

استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده برای اولویت‌بندی سیستماتیک مناطق حفاظت‌شده در استان البرز ایران

- سرور اسفنده*: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، صندوق پستی: ۴۱۱۱
- محمد کابلی: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، صندوق پستی: ۴۱۱۱
- لیلا اسلامی: مرکز تحقیقاتی آینده محیط‌زیست، دانشگاه گرفت، کوئینزلند، استرالیا

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۵

چکیده

با توجه به اهمیت و لزوم حفظ تنوع‌زیستی برای حفاظت از تنوع زیستگاه‌ها و جمعیت‌های حیات‌وحش باید به انتخاب مناطق نمونه و معرف از کل طبیعت پرداخت. هدف این مقاله اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت در استان البرز و انتخاب مناسب‌ترین لکه‌ها برای حفاظت با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده در قالب نرم‌افزار Marxan است. به این منظور از هشت معیار حفاظتی شامل زیستگاه بالقوه پنج گونه پستاندار، جامعه خزندگان، جامعه پرندگان شکاری و جامعه پرندگان آبی و کنار آبی استان البرز استفاده شده است و نتایج با الگوریتم‌های ابتکاری حریص (greedy) و نادر (rarity) مقایسه شده است. برای مدل‌سازی زیستگاه بالقوه این گونه‌ها از روش حداکثر آنتروپی تحت نرم‌افزار MaxEnt استفاده شده است. هدف انتخاب یک شبکه حفاظتی است که به ترتیب ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد هر معیار را حفاظت کند. در این مطالعه پنج سناریو حفاظتی معرفی شد و بررسی نتایج سناریوهای مختلف حفاظتی نشان داد که منطقه حفاظت‌شده موجود در استان البرز از لحاظ دستیابی به اهداف حفاظتی کارایی مناسبی را ندارد و فقط هدف حفاظتی چهار معیار از هشت معیار انتخاب شده را برآورده می‌کند. در اغلب سناریوها هم‌پوشانی شبکه‌های حفاظتی منتخب با منطقه حفاظت‌شده موجود کم‌تر از ۴۹/۵ درصد بوده است. نتایج نشان می‌دهد که پارامترهای مختلفی از جمله اهداف حفاظتی تعیین شده، الگوریتم‌های مختلف و میزان فشردگی لکه‌های حفاظتی منتخب در فرایند اولویت‌بندی و انتخاب سیستماتیک مناطق تحت حفاظت دخالت دارند. از این رو با تعیین مقادیر مناسب برای این پارامترها، مقاله حاضر نشان داد که الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده نتایج قابل قبولی را در تمامی سناریوها در مقایسه با دو الگوریتم دیگر ارائه می‌کند و استفاده از آن به شناسایی بهترین لکه‌های حفاظتی در استان البرز کمک زیادی می‌کند.

کلمات کلیدی: انتخاب سیستماتیک مناطق تحت حفاظت، الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده، بهینه‌سازی، Marxan، حداکثر آنتروپی (MaxEnt)



مقدمه

مناطق حفاظت‌شده اغلب بر مبنای روش سیستماتیک انتخاب نشده‌اند و عمدتاً در مکان‌هایی قرار گرفته‌اند که نماینده تنوع زیستی منطقه مورد نظر نیستند (Margules و Sarkar، ۲۰۰۲). به‌طور عمده کاهش امکان استخراج منابع طبیعی از منطقه تحت حفاظت و وجود تعارض و تضاد با فعالیت‌هایی مانند توسعه شهری و تجاری، از مهم‌ترین دلایل این امر است. در انتخاب مناطق تحت حفاظت، فعالیت‌های اقتصادی و سیاسی نقش مهمی دارند و انتخاب آن‌ها در برخی موارد با ارزش‌های بوم‌شناختی آن‌ها در تعارض است. لذا بیش‌تر مناطق تحت حفاظت در مکان‌هایی می‌باشند که حداقل در زمان تأسیس خود دارای ارزش اقتصادی نبوده و از طرف دیگر بسیاری از گونه‌های موجود در سیمای سرزمین باتوان بالقوه اقتصادی، دارای حفاظت مناسب نمی‌باشند. وجود اهداف و دلایل مختلف برای حفاظت به این مفهوم که افراد با دیدگاه مختلف مکان‌های مختلفی را برای حفاظت حائز اهمیت در نظر می‌گیرند، از دیگر دلایل عدم وجود مناطق تحت حفاظت در مکان مناسب است (Margules و Pressy، ۲۰۰۰). با توجه به وجود چنین مسائلی بیش‌تر شبکه‌های مناطق تحت حفاظت در حفظ عناصر مهم تنوع زیستی کارایی لازم را نداشته و برای بهبود این موضوع روش‌های مختلفی برای طرح‌ریزی (Planning) پیشنهاد شده است (Smith و همکاران، ۲۰۰۶). طرح‌ریزی سیستماتیک مناطق تحت حفاظت یکی از روش‌های جدید در این زمینه است. طرح‌ریزی سیستماتیک مناطق تحت حفاظت، مکان‌یابی، طراحی و مدیریت مناطق تحت حفاظتی را شامل می‌شود که به‌طور جامع نماینده‌ایی از تنوع زیستی منطقه باشند (Ardron و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طور معمول در طرح‌ریزی سیستماتیک مناطق تحت حفاظت به‌منظور شناسایی شبکه‌های حفاظتی که در برگیرنده اهداف حفاظتی با کم‌ترین هزینه ممکن هستند از نرم‌افزارهای کامپیوتری استفاده می‌شود. نرم‌افزارهای طرح‌ریزی اغلب به‌منظور ورود، تحلیل و نمایش داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، اخیراً بسته‌های نرم‌افزاری شامل CLUZ (Conservation Land-Use Zoning software) ، Marxan with zone ، Marxan ، Cplan ، ConsNet و Zonation (Networks Conservation) توسعه داده شده است و با داشتن دانش پایه‌ای از نرم‌افزارهای سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، هر کاربر می‌تواند به‌خوبی از آن‌ها استفاده کند (Smith و همکاران، ۲۰۰۶). در زمینه انتخاب سیستماتیک مناطق تحت حفاظت، به‌منظور بهینه‌سازی فرایند انتخاب و چینش فضایی لکه‌های مناسب

حفاظت، انواع مختلفی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. الگوریتم‌های بهینه‌سازی به ۴ دسته الگوریتم‌های شمارشی، محاسباتی، ابتکاری و فرابابتکاری تقسیم می‌شوند. در این مقاله از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده از دسته الگوریتم‌های فرابابتکاری در قالب نرم‌افزار Marxan و برای مقایسه از الگوریتم‌های نادر و حریص از دسته الگوریتم‌های ابتکاری استفاده شده است. در سال‌های اخیر استفاده از نرم‌افزار Marxan برای انتخاب سیستماتیک مناطق حفاظت‌شده در مناطق خشکی و دریایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. Esfandeh و همکاران (۲۰۱۵a) و (۲۰۱۵b) به مرور مقالات در مورد کاربرد نرم‌افزار Marxan در انتخاب سیستماتیک مناطق حفاظت‌شده در مناطق دریایی و خشکی پرداخته‌اند. مومنی (۱۳۹۰) با استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار Marxan به شناسایی شبکه‌ای از مناطق تحت حفاظت در استان گلستان ایران پرداخت. در این پژوهش هدف، انتخاب شبکه‌ای از مناطق تحت حفاظت با کم‌ترین مساحت بود که حداقل ۲۰٪ از زیستگاه گونه‌های جانوری را پوشش دهد. مهری (۱۳۹۱) به‌منظور حفاظت از تنوع زیستگاه‌ها و جمعیت‌های حیات‌وحش به اولویت‌بندی مناطق مناسب و انتخاب مناسب‌ترین لکه‌ها برای حفاظت در استان مازندران پرداخت. Hermoso و همکاران (۲۰۱۵) با روش طراحی سیستماتیک مناطق حفاظت‌شده و با استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده به تعیین حداقل مناطق تحت حفاظت مورد نیاز برای افزودن به مناطق حفاظت‌شده موجود برای حفظ تنوع زیستی اکوسیستم‌های آب‌شیرین در پنیسولای لیبریا پرداختند. Junker و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از همین الگوریتم به شناسایی سیستماتیک و ارزیابی مناطق با اولویت حفاظتی برای حفاظت پستانداران بزرگ و تنوع زیستی در لیبریا تحت سناریوهای حفاظتی مختلف پرداختند. این مطالعه به ارزیابی مناطق حفاظت‌شده موجود با توجه به اهداف حفاظتی تعیین‌شده و پتانسیل تخریب و از دست رفتن حیات‌وحش و تنوع زیستی در خلال فعالیت‌های چوب‌بری و معدن‌کاری می‌پردازد. Zhang و همکاران (۲۰۱۴) به تعیین اولویت‌های مناطق حفاظتی برای حفظ تنوع زیستی با توجه به دخالت‌های انسانی در حوضه رود یانگ‌تسه پرداخته‌اند. برای تعیین مجموعه بهینه‌ای از مناطق با توجه به سه سناریوی هدف مختلف از نرم‌افزار Marxan استفاده شده است. Malcolm و همکاران (۲۰۱۲) به انتخاب زون‌های حفاظتی در یک پارک دریایی با هدف کاهش هزینه‌ها و برآورده کردن اهداف حفاظتی با استفاده از نرم‌افزار Marxan پرداخته‌اند.



بلدرچین، کبک دری، کبک، شاهین، عقاب و انواع گنجشک‌سانان دیده می‌شود. منطقه حفاظت‌شده موجود در حدود ۶۴۱۱۹ هزار هکتار است که معادل ۱۲/۵۱ درصد از کل مساحت استان البرز شامل می‌شود. در شکل ۲ نقشه تقسیمات سیاسی استان البرز دیده می‌شود. لازم به ذکر است که این مطالعه با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در سال ۱۳۹۴ انجام شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی استان البرز در ایران



شکل ۲: نقشه تقسیمات سیاسی استان البرز

پایگاه داده: برای تعیین سیستماتیک مناطق حفاظت شده با استفاده از نرم‌افزار Marxan در این مقاله نیاز به پایگاه داده مورد نیاز این نرم‌افزار می‌باشد. البته فاکتورهایی که در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند باید با توجه به نوع گونه‌ها انتخاب شوند. لذا بر این اساس ابتدا فاکتورهای محیط زیستی موثر بر پراکنش گونه‌ها با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مرور منابع، لایه‌های رقومی موجود و داده‌های میدانی استخراج و سپس با استخراج ضریب همبستگی، فاکتورهای با کم‌ترین تشابه برای هر گونه انتخاب شدند و سپس پایگاه داده مورد نیاز تهیه شد. این پایگاه داده نقشه‌های رقومی هستند که در نرم‌افزار ArcGIS ۹/۳ تهیه شده‌اند. در شکل ۳ این نقشه‌ها دیده می‌شوند. لازم به ذکر است که برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه هر گونه، تمام یا بخشی از این نقشه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

