

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

- **سرور اسفنده*:** گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، صندوق پستی: 6619-14155
 - **محمد کابلی:** گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، صندوق پستی: 6619-14155
 - **لیلا اسلامی:** مرکز تحقیقاتی آینده محیط‌زیست، دانشگاه گرفت، کوئینز لند، استرالیا
- تاریخ دریافت: بهمن 1394 تاریخ پذیرش: اردیبهشت 1395

چکیده

با توجه به اهمیت و لزوم حفظ تنوع زیستی برای حفاظت از تنوع زیستگاه‌ها و جمعیت‌های حیات وحش 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 30، 40، 50 و 60 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 49/5 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

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، 2000). 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، 2006). طرح‌ریزی سیستماتیک مناطق تحت حفاظت یکی از روش‌های جدید در

مناطق حفاظت‌شده اغلب بر مبنای روش سیستماتیک انتخاب نشده‌اند و عمدتاً در مکان‌هایی قرار گرفته‌اند که نماینده (representative) تنوع زیستی منطقه مورد نظر نیستند (Sarkar و Margules، 2002). بطور 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



حیات‌وحش و تنوع‌زیستی در خلال فعالیت‌های چوب‌بری و معدن‌کاری می‌پردازد. Zhang و همکاران (2014) به تعیین اولویت‌های مناطق حفاظتی برای حفظ تنوع‌زیستی با توجه به دخالت‌های انسانی در حوضه رودخانه یانگ‌تسه پرداخته‌اند. برای تعیین مجموعه بهینه‌ای از مناطق با توجه به سه سناریوی هدف مختلف از نرم‌افزار Marxan استفاده شده است. Malcolm و همکاران (2012) به انتخاب زون‌های حفاظتی در یک پارک دریایی با هدف کاهش هزینه‌ها و برآورده کردن اهداف حفاظتی با استفاده از نرم‌افزار Marxan پرداخته‌اند. منطقه مورد مطالعه پارک دریایی جزایر سولیتاری می‌باشد. Edwards و همکاران (2010) 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 به کارگیری 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 به عنوان ورودی‌های نرم‌افزار تصمیم‌گیرنده Marxan و پیاده‌سازی روش معرفی شده در این مقاله در استان البرز ایران می‌باشد.

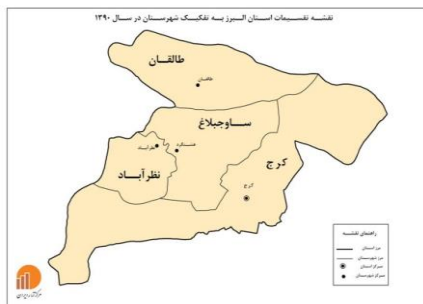
این مقاله به منظور حفاظت از تنوع زیستگاه‌ها و جمعیت‌های حیات‌وحش به اولویت‌بندی مناطق مناسب و انتخاب مناسب‌ترین لکه‌ها برای حفاظت در استان البرز ایران می‌پردازد. به این منظور از معیارهای حفاظتی شامل زیستگاه بالقوه هشت گونه جانور استفاده شده است. به منظور اولویت‌بندی از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار Marxan استفاده شده و نتایج با الگوریتم‌های حریص و نادر مقایسه می‌شود. در این مقاله هدف، حفاظت حداقل 30، 40، 50 و 60 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 512 هزار هکتار بین 35 درجه و 31 دقیقه تا 36 درجه و 21 دقیقه عرض شمالی و 50 درجه و 10 دقیقه تا 51 درجه و 30 دقیقه طول شرقی واقع شده است. موقعیت جغرافیایی این استان در شکل 1 دیده می‌شود. استان البرز در دامنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز قرار گرفته است. این بخش از ارتفاعات البرز مرتفع‌ترین قله البرز را به خود اختصاص داده است. این استان به لحاظ وضعیت خاص توپوگرافی و اقلیمی، از غنای کم‌نظیر پوشش گیاهی برخوردار است. در استان البرز گونه‌های جانوری مختلفی

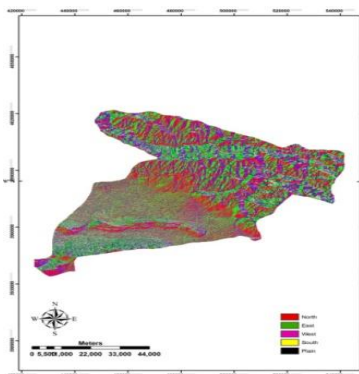
این زمینه است. طرح‌ریزی سیستماتیک مناطق تحت حفاظت، مکان‌یابی، طراحی و مدیریت مناطق تحت حفاظتی را شامل می‌شود که بطور جامع نماینده‌ایی از تنوع زیستی منطقه باشند (Ardron و همکاران، 2008). به طور معمول در طرح‌ریزی سیستماتیک مناطق تحت حفاظت به منظور شناسایی شبکه‌های حفاظتی که در برگیرنده اهداف حفاظتی با کمترین هزینه ممکن هستند از نرم‌افزارهای کامپیوتری استفاده می‌شود. نرم‌افزارهای طرح‌ریزی اغلب به منظور ورود، تحلیل و نمایش داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، اخیراً بسته‌های نرم‌افزاری شامل CLUZ (Conservation Land-Use Zoning software)، Marxan، Cplan، Marxan و Zonation (Networks Conservation) با داشتن دانش پایه‌ای از نرم‌افزارهای سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، هر کاربر می‌تواند بخوبی از آن‌ها استفاده کند (Smith و همکاران، 2006). در زمینه انتخاب سیستماتیک مناطق تحت حفاظت، به منظور بهینه‌سازی فرایند انتخاب و چینش فضایی لکه‌های مناسب حفاظت، انواع مختلفی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. الگوریتم‌های بهینه‌سازی به چهار دسته الگوریتم‌های شمارشی، محاسباتی، ابتکاری و فراابتکاری تقسیم می‌شوند. در این مقاله از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده از دسته الگوریتم‌های فراابتکاری در قالب نرم افزار 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 حفاظت شده در مناطق خشکی و دریایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. Esfandeh و همکاران (2015-الف) و (2015-ب) به مرور مقالات در مورد کاربرد نرم‌افزار Marxan در انتخاب سیستماتیک مناطق حفاظت‌شده در مناطق دریایی و خشکی پرداخته‌اند. مومنی (1390) 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 20 درصد از زیستگاه گونه‌های جانوری را پوشش دهد. مهری (1391) به منظور حفاظت از تنوع زیستگاه‌ها و جمعیت‌های حیات‌وحش به اولویت‌بندی مناطق مناسب و انتخاب مناسب‌ترین لکه‌ها برای حفاظت در استان مازندران پرداخت. Hermoso و همکاران (2015) 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 تنوع‌زیستی اکوسیستم‌های آب‌شیرین در پنیسولای لیبریا پرداختند. Junker و همکاران (2015) 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 حفاظت شده موجود با توجه به اهداف حفاظتی تعیین‌شده و پتانسیل تخریب و از دست رفتن

