., Balmford, A., Costanza, R., Fisher, B., Green, R. E., Lehner, B., Malcolm, T. R. Ricketts, T.H. (2008). Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *PNAS*, 105(28): 9495-9500.
 21. Patil, G. P., Bishop, J. A., Myers, W.L., Taillie, C., Varney, R. Wardrop, D. (2004). Detection and delineation of critical areas using Echelons and spatial scan statistics with synoptic cellular data. *Environmental and Ecological Statistics* 11(2): PP. 139- 164.
 22. Pattison, D., Dosreis, D. Smillie, H. (2004), An inventory of GIS-Based Decision-Support Tools for MPAs. Prepared by the National Marine Protected Areas, 16 pp, viewed 10 December 2010, www.pacmara.org.
 23. Pearce, J. L., Kirk, D. A., Lane, C. P., Mahr, M. H., Walmsley, J., Casey, D., Muir, J. E., Hannon, S., Hansen, A. Jones, K. (2008), Prioritizing avian conservation areas for the Yellowstone to Yukon Region of North America, *Biological Conservation*, 141 (4): 908-924.
 24. Pressey, R. L., Possingham, H. P. Margules, C. R. (1996), Optimality in reserve selection algorithms: when does it matter and how much? *Biological Conservation*, 76 (3): 259-267.
 25. Pressey, R.L. (2002). The first reserve selection algorithm. *Progress in Physical Geography*, 26(3): 434-441.
 26. Rezaei, H. R., Rabiei, K., Bathaei, M., Khani, A., Ghasemi, M. Nezami, B. (2010). A survey on the bird fauna of the Mazandaran province. Mazandaran environment head office.
 27. Salman Mahini, A. 2009. Fundamentals of environmental protection. Golestan environment head office. 337 pp.
 28. Salman Mahini, A. Kamyab. H., (2010). Applied remote sensing and GIS with Idrisi. (Translated). Eastman, J. R. Golestan environment head office. 582 pp.
 29. Sarkar, S. Margules, C. (2002). Operationalizing biodiversity for conservation planning. *BioScience*. 27(4): pp:299-308.
 30. Singh, J. S. (2002), The biodiversity crisis: A multifaceted review, *Current Science*, 82(6): 638-647.
 31. Statistical yearbook of Mazandaran province. 2010. 899 pp.

-
32. Stewart, R. R. Possingham, H. P. (2005). Efficiency, costs and trade-offs in marine reserve system design. *Environmental Modeling and Assessment*, 10(3): 203-213.
33. Store, R., Kangas, J (2001). "Integrating Spatial Multi-Criteria Evaluation and Expert Knowledge for GIS-based Habitat Suitability Modeling." *Landscape and Urban Planning* 55(2): 79-93.
34. Wells, W. R. (2007). Conservation planning across boundaries: using the Marxan site selection tool to find forest conservation opportunities over a range of jurisdictions in southeastern british Columbia. *Proceedings of the Sixth International Conference of Science and the Management of Protected Areas*. Available <http://www.sampaa.org/publications>.
35. Wiersma, Y. F. Nudds, T. D. (2006). conservation targets for viable species assemblages in Canada: are percentage targets appropriate? *Biodiversity and conservation*. 15(14): 4555-4567.