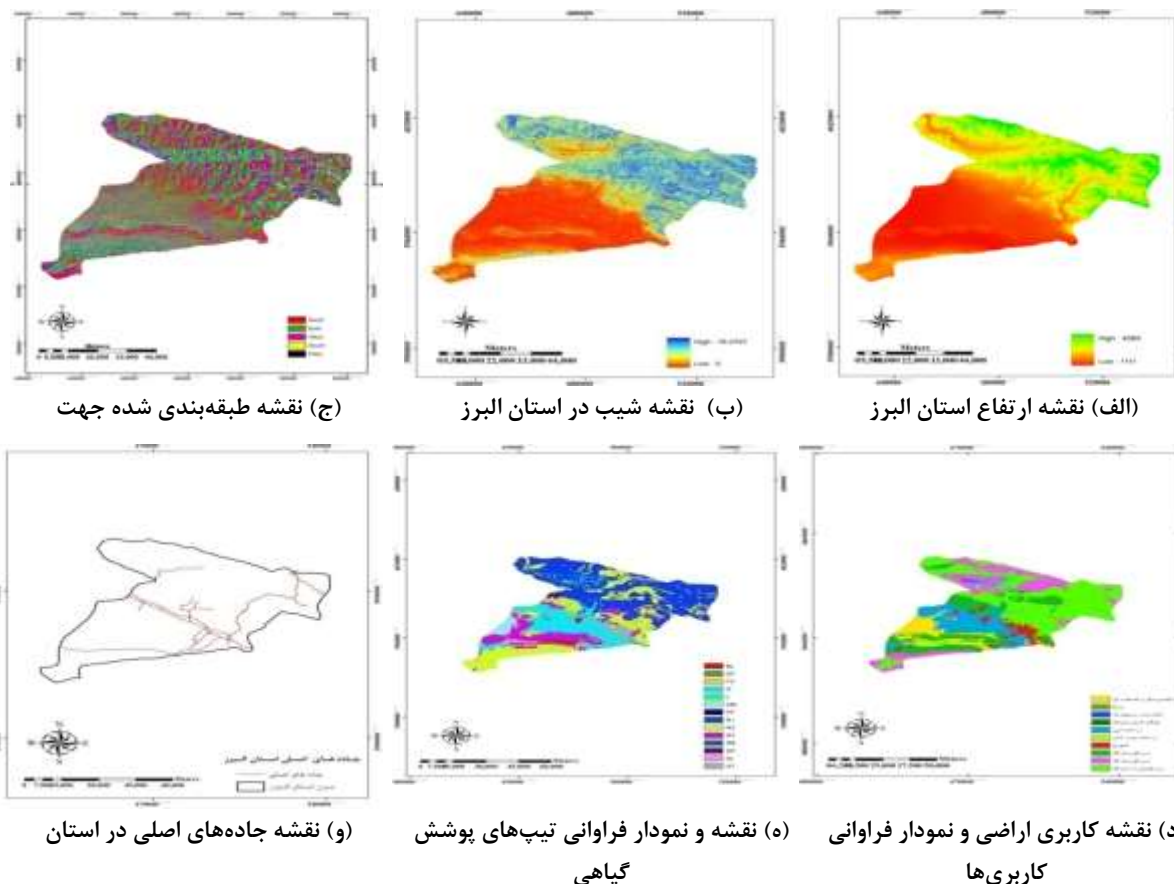
منطقه مورد مطالعه پارک دریایی جزایر سولیتاری می‌باشد. Edwards و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی در نظر گرفتن فرایندهای بوم‌شناختی، مهاجرت تکاملی و زون‌بندی حفاظتی در طراحی مناطق حفاظتی با استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده در منطقه سدهای مرجانی بلیزه پرداخته‌اند. به‌رحال مقالات متعددی در خصوص به‌کارگیری این نرم‌افزار برای انتخاب سیستماتیک مناطق تحت حفاظت در مناطق جغرافیایی مختلف با توجه به معیارهای بیوفیزیکی، اقتصادی اجتماعی و بحث‌هایی نظیر مسائل تغییر اقلیم نوشته شده است، ولی تفاوت برجسته این کار با سایر مراجع استخراج معیارها با استفاده از نرم‌افزار MaxEnt و سپس به‌کارگیری خروجی‌های این نرم‌افزار به‌عنوان ورودی‌های نرم‌افزار تصمیم‌گیرنده Marxan و پیاده‌سازی روش معرفی شده در این مقاله در استان البرز ایران می‌باشد.

این مقاله به‌منظور حفاظت از تنوع زیستگاه‌ها و جمعیت‌های حیات وحش به اولویت‌بندی مناطق مناسب و انتخاب مناسب‌ترین لکه‌ها برای حفاظت در استان البرز ایران می‌پردازد. به این منظور از معیارهای حفاظتی شامل زیستگاه بالقوه ۸ گونه جانور استفاده شده است. به‌منظور اولویت‌بندی از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار Marxan استفاده شده و نتایج با الگوریتم‌های حریص و نادر مقایسه می‌شود. در این مقاله هدف، حفاظت حداقل ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد هر معیار است. هم‌چنین مقاله به ارزیابی اثر پارامترهای مختلفی شامل اهداف حفاظتی تعیین شده، مقیاس مطالعه، الگوریتم‌های مختلف و میزان فشردگی لکه‌های حفاظتی منتخب در فرایند اولویت‌بندی و انتخاب مناطق تحت حفاظت می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان البرز در شمال کشور ایران با وسعتی حدود ۵۱۲ هزار هکتار بین ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. موقعیت جغرافیایی این استان در شکل ۱ دیده می‌شود. استان البرز در دامنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز قرار گرفته است. این بخش از ارتفاعات البرز مرتفع‌ترین قله البرز را به‌خود اختصاص داده است. این استان به لحاظ وضعیت خاص توپوگرافی و اقلیمی، از غنای جانوری مختلفی هم‌چون کل و بز، قوچ و میش، پلنگ، خوک، خرس قهوه‌ای، گرگ، گراز، آهو، روباه، انواع مار، کرکس،





شکل ۳: نقشه‌های مورد نیاز برای مطالعه

bubo، و پرندگان آبی و کنار آبی استان انتخاب شدند. بر همین اساس به منظور تعیین و مدل‌سازی دقیق‌تر معیارهای حفاظتی از جامعه خزندگان استان نیز تحت عنوان یک گروه دیگر شامل آگامای قفقازی (*Laudakia caucasia*)، افعی البرزی (*Vipera ursiniereiwanensis*)، افعی دماوندی (*Vipera latifimertens*) و لاسترای ایرانی (*Eremies persia*) استفاده شد. همان‌طور که در بالا گفته شد پرندگان شکاری، آبی و کنارآبی و خزندگان به‌جای گونه به‌صورت جامعه به مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه‌شان پرداخته شده است. شاید مهم‌ترین دلیل در این خصوص این است که نرم‌افزار Marxan در یک مقیاس وسیع به مدل‌سازی پرداخته و در نظر گرفتن انواع گونه‌ها حجم وسیعی داده را در اختیار نرم‌افزار قرار داده و استنتاج نتیجه نهایی برای نرم‌افزار پیچیده خواهد کرد. البته در انتخاب گونه‌های مربوط به هر جامعه سعی شده است تا گونه‌های با مطلوبیت زیستگاه مشترک مورد توجه قرار گیرد. به‌منظور تهیه و تعیین مناطق مطلوب زیستگاهی برای این گونه‌ها ابتدا نقاط حضور این گونه‌ها با GPS ثبت شد.

معیار حفاظتی: با توجه به اهمیت انتخاب صحیح معیارهای حفاظتی ابتدا براساس نظرات کارشناسی، منابع کتابخانه‌ای و کتاب‌های راهنمای صحرایی، فهرستی از گونه‌های پستانداران و پرندگان و خزندگان موجود در استان البرز تهیه شد. سپس تعدادی از آن‌ها براساس جایگاه گونه‌های در رده‌های تهدید و اهمیت آن‌ها در منطقه، به‌عنوان نماینده سایر گونه‌ها انتخاب شدند تا از طریق مدل‌سازی و در نتیجه حفظ زیستگاه آن‌ها، زیستگاه سایر گونه‌ها نیز مورد حفاظت قرار گیرد. در این مطالعه ۵ گونه پستاندار شامل کل و بز (*Capra aegagrus*)، خرس قهوه‌ای (*Ursus arctus*)، پلنگ ایرانی (*Panthera pardus*)، شنگ (*Lutra lutra*) و آهو (*Gazella gazelle*) انتخاب شدند. هم‌چنین با توجه به اهمیت حفظ زیستگاه پرندگان در فرایند انتخاب مناطق حفاظت‌شده این گونه‌ها تحت عنوان ۲ گروه پرندگان شکاری استان که شامل گونه‌های عقاب طلائی (*Aquila chrysaetos*)، عقاب شاهی (*Aquila heliaca*)، کبک دری، قرقی (*Accipiter nisus*)، سارگپه پا بلند (*Buteo rufinus*)، دلچجه (*Kestrel*)، شاهین، شاه بوف (*Bubo*)

هکتر به عنوان یگان‌های برنامه‌ریزی انتخاب شده و منطقه مورد مطالعه به ۱۰۲۴ یگان برنامه‌ریزی تقسیم شده است. در این مطالعه هزینه انتخاب منطقه، مساحت کل یگان‌های انتخاب شده برای حفاظت در نظر گرفته شد. البته باید توجه داشت که سایر هزینه‌های جایگزین مانند فاصله از جاده‌ها، شهرها و مناطق تمرکز جمعیت انسان، به‌طور غیرمستقیم از طریق دخالت در مدل‌سازی زیستگاه گونه‌ها، در انتخاب نهایی مناطق مناسب حفاظت دخالت داده خواهند شد. ویژگی‌های حفاظتی شامل سناریوها و اهداف حفاظتی می‌باشند. واحد هر یک از اهداف حفاظتی تعیین شده برای معیارهای حفاظتی متفاوت است (Game و Grantham, ۲۰۰۸). در این مقاله اهداف حفاظتی به‌صورت حداقل مساحتی از زیستگاه هر گونه که بهتر است مورد حفاظت قرار بگیرد تعیین شده است. مقدار این اهداف اغلب اختیاری بوده در منابع مختلف از ۳۳ تا ۹۹ درصد تخمین زده شده است (مهری، ۱۳۹۱). در این مطالعه، در سناریوهای مختلف اهداف ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰٪ اجرا شده است و نتایج حاصل با هم مورد مقایسه قرار گرفتند. BLM (Boundary Length Modifier) یک پارامتر ورودی برای نرم‌افزار بوده که میزان تراکم و تکه‌تکه‌شدگی شبکه حفاظتی پیشنهادی را نشان می‌دهد. افزایش آن باعث کاهش کل مرز شبکه حفاظتی و افزایش تراکم لکه‌ها می‌شود. یک روش مناسب در تعیین میزان BLM روش ارائه شده توسط Stewart و Possingham (۲۰۰۵) است. مطابق این روش، بهترین BLM مقداری است که بهترین تعادل را بین محیط و مساحت شبکه حفاظتی منتخب ارائه نماید. مناطق فشرده‌تر و با تکه‌تکه‌شدگی کم‌تر از لحاظ بوم‌شناختی و اجتماعی - سیاسی بیش‌تر قابل قبول هستند. این مناطق جایابی موجودات و انتقال مواد و هم‌چنین مدیریت را تسهیل می‌کنند (Leslie و همکاران، ۲۰۰۳). در این مطالعه مقادیر مختلفی برای BLM در نظر گرفته شده است که در بخش نتایج بیان خواهد شد.