شکل 1: نقشه موقعیت جغرافیایی استان البرز در ایران

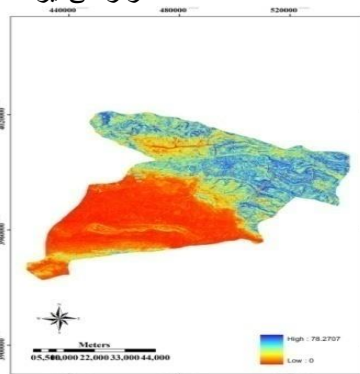


شکل 2: نقشه تقسیمات سیاسی استان البرز

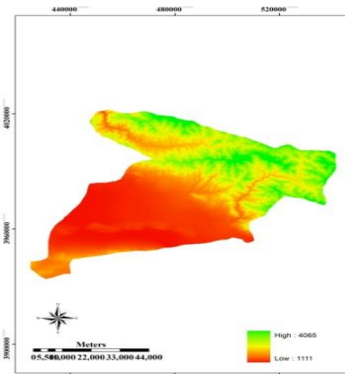
پایگاه داده: برای تعیین سیستماتیک مناطق حفاظت شده با استفاده از نرم افزار Marxan در این مقاله نیاز به پایگاه داده مورد نیاز این نرم افزار می باشد. البته فاکتورهایی که در مدل سازی مطلوبیت زیستگاه گونه ها مورد استفاده قرار می گیرند باید با توجه به نوع گونه ها انتخاب شوند. لذا بر این اساس ابتدا فاکتورهای محیط زیستی موثر بر پراکنش گونه ها با استفاده از مطالعات کتابخانه ای و مرور منابع، لایه های رقومی موجود و داده های 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 نقشه های رقومی هستند که در نرم افزار ArcGIS 9.3 تهیه شده اند. در شکل 3 این نقشه ها دیده می شوند. لازم بذکر است که برای مدل سازی مطلوبیت زیستگاه هر گونه، تمام یا بخشی از این نقشه ها مورد استفاده قرار می گیرد.



(ج) نقشه طبقه بندی شده جهت



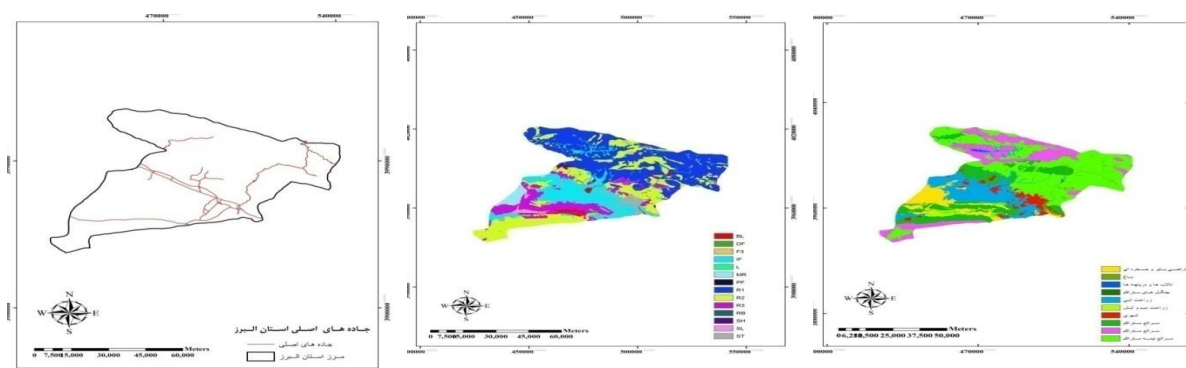
(ب) نقشه شیب در استان البرز



(الف) نقشه ارتفاع استان البرز

همچون کل و بز، قوچ و میش، پلنگ، خوک، خرس قهوه ای، گرگ، گراز، آهو، روباه، انواع مار، کرکس، بلدرچین، کبک دری، کبک، شاهین، عقاب و انواع گنجشک سانان دیده می شود. منطقه حفاظت شده موجود در حدود 64119 هزار هکتار است که معادل 12/51 درصد از کل مساحت استان را شامل می شود. در شکل 2 نقشه تقسیمات سیاسی استان البرز دیده می شود. لازم به ذکر است که این مطالعه با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده در سال 1394 انجام شده است.





(د) نقشه کاربری اراضی و نمودار فراوانی (ه) نقشه و نمودار فراوانی تیپ‌های پوشش گیاهی (و) نقشه جاده‌های اصلی در استان

شکل 3: نقشه‌های مورد نیاز برای مطالعه

روش 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 2006). 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، 1392). در شکل 4 نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه هشت گونه معرفی شده در استان البرز که بوسیله نرم‌افزار MaxEnt بدست آمده‌اند دیده می‌شوند. این شکل نقشه‌های پیوسته در محدود 0-1 می‌باشد که بر این اساس هرچه به یک نزدیک‌تر شود احتمال حضور گونه بیشتر خواهد شد. داده‌ها و تنظیماتی نظیر تعداد نقاط حضور و فاکتورهای زیستگاهی که در مدل‌سازی به کار گرفته شده‌اند در (اسفنده و همکاران، 1394) به طور کامل ارائه شده‌اند.

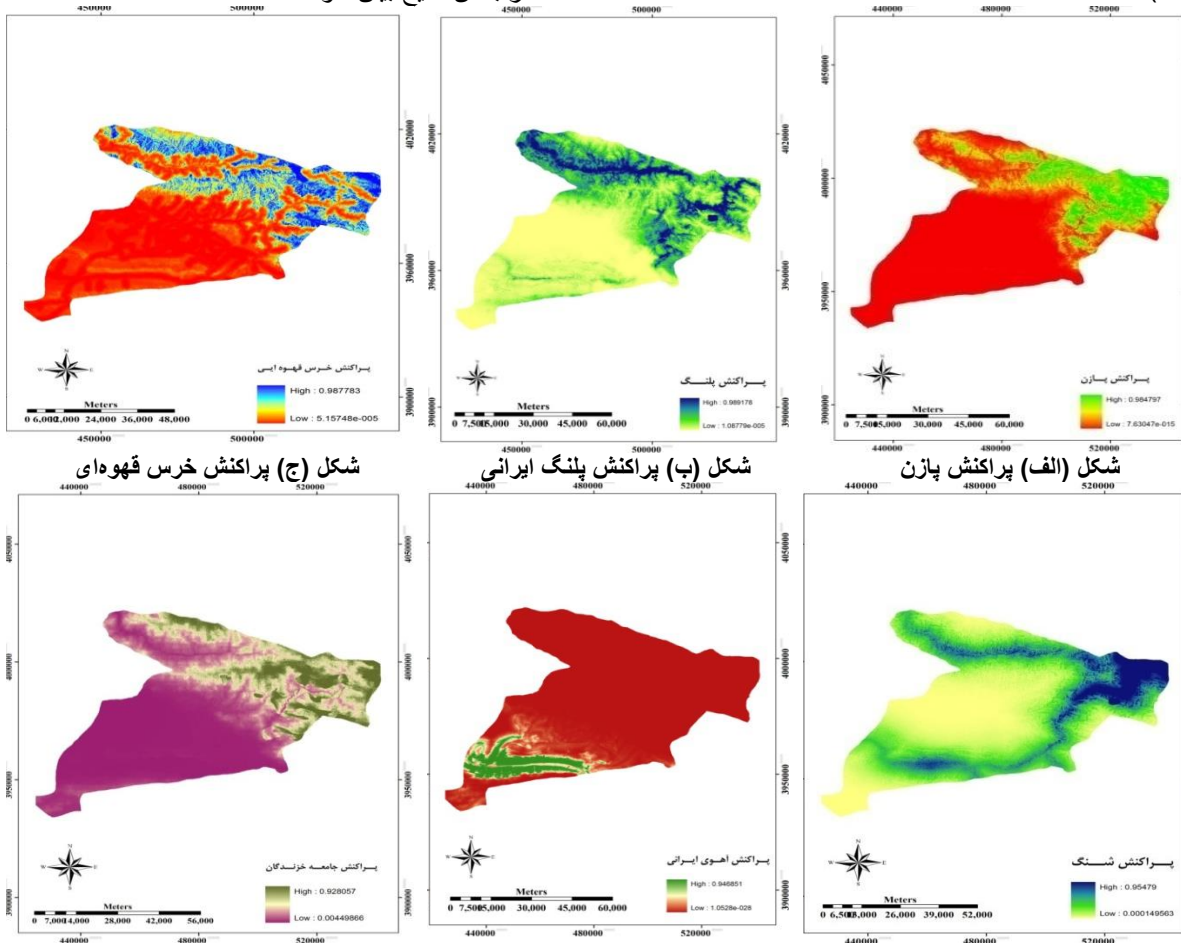
اولویت‌بندی: نرم‌افزار Marxan الگوریتم‌های مختلفی را جهت انتخاب مناطق تحت حفاظت در اختیار کاربر قرار می‌دهد. اما مزیت اصلی آن در استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده است. به هر حال Marxan الگوریتم‌های ساده‌تر اما سریع‌تری را نیز در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این الگوریتم‌ها شامل انواع الگوریتم‌های ابتکاری همانند حریص، نادر و الگوریتم بهبودیافته تکراری است (Ardron و همکاران، 2008). نرم‌افزار امکان استفاده هر کدام از این الگوریتم‌ها را به تنهایی و یا به صورت ترکیبی در اختیار کاربر قرار می‌دهد. مفیدترین روش، استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده به همراه الگوریتم بهبودیافته تکراری است. زیرا الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده به طور موثر به جستجوی فضای تصمیم‌گیری و رامحل‌ها می‌پردازد و سپس الگوریتم بهبودیافته تکراری تضمین می‌کند که راه حل منتخب بهترین گزینه در فضای تصمیم‌گیری است. در این مقاله از الگوریتم مذاب-

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، به عنوان 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 پنج گونه پستاندار شامل کل و بز (*Capra aegagrus*)، خرس قهوه‌ای (*Ursus arctus*)، پلنگ ایرانی (*Panthera pardus*)، شنگ (*Lutra lutra*) و آهو (*Gazella*) انتخاب شدند. همچنین باتوجه به اهمیت حفظ زیستگاه پرندگان در فرایند انتخاب مناطق حفاظت شده این گونه‌ها تحت عنوان دو گروه پرندگان شکاری استان که شامل گونه‌های عقاب طلایی (*Aquila chrysaetos*)، عقاب شاهی (*Aquila heliaca*)، کبک دری، قرقی (*Accipiter nisus*)، سارگپه پا بلند (*Buteo rufinus*)، دلیجه (*Kestrel*)، شاهین، شاه بوف (*Bubo 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 لائسترای ایرانی (*Eremias persia*) استفاده شد. همانطور که در بالا گفته شد پرندگان شکاری، آبی و کنار آبی و خزندگان به‌جای گونه به صورت 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. به منظور تهیه و تعیین مناطق مطلوب زیستگاهی برای این گونه‌ها ابتدا نقاط حضور این گونه‌ها با GPS ثبت شد. سپس مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه بالقوه پستانداران و جامعه پرندگان و خزندگان به

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 33 تا 99 درصد تخمین زده شده است (مهری، 1391). در این مطالعه، در سناریوهای مختلف اهداف 30، 40، 50 و 60 درصد اجرا شده است و نتایج حاصل با هم مورد مقایسه قرار گرفتند. BLM^2 یک پارامتر ورودی برای نرم افزار بوده که میزان تراکم و تکه تکه شدگی شبکه حفاظتی پیشنهادی را نشان می دهد. افزایش آن باعث کاهش کل مرز شبکه حفاظتی و افزایش تراکم لکه ها می شود. 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 منتخب ارائه نماید. مناطق فشرده تر و با تکه تکه شدگی کمتر از لحاظ بوم-شناختی و اجتماعی-سیاسی بیشتر قابل قبول هستند. این مناطق جابجایی موجودات و انتقال مواد و همچنین مدیریت را تسهیل می کنند (Leslie و همکاران، 2003). در این مطالعه مقادیر مختلفی برای BLM در نظر گرفته شده است که در بخش نتایج بیان خواهد شد.