فلوچارت پیدا کردن راه حل بهینه در میان راه‌حل‌های ممکن با اجرای نرم‌افزار به‌وسیله الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی در شکل ۵ نشان داده شده است. 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 اضافه کردن یا حذف این یگان به مجموعه ارزیابی می‌شود. تابع هدف در نرم‌افزار به‌صورت مجموع چهار جمله است:

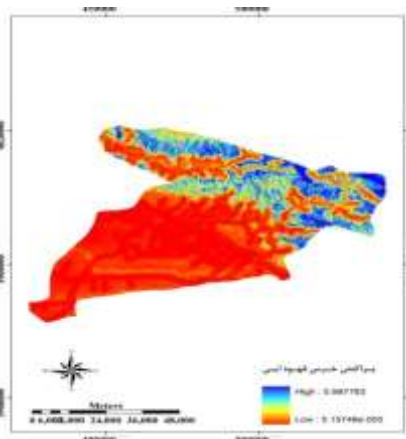
۱- مجموعه هزینه‌های تعریف شده برای هر یک از یگان‌های

برنامه‌ریزی

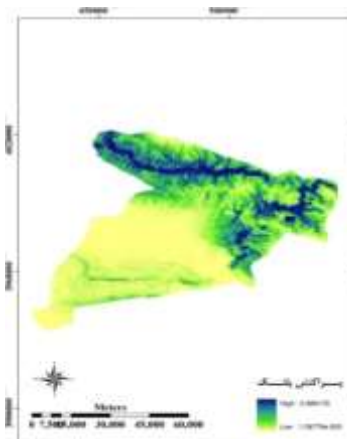
سپس مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه بالقوه پستانداران و جامعه پرندگان و خزندگان به‌روش حداکثر آنتروپی با استفاده از نرم‌افزار (MaxEnt) صورت گرفته است. تاکنون روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی برای مدل پراکنش گونه‌ای معرفی شده‌اند که یکی از بهترین و پرکاربردترین این روش‌ها در حال حاضر، روش حداکثر آنتروپی یا MaxEnt است (Phillips و همکاران ۲۰۰۶). روش حداکثر آنتروپی به داده‌های عدم حضور برای گونه مورد نظر نیاز ندارد، در عوض از لایه‌های محیط زیستی پس زمینه برای تمام منطقه مورد مطالعه استفاده می‌کند. روش می‌تواند از هر دو متغیر پیوسته یا طبقه‌ای استفاده کند و خروجی آن یک نقشه پیش‌بینی پراکنش پیوسته است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۲). در شکل ۴ نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه هشت گونه معرفی شده در استان البرز که به‌وسیله نرم‌افزار MaxEnt به‌دست آمده‌اند دیده می‌شوند. این شکل، نقشه‌ای پیوسته در محدود ۱-۰ است که بر این اساس هر چه به ۱ نزدیک‌تر شود احتمال حضور گونه بیش‌تر خواهد شد. داده‌ها و تنظیماتی نظیر تعداد نقاط حضور و فاکتورهای زیستگاهی که در مدل‌سازی به‌کار گرفته شده‌اند (اسفنده و همکاران، ۱۳۹۴)، به‌طور کامل ارائه شده‌اند.

اولویت‌بندی: نرم‌افزار Marxan الگوریتم‌های مختلفی را جهت انتخاب مناطق تحت حفاظت در اختیار کاربر قرار می‌دهد. اما مزیت اصلی آن در استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده است. به‌رحال Marxan الگوریتم‌های ساده‌تر اما سریع‌تری را نیز در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این الگوریتم‌ها شامل انواع الگوریتم‌های ابتکاری همانند حریر، نادر و الگوریتم بهبودیافته تکراری است (Ardron و همکاران، ۲۰۰۸). نرم‌افزار امکان استفاده هر کدام از این الگوریتم‌ها را به تنهایی و یا به‌صورت ترکیبی در اختیار کاربر قرار می‌دهد. مفیدترین روش، استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده به‌همراه الگوریتم بهبود یافته تکراری است. زیرا الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده به‌طور موثر به جستجوی فضای تصمیم‌گیری و راه‌حل‌ها می‌پردازد و سپس الگوریتم بهبود یافته تکراری تضمین می‌کند که راه حل منتخب بهترین گزینه در فضای تصمیم‌گیری است. در این مقاله از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده به‌همراه الگوریتم بهبود یافته تکراری استفاده شده است. هم‌چنین، الگوریتم بهبود یافته دارای انواع مختلف است ولی در این پژوهش از حالت معمول آن استفاده شده است. این نرم‌افزار برای انجام محاسبات، حداقل به ورودی‌های یگان‌های برنامه‌ریزی (planning unit file)، ویژگی‌های حفاظتی و طول مرز احتیاج دارد. یگان برنامه‌ریزی در این مطالعه حوزه آبریز انتخاب شده است. حوزه‌های آبریز با منییم سطح ۵۰

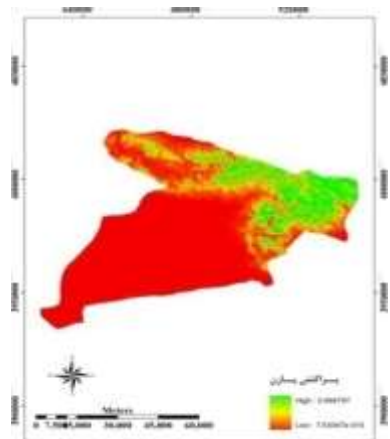




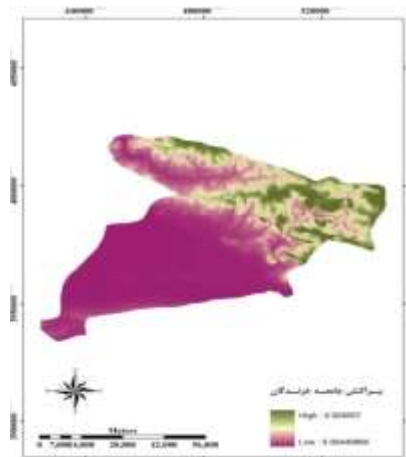
شکل (ج) پراکنش خرس قهوه‌ای



شکل (ب) پراکنش پلنگ ایرانی



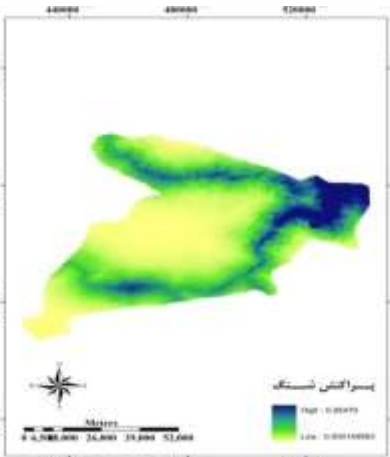
شکل (الف) پراکنش پازن



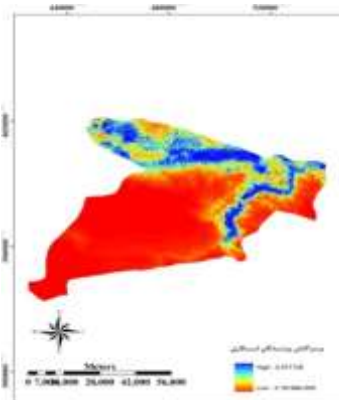
شکل (ز) پراکنش جامعه خزندگان



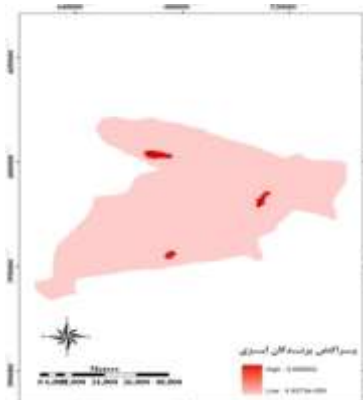
شکل (ر) پراکنش آهوی ایرانی



شکل (د) پراکنش شنگ



شکل (و) پراکنش پزندگان شکاری



شکل (ه) پراکنش پزندگان آبی و کنار آبی

شکل ۴: نقشه پراکنش هشت گونه جانور مورد استفاده در این مطالعه

۴- جریمه افزایش هزینه کل به بالاتر از حد آستانه مطلوب

$$f(x) = \sum_{i \in I} C_i x_i + \sum_{j \in J} SPF_j x_j + \sum_{k \in K} BLM_k x_k$$

۲- جریمه عدم دستیابی به اهداف حفاظتی

۳- هزینه تکه‌تکه شدگی لکه‌های انتخاب شده، به صورت طول

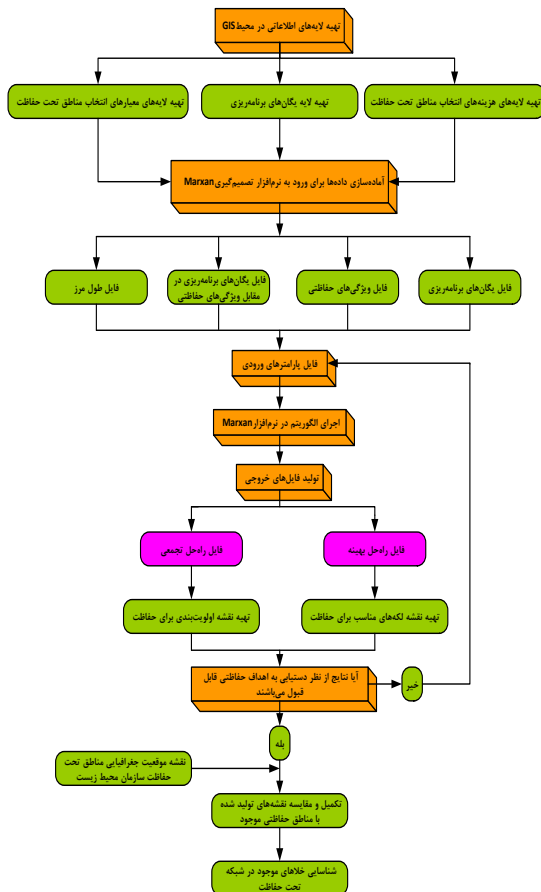
مرز موثر بین یگان‌های برنامه‌ریزی



شرایط و پارامترها همانند سناریو سوم تنظیم شده است. به استثناء BLM که در تعداد کمتری شامل BLM های ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است.

سناریو پنجم: بررسی تأثیر الگوریتم‌های مختلف بر

نتایج: در این سناریو نتایج حاصل از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده با الگوریتم حریمی و دو نوع الگوریتم نادر شامل الگوریتم نادر بهینه (Best Rarity) و الگوریتم نادر حداکثر (Max Rarity) مقایسه شده است. تمام شرایط و پارامترها همانند سناریو سوم تنظیم شده است. به استثناء BLM که فقط با مقدار ۲۰ اجرا شده است و نتایج آن با مقدار مشابه آن در الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده مقایسه شده است.