سازی شبیه سازی شده به همراه الگوریتم بهبود یافته تکراری استفاده شده است. همچنین، الگوریتم بهبود یافته دارای انواع مختلف است ولی در در این پژوهش از حالت معمول آن استفاده شده است. این نرم افزار برای انجام محاسبات، حداقل به ورودی های یگان های برنامه ریزی¹، ویژگی های حفاظتی و طول مرز احتیاج دارد. یگان برنامه ریزی در این مطالعه حوزه آبریز انتخاب شده است. حوزه های آبریز با منیم سطح 50 هکتار به عنوان یگان های برنامه ریزی انتخاب شده و منطقه مورد مطالعه به 1024 یگان برنامه ریزی تقسیم شده است. در این مطالعه هزینه انتخاب منطقه، مساحت کل یگان های انتخاب شده برای حفاظت در نظر گرفته شد. البته باید توجه داشت که سایر هزینه های جایگزین مانند فاصله از جاده ها، شهرها و مناطق تمرکز جمعیت انسان، به طور غیرمستقیم از طریق دخالت در مدل سازی زیستگاه گونه ها، در انتخاب نهایی مناطق مناسب حفاظت دخالت داده خواهند شد. ویژگی های حفاظتی شامل سناریوها و اهداف حفاظتی می باشند. واحد هر یک از اهداف حفاظتی تعیین شده برای معیارهای حفاظتی متفاوت است (Game و Grantham، 2008). در این مقاله اهداف حفاظتی به صورت حداقل



1 - planning unit file

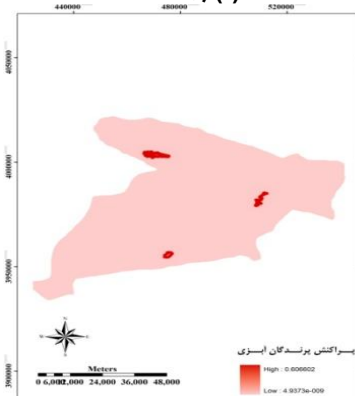
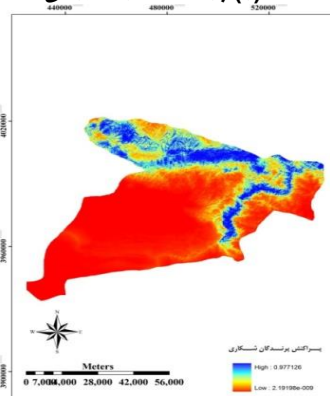
2 - Boundary Length Modifier(BLM)



شکل (ز) پراکنش جامعه خزندگان

شکل (ر) پراکنش آهوی ایرانی

شکل (د) پراکنش شنگ



شکل (ه) پراکنش پرندگان آبی و کنار آبی
شکل (و) پراکنش پرندگان شکاری
شکل 4: نقشه پراکنش هشت گونه جانور مورد استفاده در این مطالعه

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 30 درصد هر معیار حفاظتی در نظر گرفته شده است. یعنی سطحی از منطقه حفاظت شده که حداقل 30 درصد 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 30 درصد، 100 تکرار اجرای مدل، 10000000 تکرار اجرای الگوریتم در هر تکرار مدل و با BLMهای 0، 0/01، 1، 10، 20، 30، 40، 50، 60، 70، 100، 500 و 1000 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 30 درصد، 100 تکرار اجرای مدل، 10000000 تکرار اجرای الگوریتم در هر تکرار مدل، و با BLMهای 0، 0/01، 1، 10، 20، 30، 40، 50، 60، 70، 100، 500 و 1000 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 30، 40، 50 و 60 درصد حفاظت هر معیار بررسی شده است. تمام شرایط و پارامترها همانند سناریو سوم تنظیم شده است. به استثناء BLM که در تعداد کمتری شامل BLMهای 0، 10، 20، 40، 60 و 100 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 حریم و دو نوع الگوریتم نادر

فلوچارت پیدا کردن راه حل بهینه در میان رامحل‌های ممکن با اجرای نرم‌افزار بوسیله الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی در شکل 5 نشان داده شده است.

در هرتکرار، یک یگان برنامه‌ریزی به طور 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 به صورت مجموع چهار جمله است:

$$f(i) = \underbrace{\sum_{PU's} \text{هزینه}}_1 + \underbrace{BLM \sum_{PU's} \text{مرز}}_2 + \underbrace{\sum_{\text{ConValue}} SPF \times \text{جریمه}}_3 + \underbrace{\sum \text{جریمه هزینه آستانه}}_4$$

1- مجموع هزینه‌های مرز برای هر یگان مرزی
2- جریمه عدم دستیابی به اهداف حفاظتی

3- هزینه تکه‌تکه شدگی لکه‌های انتخاب شده، به صورت طول مرز موثر بین یگان‌های برنامه‌ریزی

4- جریمه افزایش هزینه کل به بالاتر از حد آستانه مطلوب
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 رامحل جمعی و فایل رامحل بهینه هستند. فایل رامحل 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 رامحل بهینه از بین همه تکرارها بهترین رامحل 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.

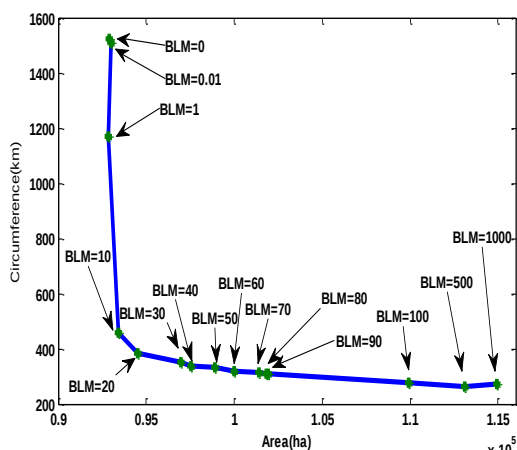
سناریوها



است و نتایج آن با مقدار مشابه آن در الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده مقایسه شده است.

در سناریو بعد در جهت انتخاب مناطق جدید برای حفاظت معیارها اقدام شد.

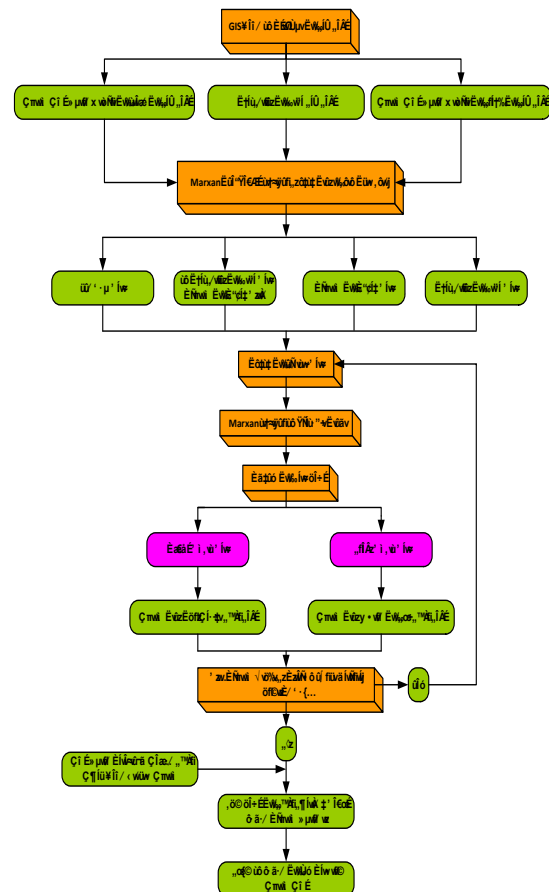
سناریو دوم: این سناریو برای انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید و تکمیل شبکه حفاظتی موجود با هدف حفاظت 30 درصد هر معیار حفاظتی اجرا شده است. پس از هر بار اجرای Marxan تحت BLMهای مختلف یک راحل نهایی تولید می‌شود. این راحل‌ها شامل یک نقشه اولویت‌بندی و یک نقشه بهترین لکه‌های مناسب حفاظت برای هر BLM است. برای تعیین بهترین BLM نمودار محیط در برابر مساحت برای هر BLM ترسیم شد. این نمودار برای این سناریو در شکل 6 نشان داده شده است.



شکل 6: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLMهای مختلف در سناریو دوم

همان طور که در این شکل مشخص است، نسبت محیط به مساحت در BLMهای 20، 10 و 30 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 پراکنندگی لکه‌ها (محیط کل شبکه) زیاده‌تر است و نتایج خوبی ارائه نمی‌شود. مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت منتخب در هر BLM در جدول 1 نشان داده شده است. در نتیجه با بررسی‌های انجام شده در نهایت BLM معادل 20 به عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب شد. نتایج حاصل از این BLM در شکل‌های 7 و 8 ارائه داده شده است. لازم به ذکر است که در نقشه‌های اولویت‌بندی، ارزش‌ها نشان‌دهنده تعداد دفعات انتخاب یگان در کل 100 تکرار است و با افزایش آن، اولویت یگان برای حفاظت افزایش می‌یابد.

شامل الگوریتم نادر بهینه¹ و الگوریتم نادر حداکثر² مقایسه شده است. تمام شرایط و پارامترها همانند سناریو سوم تنظیم شده است. به استثناء BLM که فقط با مقدار 20 اجرا شده



شکل 5: نمودار جریان فرآیند اولویت‌بندی و انتخاب مناطق مناسب حفاظت با استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده

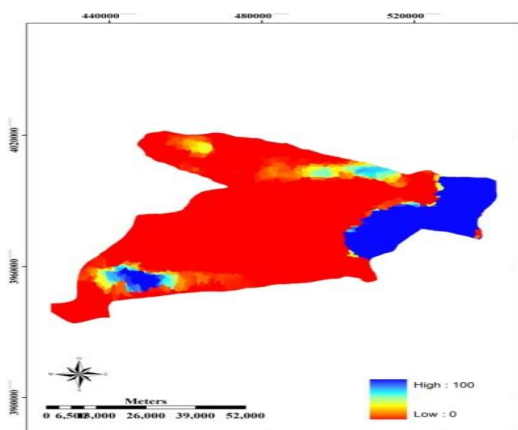
نتایج

سناریو اول: در این سناریو کارایی تنها منطقه تحت حفاظت موجود در استان البرز با در نظر گرفتن هدف حفاظت 30 درصد هر یک از معیارهای حفاظتی، بدون انتخاب مناطق جدید، مورد 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 قهوه‌ای 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،

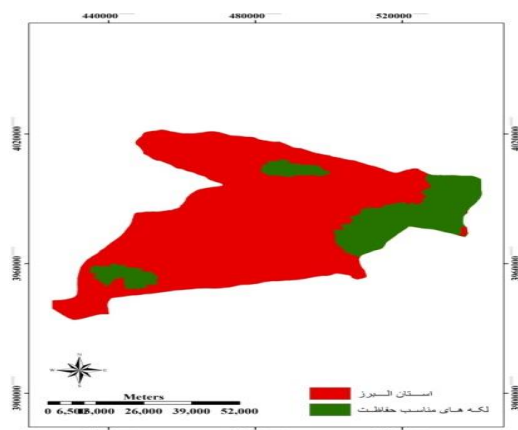


جدول 1: مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت انتخاب شده در سناریو دوم

BLM	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد پوشش سطح استان
0	92898/18	1525/19	18/13
0/01	92976/21	1508/09	18/15
1	92830/68	1170/17	18/12
10	93439/35	458/15	18/24
20	94536/63	382/01	18/45
30	96950/97	349/43	18/92
40	97543/98	338/81	19/04
50	98910/54	330/89	19/31
60	99980/64	320/75	19/52
70	101388/06	313/25	19/79
80	101801/52	310/61	19/87
90	101911/59	311/39	19/89
100	109924/92	277/55	21/46
500	113085/27	264/23	22/07
1000	114906/87	270/65	22/43

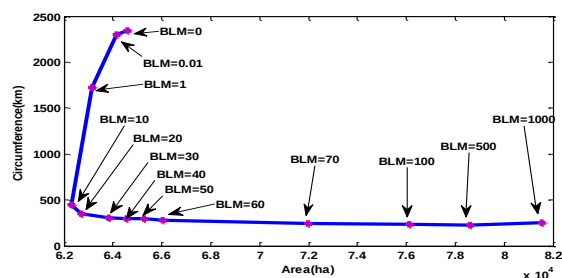


شکل 8: اولویت‌بندی لکه‌های مناسب حفاظت با BLM معادل 20 در سناریو دوم



شکل 7: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با BLM معادل 20 در سناریو دوم

انتخاب شد. نتایج حاصل از این BLM در شکل‌های 10 و 11 ارائه شده است.



شکل 9: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLM‌های مختلف در سناریو سوم

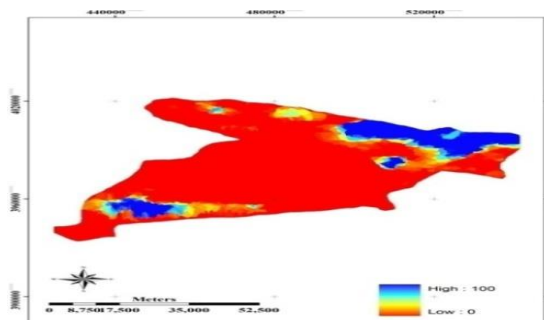
سناریو سوم: این سناریو نیز با هدف حفاظت 30 درصد هر معیار حفاظتی اجرا شده است و تمامی یگان‌های برنامه‌ریزی دارای وضعیت مشابه برای انتخاب هستند. حضور مناطق تحت حفاظت موجود در این سناریو الزامی نیست و وابسته به مطلوبیت آن‌هاست. در این سناریو نیز برای پیدا کردن بهترین نتیجه میان BLM‌های مختلف نمودار محیط در برابر مساحت برای هر BLM در ترسیم شد. این نمودار برای این سناریو در شکل 9 نشان داده شده است. در این سناریو نیز نسبت محیط به مساحت در BLM‌های 10، 20، 30 نسبت به سایر مقادیر دارای وضعیت بهتری است. مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت منتخب در هر BLM در جدول 2 نشان داده شده است. با بررسی انجام شده در نهایت BLM معادل 20 به عنوان بهترین گزینه