شکل ۵: نمودار جریان فرآیند اولویت‌بندی و انتخاب مناطق مناسب حفاظت با استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده

نتایج

سناریو اول: در این سناریو کارایی تنها منطقه تحت حفاظت موجود در استان البرز با در نظر گرفتن هدف حفاظت ۳۰ درصد هر یک از معیارهای حفاظتی، بدون انتخاب مناطق جدید، مورد

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. دو فایل مهم که معمولاً برای تهیه نقشه‌های نهایی اولویت‌بندی به کار می‌روند فایل راه‌حل جمعی و فایل راه‌حل بهینه هستند. فایل راه‌حل جمعی فراوانی انتخاب هریک از یگان‌ها را در کل تکرارها نشان می‌دهد. نقشه حاصل از این فایل، نقشه اولویت‌بندی منطقه از لحاظ مطلوبیت برای حفاظت را ارائه می‌کند. فایل راه‌حل بهینه از بین همه تکرارها بهترین راه‌حل را انتخاب می‌کند و یگان‌های انتخاب شده در این راه حل را ارائه می‌دهد. نقشه حاصل از این فایل، نقشه مناسب‌ترین لکه‌ها برای حفاظت در منطقه را ارائه می‌نماید.

سناریوها

سناریو 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 مورد بررسی قرار گرفته است. در این سناریو هدف حفاظت حداقل ۳۰ درصد هر معیار حفاظتی در نظر گرفته شده است. یعنی سطحی از منطقه حفاظت شده که حداقل ۳۰٪ پراکنش گونه مورد نظر را حفاظت کند. این سطح در طی اجرای سناریوهای مختلف توسط نرم‌افزار تعیین می‌شود.

سناریو 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. در این سناریو Marxan با هدف ۳۰ درصد، ۱۰۰ تکرار اجرای مدل، ۱۰,۰۰۰,۰۰۰ تکرار اجرای الگوریتم در هر تکرار مدل و با BLM های ۰، ۱۰/۰۱، ۱، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ اجرا شده است. سپس، نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.

سناریو سوم: انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید بدون

محدودیت: در این سناریو انتخاب یا عدم انتخاب تمام یگان‌ها در فرآیند اجرای مدل در تمامی مراحل تصادفی است. در این سناریو Marxan با هدف ۳۰ درصد، ۱۰۰ تکرار اجرای مدل، ۱۰,۰۰۰,۰۰۰ تکرار اجرای الگوریتم در هر تکرار مدل و با BLM های ۰، ۱۰/۰۱، ۱، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ اجرا شده است. سپس، نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.

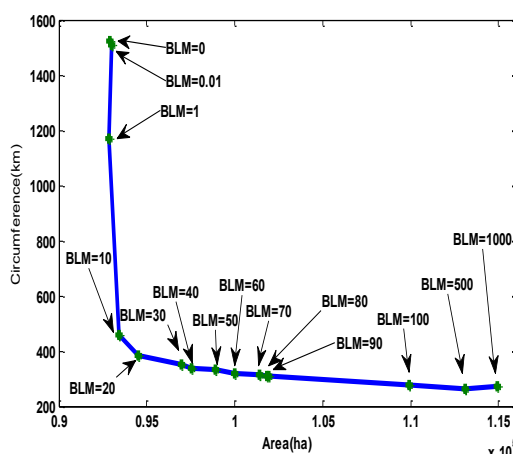
سناریو چهارم: بررسی تأثیر اهداف حفاظتی مختلف

بر نتایج: در این سناریو تأثیر اهداف مختلف حفاظتی شامل ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد حفاظت هر معیار بررسی شده است. تمام



سناریو دوم: این سناریو برای انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید و تکمیل شبکه حفاظتی موجود با هدف حفاظت ۳۰ درصد هر معیار حفاظتی اجرا شده است. پس از هر بار اجرای Marxan تحت BLM‌های مختلف یک راه‌حل نهایی تولید می‌شود. این راه‌حل‌ها شامل یک نقشه اولویت‌بندی و یک نقشه بهترین لکه‌های مناسب حفاظت برای هر BLM است. برای تعیین بهترین BLM نمودار محیط در برابر مساحت برای هر BLM ترسیم شد. این نمودار برای این سناریو در شکل ۶ نشان داده شده است.

بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد منطقه حفاظت‌شده موجود تنها در برآورد هدف حفاظتی چهار معیار حفاظتی شامل: مناطق مطلوب و مهم پراکنش کل و بز، شنگ، خرس قهوه‌ایی و خزندگان موفق است و در رسیدن به هدف حفاظتی چهار معیار دیگر کارایی لازم را ندارد. این نتایج اهمیت اصلاح مرز منطقه تحت حفاظت موجود و انتخاب مناطق جدید را روشن می‌سازد. از این‌رو، در سناریو بعد در جهت انتخاب مناطق جدید برای حفاظت معیارها اقدام شد.



شکل ۶: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLM‌های مختلف در سناریو دوم

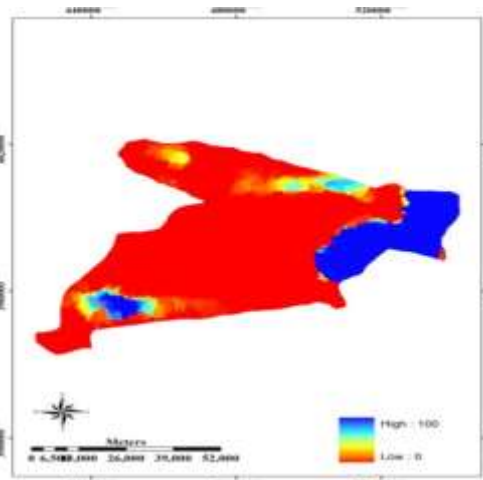
در نتیجه با بررسی‌های انجام شده در نهایت BLM معادل ۲۰ به عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب شد. نتایج حاصل از این BLM در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه داده شده است. لازم به ذکر است که در نقشه‌های اولویت‌بندی، ارزش‌ها نشان‌دهنده تعداد دفعات انتخاب یگان در کل ۱۰۰ تکرار است و با افزایش آن، اولویت یگان برای حفاظت افزایش می‌یابد.

همان‌طور که در این شکل مشخص است، نسبت محیط به مساحت در BLM‌های ۲۰، ۱۰ و ۳۰ نسبت به سایر مقادیر دارای وضعیت بهتری است. در BLM‌های بیش‌تر هزینه انتخاب شبکه تحت حفاظت (مساحت کل شبکه) افزایش می‌یابد. در مقادیر پایین‌تر نیز، میزان پراکندگی لکه‌ها (محیط کل شبکه) زیادتر است و نتایج خوبی ارائه نمی‌شود. مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت منتخب در هر BLM در جدول ۱ نشان داده شده است.

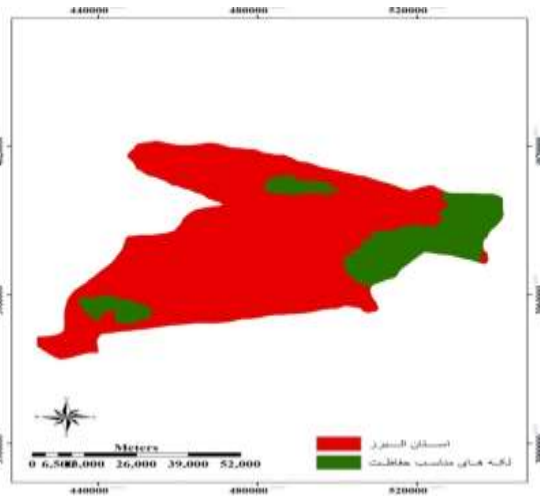
جدول ۱: مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت انتخاب شده در سناریو دوم

درصد پوشش سطح استان	محیط (کیلومتر)	مساحت (هکتار)	BLM
۱۸/۱۳	۱۵۲۵/۱۹	۹۲۸۹۸/۱۸	۰
۱۸/۱۵	۱۵۰۸/۰۹	۹۲۹۷۶/۳۱	۰/۰۱
۱۸/۱۲	۱۱۷۰/۱۷	۹۲۸۳۰/۶۸	۱
۱۸/۲۴	۴۵۸/۱۵	۹۳۴۳۹/۳۵	۱۰
۱۸/۴۵	۳۸۲/۰۱	۹۴۵۳۶/۶۳	۲۰
۱۸/۹۲	۳۴۹/۴۳	۹۶۹۵۰/۹۷	۳۰
۱۹/۰۴	۳۳۸/۸۱	۹۷۵۴۳/۹۸	۴۰
۱۹/۳۱	۳۳۰/۸۹	۹۸۹۱۰/۵۴	۵۰
۱۹/۵۲	۳۲۰/۷۵	۹۹۹۸۰/۶۴	۶۰
۱۹/۷۹	۳۱۳/۲۵	۱۰۱۳۸۸/۰۶	۷۰
۱۹/۸۷	۳۱۰/۶۱	۱۰۱۸۰۱/۵۲	۸۰
۱۹/۸۹	۳۱۱/۳۹	۱۰۱۹۱۱/۵۹	۹۰
۲۱/۴۶	۲۷۷/۵۵	۱۰۹۹۲۴/۹۲	۱۰۰
۲۲/۰۷	۲۶۴/۲۳	۱۱۳۰۸۵/۲۷	۵۰۰
۲۲/۴۳	۲۷۰/۶۵	۱۱۴۹۰۶/۸۷	۱۰۰۰





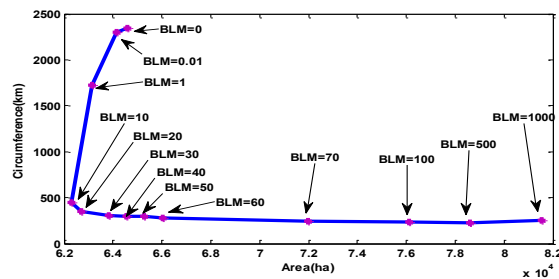
شکل ۸: اولویت بندی لکه های مناسب حفاظت با BLM معادل ۲۰ در سناریو دوم



شکل ۷: پراکنش لکه های مناسب حفاظت با BLM معادل ۲۰ در سناریو دوم

در این سناریو نیز برای پیدا کردن بهترین نتیجه میان BLM های مختلف نمودار محیط در برابر مساحت برای هر BLM در ترسیم شد. این نمودار برای این سناریو در شکل ۹ نشان داده شده است.

سناریو سوم: این سناریو نیز با هدف حفاظت ۳۰٪ هر معیار حفاظتی اجرا شده است و تمامی یگان های برنامه ریزی دارای وضعیت مشابه برای انتخاب هستند. حضور مناطق تحت حفاظت موجود در این سناریو الزامی نیست و وابسته به مطلوبیت آن هاست.



شکل ۹: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLM های مختلف در سناریو سوم

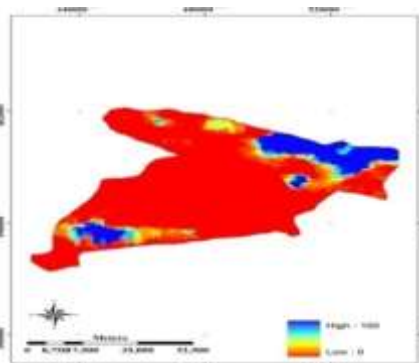
جدول ۲ نشان داده شده است. با بررسی انجام شده در نهایت BLM معادل ۲۰ به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. نتایج حاصل از این BLM در شکل های ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.