جدول 2: مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت انتخاب شده در سناریو سوم

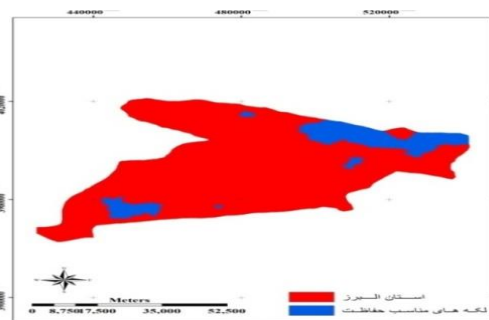
BLM	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد پوشش سطح استان	درصد همپوشانی با مناطق تحت حفاظت موجود
-----	---------------	----------------	---------------------	--



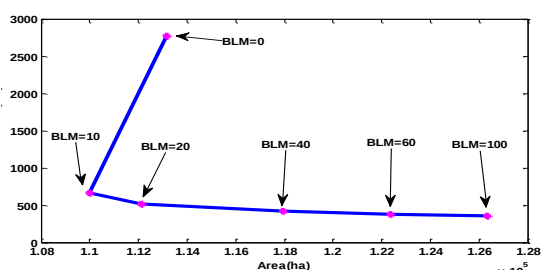
26/00	12/61	2348/81	64586/88	0
25/81	12/52	2299/91	64139/94	0/01
23/78	12/32	1723/25	63131/04	1
23/57	12/16	451/79	62296/38	10
21/10	12/23	350/03	62684/28	20
18/42	12/45	309/05	63809/10	30
23/22	12/60	296/51	64554/3	40
23/09	12/74	292/61	65275/02	50
22/66	12/89	280/91	66032/46	60
17/22	14/05	244/73	71994/69	70
10/59	14/86	237/17	76116/06	100
29/16	15/34	230/09	78604/38	500
22/74	15/91	254/57	81528/03	1000



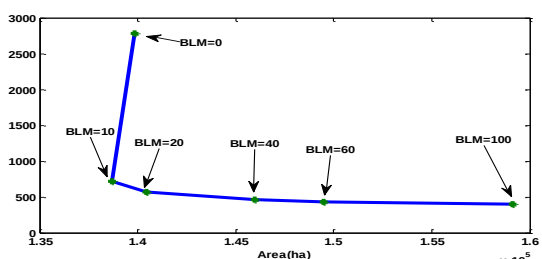
شکل 11: اولویت‌بندی لکه‌های مناسب حفاظت با BLM معادل 20 در سناریو سوم



شکل 10: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با BLM معادل 20 در سناریو سوم

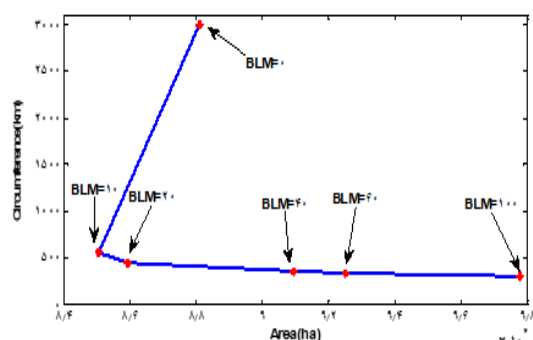


شکل 13: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLM های مختلف در سناریو چهارم با هدف 50 درصد



شکل 14: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLM های مختلف در سناریو چهارم با هدف 60 درصد

سناریو چهارم: نرم‌افزار Marxan در این سناریو با اهداف 40، 50 و 60 درصد اجرا شده است و نتایج حاصل با اهداف 30 درصد مورد مقایسه قرار گرفته است. سپس برای یافتن مناسب‌ترین نتیجه بین BLM های مختلف، نمودار محیط در برابر مساحت برای هر هدف ترسیم شد. این نمودارها در شکل‌های 12 تا 14 نشان داده شده‌اند.



شکل 12: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLM های مختلف در سناریو چهارم با هدف 40 درصد

اهداف حفاظتی در مجموعه‌ای از مناطق تحت حفاظت با درجات متفاوتی از پراکندگی و تکه‌تکه‌شدگی امکان‌پذیر است. مقادیر محیط و مساحت شبکه‌های منتخب در سناریو

مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت منتخب در هر BLM و برای اهداف مختلف در جدول 3 نشان داده شده است. نتایج این سناریو نشان دادند که رسیدن به



های دوم و سوم BLM‌های مختلف در شکل‌های 15 و 16 نشان داده شد. همان‌گونه که مشخص است، با افزایش این پارامتر مساحت شبکه حفاظتی در هر دو سناریو افزایش می‌یابد. برعکس، محیط شبکه حفاظتی با افزایش آن کاهش

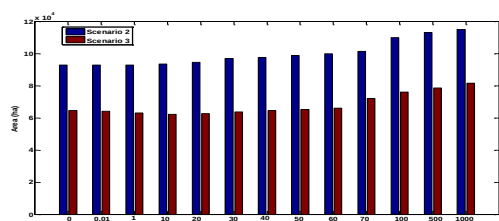
می‌یابد. همان‌گونه که از نقشه‌های حاصل از این دو سناریو مشخص است مناطق با فشردگی بیشتر گرایش به محیط کمتر ولی مساحت بیشتر دارند. همانطور که گفته شد، مناطق فشرده‌تر و با تکه‌تکه شدگی کمتر از لحاظ بوم شناختی و اجتماعی-سیاسی مناسبتر هستند.