در این سناریو نیز نسبت محیط به مساحت در BLM های ۳۰ و ۱۰، ۲۰ نسبت به سایر مقادیر دارای وضعیت بهتری است. مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت منتخب در هر BLM در

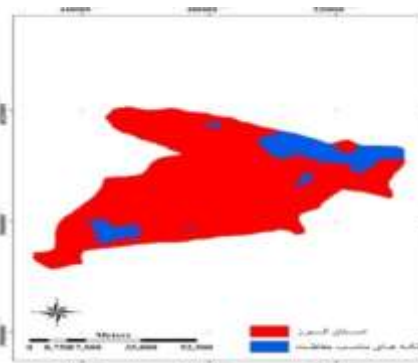
جدول ۲: مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت انتخاب شده در سناریو سوم

BLM	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد پوشش سطح استان	درصد همپوشانی با مناطق تحت حفاظت موجود
۰	۶۴۵۸۶/۸۸	۲۳۴۸/۸۱	۱۲/۶۱	۲۶/۰۰
۰/۰۱	۶۴۱۳۹/۹۴	۲۲۹۹/۹۱	۱۲/۵۲	۲۵/۸۱
۱	۶۳۱۳۱/۰۴	۱۷۲۳/۲۵	۱۲/۳۲	۲۳/۷۸
۱۰	۶۲۲۹۶/۳۸	۴۵۱/۷۹	۱۲/۱۶	۲۳/۵۷
۲۰	۶۲۶۸۴/۲۸	۳۵۰/۰۳	۱۲/۲۳	۲۱/۱۰
۳۰	۶۳۸۰۹/۱۰	۳۰۹/۰۵	۱۲/۴۵	۱۸/۴۲
۴۰	۶۴۵۵۴/۳	۲۹۶/۵۱	۱۲/۶۰	۲۳/۲۲
۵۰	۶۵۲۷۵/۰۲	۲۹۲/۶۱	۱۲/۷۴	۲۳/۰۹
۶۰	۶۶۰۳۲/۴۶	۲۸۰/۹۱	۱۲/۸۹	۲۲/۶۶
۷۰	۷۱۹۹۴/۶۹	۲۴۴/۷۳	۱۴/۰۵	۱۷/۲۲
۱۰۰	۷۶۱۱۶/۰۶	۲۳۷/۱۷	۱۴/۸۶	۱۰/۵۹
۵۰۰	۷۸۶۰۴/۳۸	۲۳۰/۰۹	۱۵/۳۴	۲۹/۱۶
۱۰۰۰	۸۱۵۲۸/۰۳	۲۵۴/۵۷	۱۵/۹۱	۲۲/۷۴



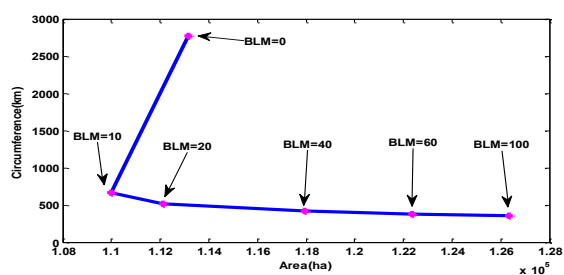


شکل ۱۱: اولویت‌بندی لکه‌های مناسب حفاظت با BLM معادل ۲۰ در سناریو سوم



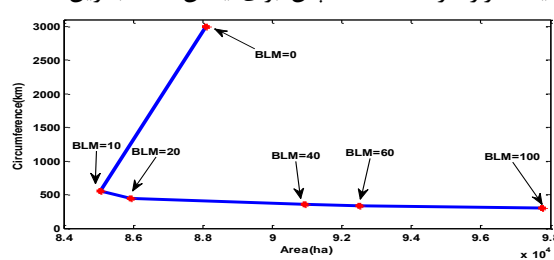
شکل ۱۰: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با BLM معادل ۲۰ در سناریو سوم

نتیجه بین BLM‌های مختلف، نمودار محیط در برابر مساحت برای هر هدف ترسیم شد. این نمودارها در شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ نشان داده شده‌اند.

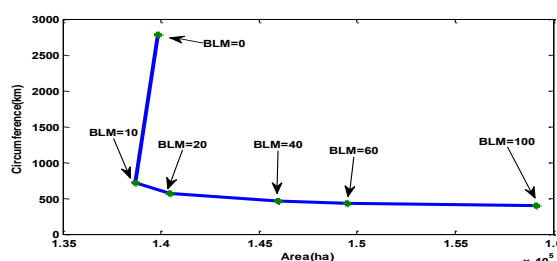


شکل ۱۳: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLM‌های مختلف در سناریو چهارم با هدف ۵۰ درصد

سناریو چهارم: نرم‌افزار Marxan در این سناریو با اهداف ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد اجرا شده است و نتایج حاصل با اهداف ۳۰ درصد مورد مقایسه قرار گرفته است. سپس برای یافتن مناسب‌ترین



شکل ۱۲: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLM‌های مختلف در سناریو چهارم با هدف ۴۰ درصد



شکل ۱۴: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLM‌های مختلف در سناریو چهارم با هدف ۶۰ درصد

مشخص است، با افزایش این پارامتر مساحت شبکه حفاظتی در هر دو سناریو افزایش می‌یابد. برعکس، محیط شبکه حفاظتی با افزایش آن کاهش می‌یابد. همان‌گونه که از نقشه‌های حاصل از این دو سناریو مشخص است مناطق با فشردگی بیش‌تر گرایش به محیط کم‌تر ولی مساحت بیش‌تر دارند. همان‌طور که گفته شد، مناطق فشرده‌تر و با تکه‌تکه شدگی کم‌تر از لحاظ بوم‌شناختی و اجتماعی-سیاسی مناسب‌تر هستند.

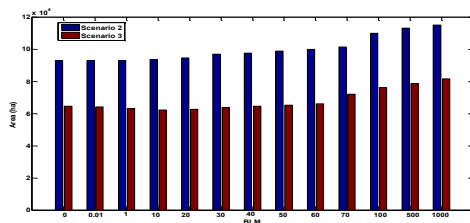
مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت منتخب در هر BLM و برای اهداف مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج این سناریو نشان دادند که رسیدن به اهداف حفاظتی در مجموعه‌ای از مناطق تحت حفاظت با درجات متفاوتی از پراکندگی و تکه‌تکه‌شدگی امکان‌پذیر است. مقادیر محیط و مساحت شبکه‌های منتخب در سناریوهای دوم و سوم BLM‌های مختلف در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نشان داده شد. همان‌گونه که

جدول ۳: مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت منتخب در هر BLM و برای اهداف مختلف

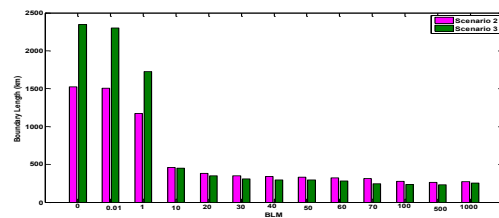
هدف	BLM	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد سطح پوشش استان	درصد همپوشانی با مناطق تحت حفاظت موجود
۴۰	۰	۸۸۰۹۳/۵۳	۲۶۹۶/۷۵	۱۷/۲۰	۲۹/۹۰
	۱۰	۸۵۰۵۵/۸۵	۵۵۸/۲۳	۱۶/۶۰	۲۹/۰۱
	۲۰	۸۵۹۲۰/۶۶	۴۴۴/۶۵	۱۶/۷۷	۲۷/۹۱
	۴۰	۹۰۹۲۹/۰۷	۳۵۵/۱۳	۱۷/۷۵	۳۸/۱۳
	۶۰	۹۲۴۹۰/۹۳	۳۳۶/۶۵	۱۸/۰۵	۳۱/۸۳
	۱۰۰	۹۷۷۶۳/۰۴	۳۰۰/۰۵	۱۹/۰۸	۲۷/۳۳
۵۰	۰	۱۱۳۱۶۶/۶۳	۲۷۷۲/۰۵	۲۲/۰۹	۳۶/۷۴
	۱۰	۱۰۹۹۷۵/۶۸	۶۶۰/۸۹	۲۱/۴۷	۳۵/۲۵
	۲۰	۱۱۲۱۱۶/۵۱	۵۱۸/۰۳	۲۱/۸۹	۴۰/۶۳
	۴۰	۱۱۷۹۳۳/۴۸	۴۱۹/۹۳	۲۳/۰۲	۳۹/۴۲
	۶۰	۱۲۲۳۷۳/۰۰	۳۸۲/۵۵	۲۳/۸۹	۳۳/۷۹
	۱۰۰	۱۲۶۳۲۰/۴۹	۳۵۷/۸۹	۲۴/۶۶	۳۱/۴۷
۶۰	۰	۱۳۹۸۶۳/۶۹	۲۷۸۶/۹۳	۲۷/۳۰	۴۶/۲۶
	۱۰	۱۳۸۶۶۵/۵۲	۷۱۳/۳۳	۲۷/۰۷	۴۳/۱۰
	۲۰	۱۴۰۴۲۵/۳۸	۵۷۱/۱۹	۲۷/۴۱	۴۹/۵۲
	۴۰	۱۴۵۹۵۹/۱۲	۴۶۶/۰۱	۲۸/۴۹	۴۰/۱۷
	۶۰	۱۴۹۴۸۳/۵۲	۴۳۲/۸۹	۲۹/۱۸	۴۳/۲۷
	۱۰۰	۱۵۹۱۱۴/۱۵	۳۹۷/۰۱	۳۱/۰۶	۴۰/۵۲

را ارائه می‌نماید. نتایج حاصل از این BLM برای اهداف مختلف در شکل‌های ۱۷ تا ۲۲ ارائه شده است.

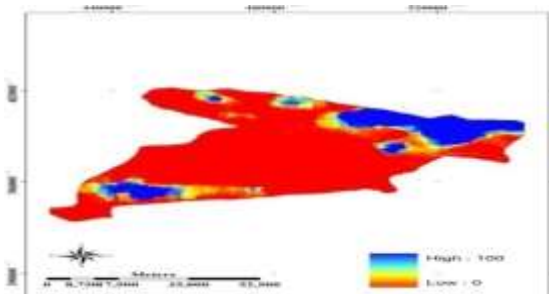
با استفاده از نمودارها و همچنین بررسی‌های انجام شده میان نتایج مختلف بهترین نتایج برای هر هدف تعیین شده است. مطابق این بررسی BLM معادل ۲۰ در هر سه هدف نتایج بهتری



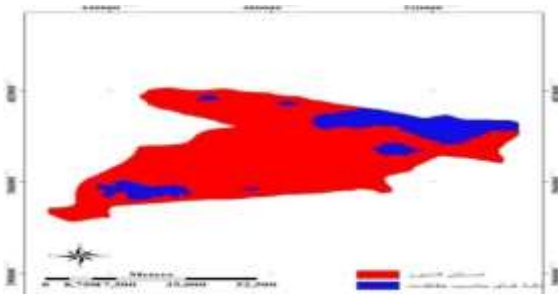
شکل ۱۶: مقادیر مساحت شبکه‌های منتخب در سناریوهای دوم و سوم در BLM‌های مختلف



شکل ۱۵: مقادیر محیط شبکه‌های منتخب در سناریوهای دوم و سوم در BLM‌های مختلف

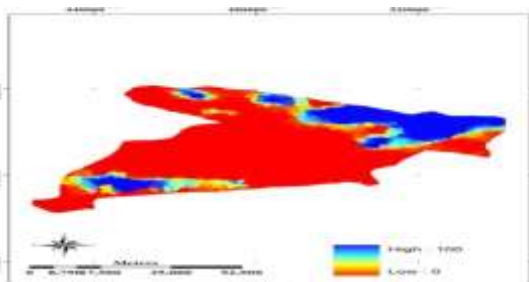


شکل ۱۸: اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با BLM معادل ۲۰ در سناریو چهارم با هدف ۴۰ درصد

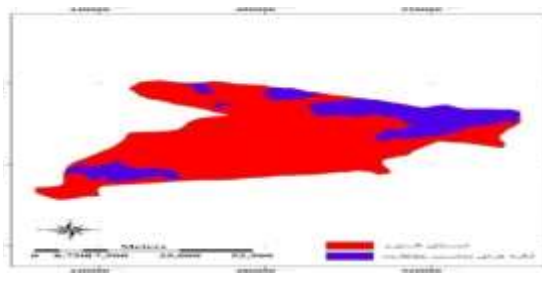


شکل ۱۷: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با BLM معادل ۲۰ در سناریو چهارم با هدف ۴۰ درصد

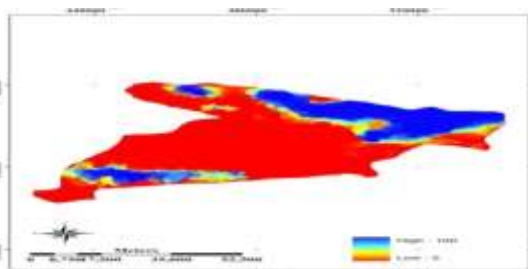




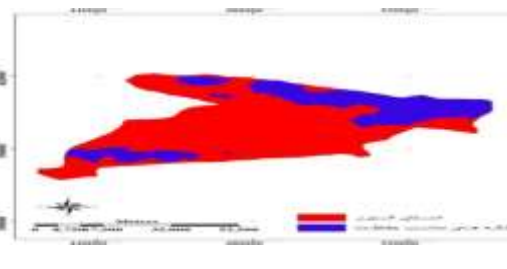
شکل ۲۰: اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با BLM معادل ۲۰ در سناریو چهارم با هدف ۵۰ درصد



شکل ۱۹: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با BLM معادل ۲۰ در سناریو چهارم با هدف ۵۰ درصد



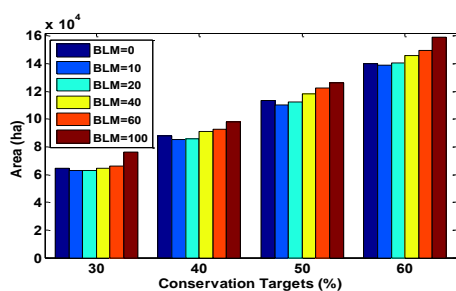
شکل ۲۲: اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با BLM معادل ۲۰ در سناریو چهارم با هدف ۶۰ درصد



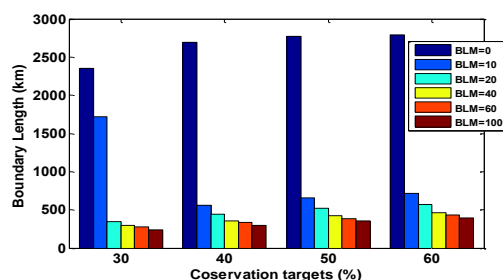
شکل ۲۱: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با BLM معادل ۲۰ در سناریو چهارم با هدف ۶۰ درصد

است. همان‌گونه که مشخص است، در تمام اهداف با افزایش این پارامتر مساحت شبکه حفاظتی افزایش و محیط کاهش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش اهداف هر دو پارامتر مساحت و محیط شبکه حفاظتی افزایش می‌یابند.

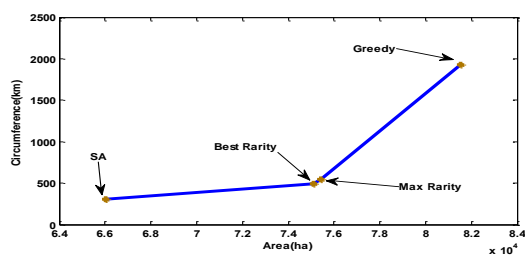
در سناریو چهارم بدون در نظر گرفتن مناطق تحت حفاظت موجود، منطقه با اهداف مختلف حفاظت ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد هر معیار اولویت‌بندی شد و بهترین لکه‌ها برای حفاظت معرفی شدند. مقادیر محیط و مساحت شبکه‌های منتخب در اهداف و در BLM‌های مختلف در شکل‌های ۲۳ و ۲۴ نشان داده شده



شکل ۲۴: مقادیر متفاوت مساحت لکه‌های حفاظتی منتخب در اهداف حفاظتی مختلف



شکل ۲۳: مقادیر متفاوت محیط لکه‌های حفاظتی منتخب در اهداف حفاظتی مختلف



شکل ۲۵: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در الگوریتم‌های مختلف در سناریو پنجم

سناریو پنجم: در این سناریو نتایج اجرای Marxan با الگوریتم‌های مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده با BLM معادل ۲۰ در سناریو سوم، با الگوریتم‌های حریص و نادر با BLM معادل ۲۰ و هدف ۳۰ درصد مقایسه شده است. برای بررسی نتایج نمودار محیط در برابر مساحت الگوریتم‌ها در شکل ۲۵ ارائه شده است. جدول ۴ مشخصات شبکه حفاظتی منتخب برای هر الگوریتم را نشان می‌دهد.

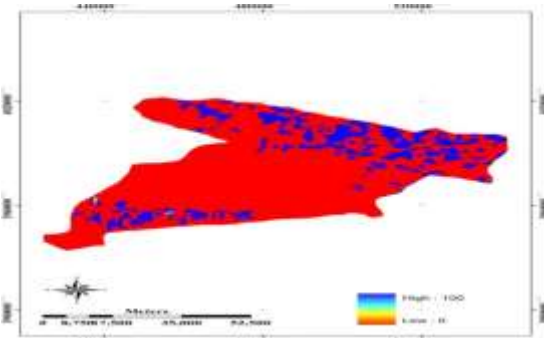


جدول ۴: مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت انتخاب شده در سناریو پنجم

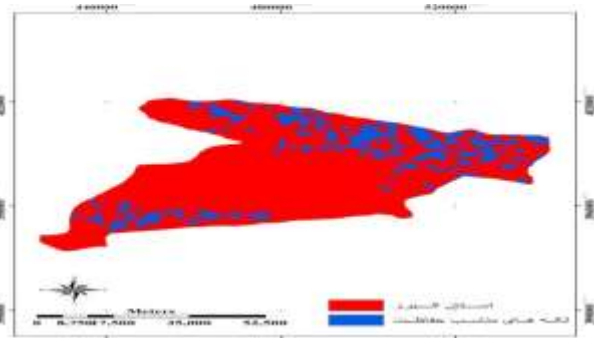
الگوریتم	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد پوشش سطح استان
حریص	۸۱۵۲۷/۲۲	۱۹۲۴/۵۵	۱۵/۹۱
نادر بهینه	۷۵۱۱۲/۱۱	۴۸۹/۱۷	۱۴/۶۶
نادر حداکثر	۷۵۴۰۷/۱۳	۵۴۸/۴۵	۱۴/۷۲
مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده	۶۲۶۸۴/۲۸	۳۵۰/۰۳	۱۲/۲۳

نقشه‌های حاصل از هر یک از الگوریتم‌ها در شکل‌های ۲۶ تا ۳۱ ارائه شده است.

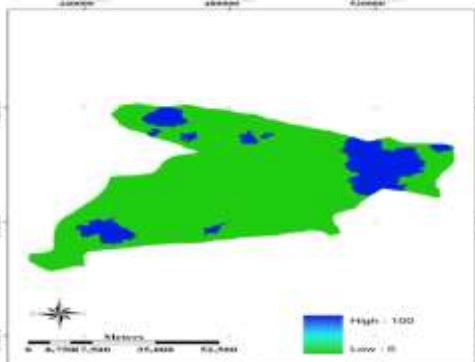
همان‌گونه که از شکل ۲۵ مشخص است الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده نتایج بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد.



شکل ۲۵: اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم حریص و BLM معادل ۲۰ در سناریو پنجم



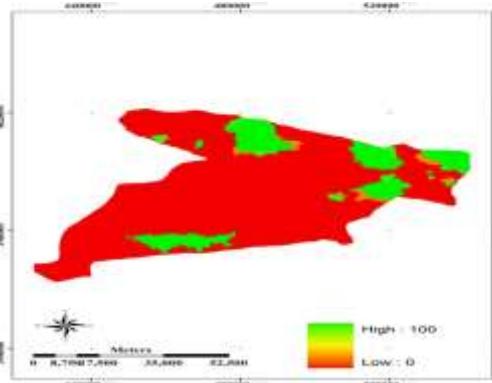
شکل ۲۶: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم حریص و BLM معادل ۲۰ در سناریو پنجم



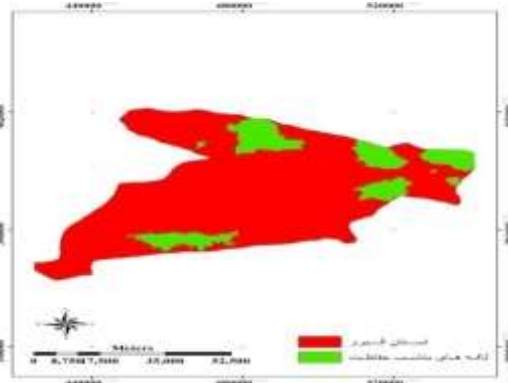
شکل ۲۷: اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادر بهینه و BLM معادل ۲۰ در سناریو پنجم



شکل ۲۸: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادر بهینه و BLM معادل ۲۰ در سناریو پنجم



شکل ۲۹: اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادر حداکثر و BLM معادل ۲۰ در سناریو پنجم

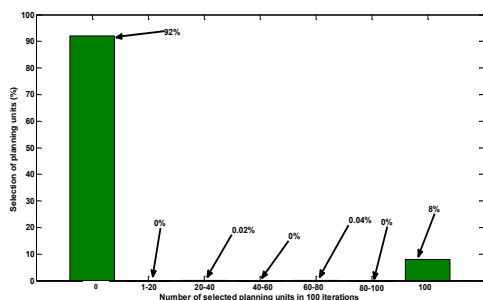


شکل ۳۰: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادر حداکثر و BLM معادل ۲۰ در سناریو پنجم

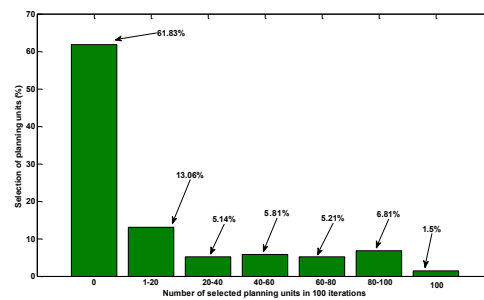


مختلف با هدف ۳۰ درصد و BLM معادل ۲۰ در شکل‌های ۳۲ تا ۳۵ نشان داده شده است.