جدول 3: مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت منتخب در هر BLM و برای اهداف مختلف

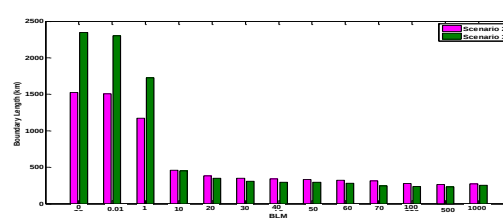
هدف	BLM	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد سطح پوشش استان	درصد همپوشانی با مناطق تحت حفاظت موجود
40	0	88093/53	2696/75	17/20	29/90
	10	85055/85	558/23	16/60	29/01
	20	85920/66	444/65	16/77	27/91
	40	90929/07	355/13	17/75	38/13
	60	92490/93	336/65	18/05	31/83
	100	97763/04	300/05	19/08	27/33
	0	113166/63	2772/05	22/09	36/74
50	10	109975/68	660/89	21/47	35/25
	20	112116/51	518/03	21/89	40/63
	40	117933/48	419/93	23/02	39/42
	60	122373/00	382/55	23/89	33/79
	100	126320/49	357/89	24/66	31/47
	0	139863/69	2786/93	27/30	46/26
	10	138665/52	713/33	27/07	43/10
60	20	140425/38	571/19	27/41	49/52
	40	145959/12	466/01	28/49	40/17
	60	149483/52	432/89	29/18	43/27
	100	159114/15	397/01	31/06	40/52

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 20 در هر سه هدف

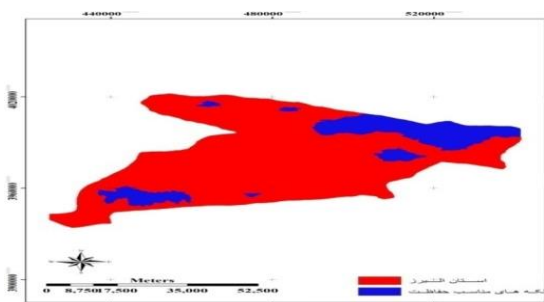
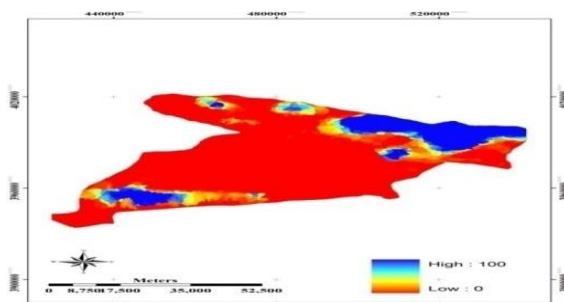
نتایج بهتری را ارائه می‌نماید. نتایج حاصل از این BLM برای اهداف مختلف در شکل‌های 17 تا 22 ارائه شده است.



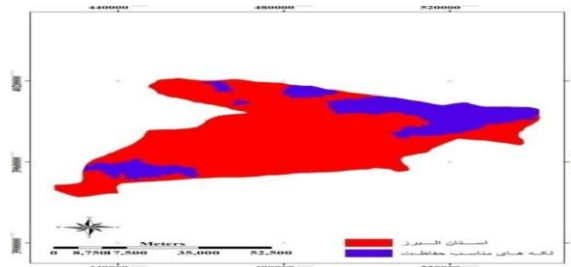
شکل 16: مقادیر مساحت شبکه‌های منتخب در سناریوهای دوم و سوم در BLM‌های مختلف



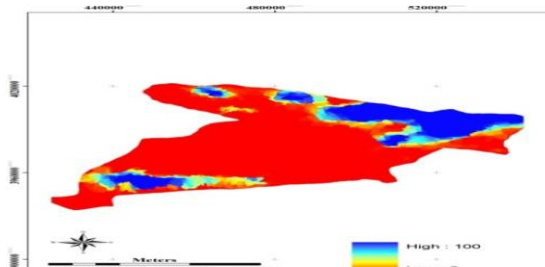
شکل 15: مقادیر محیط شبکه‌های منتخب در سناریوهای دوم و سوم در BLM‌های مختلف



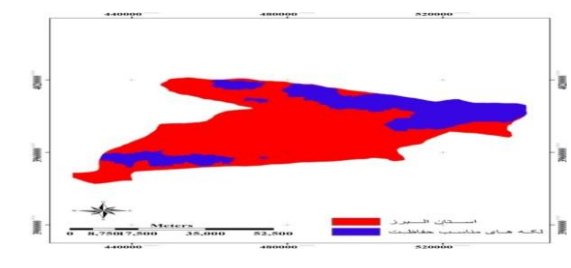
شکل 17: پراکنش لکه های مناسب حفاظت با BLM معادل 20 در سناریو چهارم با هدف 40 درصد



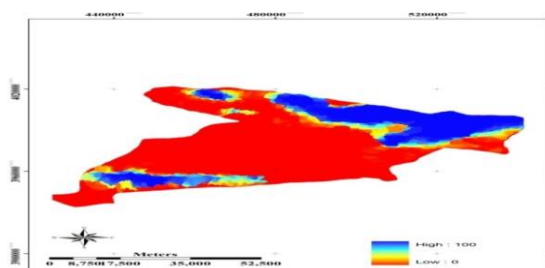
شکل 18: اولویت بندی مناطق مناسب حفاظت با BLM معادل 20 در سناریو چهارم با هدف 40 درصد



شکل 19: پراکنش لکه های مناسب حفاظت با BLM معادل 20 در سناریو چهارم با هدف 50 درصد



شکل 20: اولویت بندی مناطق مناسب حفاظت با BLM معادل 20 در سناریو چهارم با هدف 50 درصد

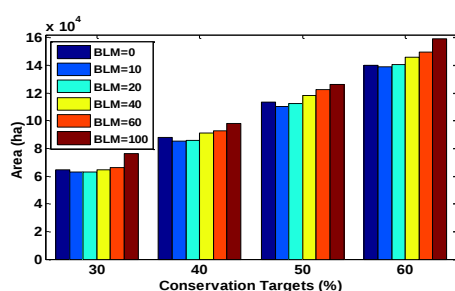


شکل 21: پراکنش لکه های مناسب حفاظت با BLM معادل 20 در سناریو چهارم با هدف 60 درصد

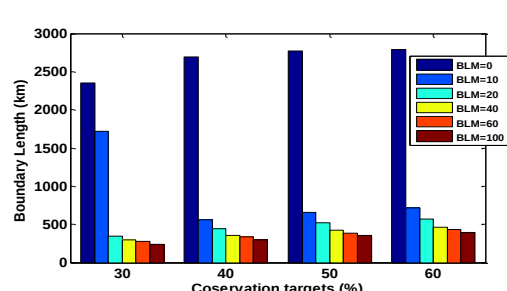
در سناریو چهارم بدون در نظر گرفتن مناطق تحت حفاظت موجود، منطقه با اهداف مختلف حفاظت 30، 40، 50 و 60 درصد هر معیار اولویت بندی شد و بهترین لکه ها برای حفاظت معرفی شدند. مقادیر محیط و مساحت شبکه های منتخب در اهداف و در BLM های مختلف در شکل های 23

شکل 22: اولویت بندی مناطق مناسب حفاظت با BLM معادل 20 در سناریو چهارم با هدف 60 درصد

و 24 نشان داده شده است. همان گونه که مشخص است، در تمام اهداف با افزایش این پارامتر مساحت شبکه حفاظتی افزایش و محیط کاهش می یابد. همچنین با افزایش اهداف هر دو پارامتر مساحت و محیط شبکه حفاظتی افزایش می یابند.