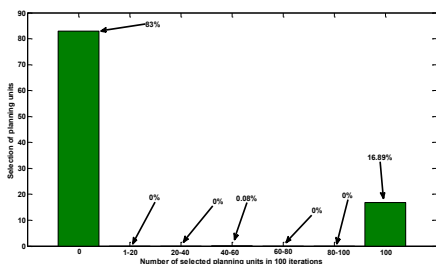
تحلیل غیر قابل جایگزین بودن: غیر قابل جایگزینی به‌عنوان تعداد تکرار انتخاب هر یگان برنامه‌ریزی در ۱۰۰ بار تکرار اجرای مدل است. تحلیل غیر قابل جایگزین بودن برای الگوریتم‌های



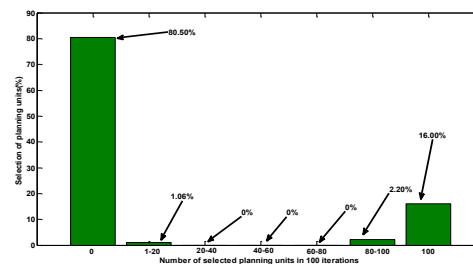
شکل ۳۳: تحلیل غیر قابل جایگزین بودن در الگوریتم حریص



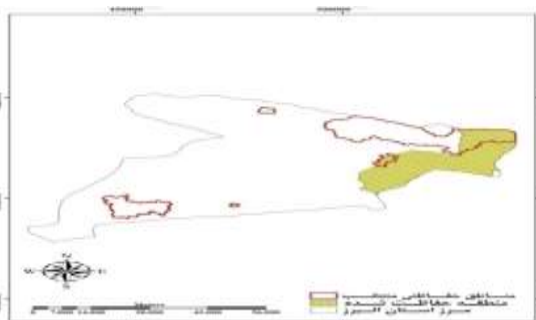
شکل ۳۲: تحلیل غیر قابل جایگزین بودن در الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده



شکل ۳۵: تحلیل غیر قابل جایگزین بودن در الگوریتم نادر بهینه



شکل ۳۴: تحلیل غیر قابل جایگزین بودن در الگوریتم نادر حداکثر

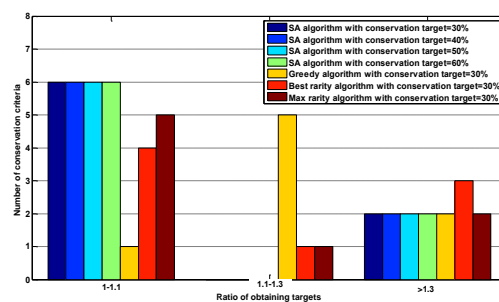


شکل ۳۷: مقایسه مناطق تحت حفاظت منتخب در سناریو سوم و BLM معادل ۲۰ با مناطق تحت حفاظت موجود در استان البرز

برآورده شده است) تا هر عددی بیش‌تر از ۱ می‌تواند باشد. برای بررسی این موضوع، نسبت دستیابی به اهداف به سه طبقه تقسیم شده است. نسبت ۱ تا ۱/۱ به‌عنوان معرف بودن معیار در راه حل بهینه در نظر گرفته شده است. نسبت بیش‌تر از ۱/۳ (۳۰ درصد بیش‌تر از هدف) به‌عنوان معرف بودن بیش از حد در نظر گرفته شده است. نتایج بررسی‌ها در شکل ۳۶ ارائه شده است.

بررسی نتایج با مناطق تحت حفاظت موجود: به‌منظور

بررسی کارایی مناطق تحت حفاظت موجود از لحاظ



شکل ۳۶: بررسی میزان معرف بودن معیارهای حفاظتی در سناریوهای مختلف انتخاب مناطق مناسب حفاظت

بررسی کارایی معرف بودن معیارهای حفاظتی: در این

بخش کارایی الگوریتم‌ها و اهداف حفاظتی مختلف در معرف بودن آن‌ها نسبت به معیارهای حفاظتی مورد بررسی قرار گرفته است. در تمام سناریوهای اجرا شده اهداف حفاظتی، برای تمام معیارها به‌دست آمده‌اند. برای بررسی میزان دستیابی به اهداف حفاظتی در هر معیار، مقدار حضور هر معیار در راه حل بهینه نسبت به هدف حفاظتی تعریف شده برای آن معیار محاسبه شده است. در معیارهای مختلف این نسبت از یک (۱۰۰ درصد هدف حفاظتی



بحث

دستیابی به اهداف این پژوهش، نقشه پراکنش این مناطق با نقشه لکه‌های حفاظتی منتخب در سناریو سوم و BLM معادل ۲۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل ۳۷ ارائه شده است.

سناریو اول: در سناریو اول کارایی مناطق تحت حفاظت

موجود در رسیدن به هدف حفاظت ۳۰٪ هر یک از معیارهای حفاظتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تنها منطقه حفاظت شده موجود در برآورد هدف حفاظتی ۴ معیار شامل: مناطق مهم پراکنش کل و بز، خرس قهوه‌ایی، شنگ و خزندگان موفق بوده است و در رسیدن به هدف حفاظتی ۴ معیار دیگر ناتوان است. این نتایج نشان می‌دهد که منطقه تحت حفاظت موجود کارایی مناسبی از لحاظ دستیابی به اهداف ندارد.

سناریو دوم: نتایج این سناریو نشان دادند برای حفاظت

۳۰٪ هر یک از معیارها، در بهترین حالت ۹۴۵۳۶/۶۳ هکتار معادل ۱۸/۴۵ درصد از سطح استان باید مورد حفاظت قرار گیرد. مساحت تنها منطقه حفاظت شده موجود در استان ۶۴۱۱۹ هکتار معادل ۱۲/۵۱ درصد سطح استان است. بر این اساس نیاز است حدود ۳۰۴۱۷/۶۳ هکتار به سطح مناطق فعلی اضافه شود.

سناریو سوم: نتایج اجرای این سناریو در ۱۳ مقدار متفاوت

BLM نشان داد که ۱۲/۱۶ تا ۱۵/۹۱ درصد سطح استان نیاز است مورد حفاظت قرار بگیرد. همچنین شبکه‌های حفاظتی منتخب تحت BLMهای مختلف، از ۱۰/۵۹ تا ۲۹/۱۶ درصد با مناطق تحت حفاظت موجود هم‌پوشانی دارند. پس از بررسی نتایج مشخص شد در بهترین حالت (BLM معادل ۲۰) باید ۶۲۶۸۴/۲۸ هکتار یعنی معادل ۱۲/۲۳ درصد سطح استان مورد حفاظت قرار بگیرد. از این مقدار تنها ۲۱/۱۰ درصد آن با مناطق تحت حفاظت موجود هم‌پوشانی دارد. این نتایج نشان‌دهنده بهینه نبودن مناطق تحت حفاظت موجود است.

سناریو چهارم: پس از بررسی نتایج مشخص شد در بهترین

حالت (BLM معادل ۲۰ برای همه اهداف) برای رسیدن به هدف حفاظتی ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰٪ باید به ترتیب مقادیر ۶۲۶۸۴/۲۸، ۸۵۹۲۰/۶۶، ۱۱۲۱۱۶/۵۱ و ۱۴۰۴۲۵/۳۸ هکتار معادل ۱۲/۲۳، ۱۶/۷۷، ۲۱/۸۹ و ۲۷/۴۱ درصد سطح استان مورد حفاظت قرار گیرد. از این مقدار به ترتیب ۲۱/۱۰، ۲۷/۹۱، ۴۰/۶۳ و ۵۲/۴۹ درصد آن با مناطق تحت حفاظت موجود هم‌پوشانی دارد. این نتایج نشان‌دهنده این است که حتی با کاربرد اهداف مختلف، منطقه تحت حفاظت موجود کارایی خوبی در رسیدن

به اهداف حفاظتی ندارد. نتایج این سناریو یک دیدگاه سریع از مساحت مورد نیاز برای رسیدن به اهداف حفاظتی مختلف را در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

سناریو پنجم: براساس نتایج این سناریو با انتخاب الگوریتم

حریص مساحت شبکه حفاظتی منتخب در مقایسه با الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده افزایش زیاد داشته است. در مقابل کاربرد الگوریتم‌های نادر بهینه و حداکثر به میزان کم‌تری موجب افزایش مساحت شده‌اند. این مساله از منظر هدف این مقاله یعنی دستیابی به حداقل مساحت ممکن، عملکرد ضعیف الگوریتم حریص و با درصدی کم‌تر الگوریتم‌های نادر بهینه و حداکثر را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، افزایش محیط در الگوریتم‌های نادر بهینه و حداکثر به نسبت الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده بسیار کم‌تر از الگوریتم حریص بوده است. الگوریتم حریص موجب افزایش قابل توجهی در محیط شبکه‌های حفاظتی منتخب شده است. این مساله باعث پراکندگی و تکه‌تکه شدن بیش از حد لکه‌های حفاظتی می‌شود (شکل ۲۶). همان‌گونه که گفته شد، از لحاظ مدیریتی و بوم‌شناختی لکه‌های فشرده‌تر برای حفاظت بیش‌تر مورد توجه قرار دارند. از این لحاظ الگوریتم حریص عملکرد ضعیفی را در این مقاله ارائه کرده است. درحالی‌که الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده هم از نظر محیط و هم مساحت جواب‌های قابل قبولی را نسبت به سایر الگوریتم‌ها ارائه می‌کند. نتیجه‌ای که در این پژوهش هم‌سو با نتایج ذکر شده در سایر منابع حاصل شد، زمان صرف شده برای اجرای الگوریتم‌ها است. در این پژوهش، زمان صرف شده برای الگوریتم‌های مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده، حریص، نادر بهینه و نادر حداکثر به دلیل کم بودن مساحت منطقه مورد مطالعه چندان زیاد نبود اما در مقایسه، در الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده زمان بیش‌تری نسبت به سه الگوریتم دیگر برای ارائه راه حل بهینه صرف شد. این نتیجه با نتایج موجود در منابع، تصدیق‌کننده ارائه راه‌حل‌های سریع‌تر ولی ساده‌تر توسط این الگوریتم‌های نادر و حریص در مقایسه با الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده است.

تحلیل غیرقابل جایگزین بودن: در الگوریتم مذاب‌سازی

شبیه‌سازی شده ۶۱/۸۳ درصد یگان‌های برنامه‌ریزی در هیچ‌یک از تکرارها انتخاب نشده‌اند. حدود ۱۸٪ از یگان‌های برنامه‌ریزی در کم‌تر از ۴۰ تکرار انتخاب شده‌اند و حدود ۱۱٪ از یگان‌های برنامه‌ریزی در کم‌تر از ۸۰ تکرار انتخاب شده‌اند و تنها حدود ۸/۵ درصد از یگان‌های برنامه‌ریزی بیش از ۸۰ بار در تکرارها حضور داشته‌اند که این موضوع نشان‌دهنده اهمیت آن‌ها در فرایند



بودن آن‌ها نسبت به معیارهای حفاظتی مورد بررسی قرار گرفته است. با کاربرد الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده وابسته به اهداف مختلف، شش معیار حفاظتی به اهداف تعیین شده برای آن‌ها رسیده‌اند. هم‌چنین دو معیار بیش‌تر از هدف تعیین شده برای آن‌ها در راه حل بهینه حضور داشته‌اند. مقایسه الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده با سایر الگوریتم‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده کارایی بهتری در معرف بودن معیارها نسبت به هدف تعیین شده برای آن‌ها دارد. در الگوریتم نادر حداکثر تعداد پنج معیار به هدف تعیین شده برای آن‌ها رسیده‌اند و دو معیار بیش‌تر از حد هدف تعیین شده برای آن‌ها در راه حل بهینه حضور داشته‌اند. اما کارایی رسیدن به اهداف در مورد الگوریتم حریص از دو الگوریتم دیگر نیز کم‌تر است، زیرا در این الگوریتم تنها یک معیار به هدف تعیین شده برای آن رسیده است و دو معیار بیش‌تر از هدف تعیین شده برای آن‌ها در راه حل بهینه حضور داشته‌اند که این مساله باعث افزایش مساحت شبکه حفاظتی منتخب و افزایش هزینه تابع هدف شده است.

بررسی نتایج سناریوهای مختلف حفاظتی نشان داد که منطقه تحت حفاظت موجود در استان البرز از لحاظ دستیابی به اهداف پژوهش کارایی مناسبی ندارد. این منطقه تنها هدف حفاظتی چهار معیار حفاظتی را برآورد می‌کند. در اغلب سناریوها هم‌پوشانی شبکه‌های حفاظتی منتخب با مناطق تحت حفاظت موجود پایین و کم‌تر از ۵۰٪ بوده است. نتایج نشان می‌دهند که پارامترهای مختلفی مانند اهداف حفاظتی تعیین شده، الگوریتم‌های مختلف و میزان فشردگی لکه‌های حفاظتی منتخب در فرآیند اولویت‌بندی در انتخاب سیستماتیک مناطق تحت حفاظت دخیل هستند. در نتیجه اساسی‌ترین مرحله در برنامه‌ریزی حفاظتی، تعیین مقادیر مناسب برای این پارامترها است. بررسی این پارامترها در این پژوهش نشان داد که الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده نتایج قابل قبولی را در تمام موارد ارائه می‌کند و کاربرد آن کمک زیادی به شناسایی بهترین لکه‌های حفاظتی می‌کند.

منابع

- اسفنده، س.، ۱۳۹۴. برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت به‌منظور معرفی مناطق جدید حفاظتی در استان البرز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست. دانشگاه تهران. ۱۸۷ صفحه.

انتخاب مناطق مناسب حفاظت است. از میان این ۸/۵٪، ۱۸٪ یگان‌های برنامه‌ریزی به‌طور مطلق غیرقابل جایگزین بوده‌اند و در همه ۱۰۰ تکرار حضور داشته‌اند. الگوریتم نادر حداکثر از نظر ارائه راه‌حل‌های مختلف کارایی کم‌تری داشته‌است. در این الگوریتم ۸۰/۵ درصد یگان‌های برنامه‌ریزی در هیچ یک از تکرارها انتخاب نشده‌اند. حدود ۱ درصد از یگان‌های برنامه‌ریزی کم‌تر از ۲۰ بار در تکرارها حضور داشته‌اند و ۱۸ درصد از یگان‌های برنامه‌ریزی در بیش‌تر از ۸۰ بار تکرار حضور داشته‌اند که از این میان ۸۳ درصد از یگان‌های برنامه‌ریزی به‌طور مطلق غیرقابل جایگزین بوده‌اند و در همه ۱۰۰ تکرار حضور داشته‌اند. الگوریتم نادر حداکثر عمل نموده است. در این الگوریتم ۱۶/۸۹٪ یگان‌های برنامه‌ریزی به‌طور مطلق غیرقابل جایگزین بوده‌اند و در همه ۱۰۰ تکرار حضور داشته‌اند. هم‌چنین، حدود ۸۳ درصد یگان‌های برنامه‌ریزی در هیچ یک از تکرارها حضور نداشته‌اند. در الگوریتم حریص ۹۲٪ یگان‌های برنامه‌ریزی در هیچ یک از تکرارها انتخاب نشده‌اند. حدود ۸٪ یگان‌های برنامه‌ریزی در ۱۰۰ تکرار انتخاب شده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که از نظر تولید تعداد راه‌حل‌های مختلف پس از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده با ۳۶ درصد، الگوریتم‌های نادر حداکثر با ۳/۲۶ درصد، الگوریتم نادر بهینه با ۰/۸ درصد و الگوریتم حریص با ۰/۰۶ درصد قرار گرفته است. این موضوع نشان‌دهنده این است که الگوریتم حریص و نادر بهینه و نادر حداکثر راه‌حل‌های مختلف بسیار کم‌تری را نسبت به الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده تولید می‌کنند. این نشان می‌دهد که این سه الگوریتم در همه ۱۰۰ تکرار وضعیت مشابه‌ای داشته و تعداد تکرارها تأثیری در کاهش هزینه نهایی تابع هدف (مساحت شبکه حفاظتی منتخب) نداشته است. این نتایج با نتایج مهری و همکاران (۲۰۱۳) و Leslie و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. همان‌گونه که در مقدمه گفته شد، در فرآیند انتخاب مناطق تحت حفاظت، انعطاف‌پذیری برای کشف راه‌حل‌های جایگزین، یکی از مهم‌ترین مسائل است. طراحان و برنامه‌ریزان نیازمند ارزیابی دامنه‌ای از راه‌حل‌های قابل قبول برای رسیدگی به سایر ملاحظات مانند نیازهای اقتصادی و سیاسی هستند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده از این نظر بسیار خوب عمل می‌کند و کارایی بالایی در نیازهای اقتصادی و سیاسی جستجوی فضای تصمیم‌گیری و ارائه راه‌حل‌های قابل قبول دارد.

بررسی کارایی معرف بودن معیارهای حفاظتی: براساس شکل ۳۶، کارایی الگوریتم‌ها و اهداف حفاظتی مختلف در معرف

- Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia, and Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, British Columbia, Canada, viewed ۱۰ December ۲۰۱۰.
۲. مومنی، ا.، ۱۳۹۰. انتخاب سیستماتیک لکه‌های حفاظتی استان گلستان با استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست. دانشگاه تهران. ۱۴۰ صفحه.
۳. مهری، آ.، ۱۳۹۱. اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با استفاده از هوش مصنوعی (مطالعه موردی: استان مازندران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۲۲۶ صفحه.
۴. میرزایی، ر.؛ همای، م.؛ اسماعیلی‌ساری، ع. و رضایی، ح.، ۱۳۹۲. مدل‌سازی پراکنش دلیجه کوچک در استان گلستان. پژوهش‌های محیط زیست. سال ۴، شماره ۸، صفحه ۱۴۹ تا ۱۵۶.
۵. Ardron, J.A.; Possingham, H.P. and Klein, C.J., ۲۰۰۸. Marxan good practices handbook. External review version, ۱۷ May, ۲۰۰۸. Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, BC, Canada. ۱۵۵ p, viewed ۱۰ December ۲۰۱۰, www.pacmara.org.
۶. Edwards, H.J.; Elliott, I.A.; Pressey, R.L. and Mumby, P.J., ۲۰۱۰. Incorporating ontogenetic dispersal, ecological processes and conservation zoning into reserve design. *Biological Conservation*, Vol. ۱۴۳, No. ۲, pp: ۴۵۷-۴۷۰.
۷. Esfandeh, S.; Kaboli, M. and Eslami-Andargoli, L., ۲۰۱۵a. Marxan as a tool for systematic conservation planning in seascape. A chronological review. *Research & Reviews: Journal of Ecology and Environmental Sciences*. Vol. ۳, No. ۴, pp: ۱-۱۰.
۸. Esfandeh, S.; Kaboli, M. and Eslami-Andargoli, L., ۲۰۱۵b. A Chronological review on application of MARXAN tool for systematic conservation planning in landscape. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*. Vol. ۲, NO.۱۲, pp: ۶-۱۷.
۹. Game, E.T. and Grantham, H.S., ۲۰۰۸. Marxan User Manual: For Marxan version ۱.۸.۱۰. University of Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia, and Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, British Columbia, Canada, viewed ۱۰ December ۲۰۱۰.
۱۰. Hermoso, V.; Filipe, A.F.; Segurado, P. and Beja, P., ۲۰۱۵. Filling gaps in a large reserve network to address freshwater conservation needs. *Journal of Environmental Management*. Vol. ۱۶۱, pp: ۳۵۸-۳۶۵.
۱۱. Junker, J.; Boesch, C.; Freeman, T.; Mundry, R.; Stephens, C. and Kühl, H.S., ۲۰۱۵. Integrating wildlife conservation with conflicting economic land-use goals in a West African biodiversity hotspot. *Basic and Applied Ecology*. In Press, Corrected Proof .
۱۲. Leslie, H.; Ruckelshaus, M.; Ball, I. R.; Andelman, S. and Possingham, P.H., ۲۰۰۳. Using siting algorithms in the design of marine reserve networks. *Ecological Applications*. Vol. ۱۳, No. ۱, pp: ۱۸۵-۱۹۸.
۱۳. Malcolm, H.A.; Foulsham, E.; Pressey, R.L.; Jordan, A.; Davies, P.L.; Ingleton, T.; Johnstone, N.S.; Hessey, S.D. and Smith, A., ۲۰۱۲. Selecting zones in a marine park: Early systematic planning improves cost-efficiency; combining habitat and biotic data improves effectiveness. *Ocean & Coastal Management*. Vol. ۵۹, pp: ۱-۱۲.
۱۴. Margules, C.R.; Pressey, R.L. and Williams, P.H., ۲۰۰۲. Representing biodiversity: data and procedures for identifying priority areas for conservation. *J. Biosci.* Vol. ۲۷, No. ۴, pp: ۳۰۹-۳۲۶.
۱۵. Phillips, S.J.; Anderson, R.P. and Schapire, R.E., ۲۰۰۶. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*. Vol. ۱۹۰, pp: ۲۳۱-۲۵۹.



۱۶. **Sarkar, S. and Margules, C., ۲۰۰۲.** Operationalizing biodiversity for conservation planning. *BioScience*. Vol. ۲۷, No. ۴, pp: ۲۹۹-۳۰۸.
۱۷. **Smith, R.G.; Goodman, P.S. and Matthews, W.S., ۲۰۰۶.** Systematic conservation planning: a review of perceived limitations and an illustration of the benefits, using a case study from Maputaland, South Africa, *oryx*. Vol. ۴۰, No. ۴, pp: ۴۰۰-۴۱۰.
۱۸. **Stewart, R.R. and Possingham, H.P., ۲۰۰۵.** Efficiency, costs and trade-offs in marine reserve system design. *Environmental Modeling and Assessment*. Vol. ۱۰, No. ۳, pp: ۲۰۳-۲۱۳.
۱۹. **Zhang, L.; Xu, W.H.; Ouyang, Z.Y. and Zhu, C.Q., ۲۰۱۴.** Determination of priority nature conservation areas and human disturbances in the Yangtze River Basin, China. *Journal for Nature Conservation*. Vol. ۲۲, No. ۴, pp: ۳۲۶-۳۳۶.