شکل 24: مقادیر متفاوت مساحت لکه های حفاظتی منتخب در اهداف حفاظتی مختلف



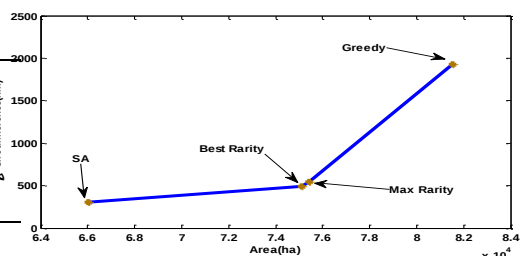
شکل 23: مقادیر متفاوت محیط لکه های حفاظتی منتخب در اهداف حفاظتی مختلف

شکل 25 ارائه شده است. جدول 4 مشخصات شبکه حفاظتی منتخب برای هر الگوریتم را نشان می دهد.

سناریو پنجم: در این سناریو نتایج اجرای Marxan با الگوریتم های مذاب سازی شبیه سازی شده با BLM معادل 20 در سناریو سوم، با الگوریتم های حریص و نادر با BLM معادل 20 و هدف 30 درصد مقایسه شده است. برای بررسی نتایج نمودار محیط در برابر مساحت الگوریتم ها در

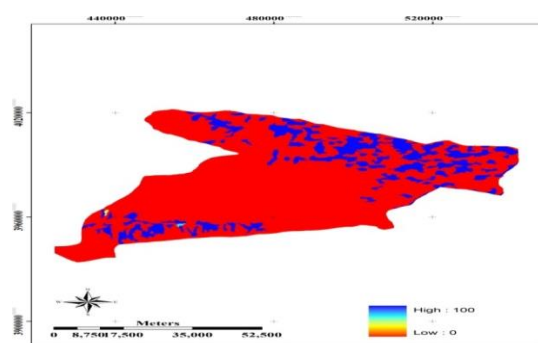


الگوریتم	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد پوشش سطح استان
حریص	81527/22	1924/55	15/91
نادر بهینه	75112/11	489/17	14/66
نادر حداکثر	75407/13	548/45	14/72
مذاب‌سازی شبیه- سازی شده	62684/28	350/03	12/23

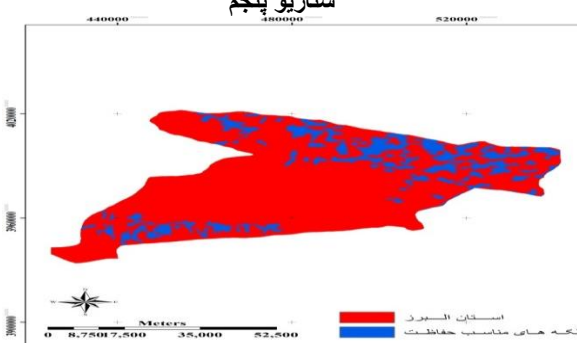


شکل 25: رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در الگوریتم‌های مختلف در سناریو پنجم

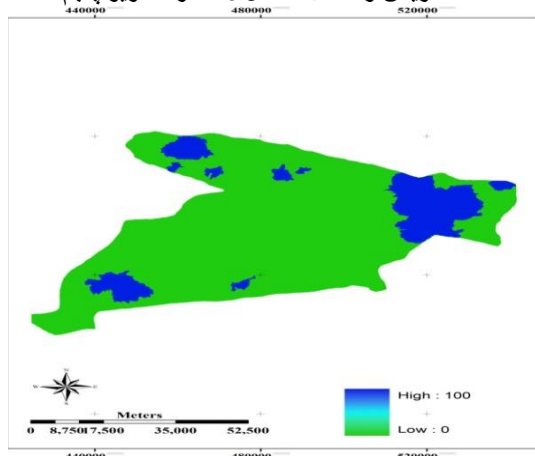
جدول 4: مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت انتخاب شده در سناریو پنجم



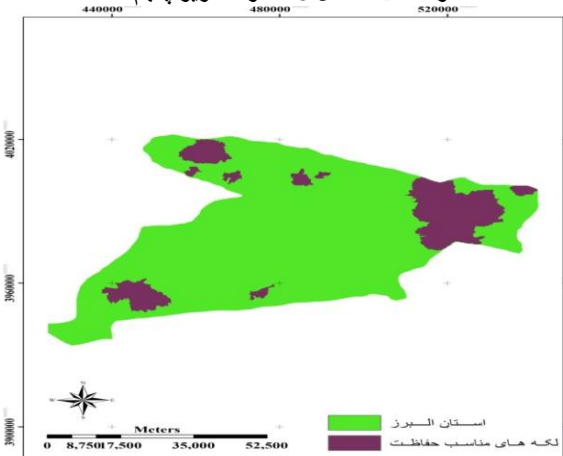
شکل 27: اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم حریص و BLM معادل 20 در سناریو پنجم



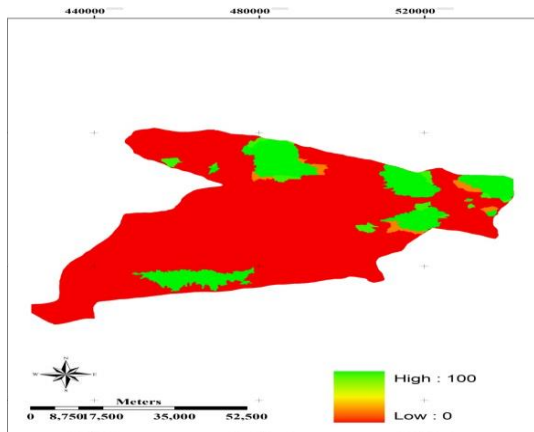
شکل 26: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم حریص و BLM معادل 20 در سناریو پنجم



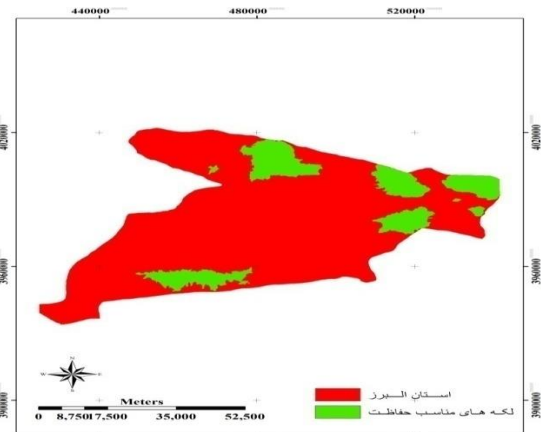
شکل 29: اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادر بهینه و BLM معادل 20 در سناریو پنجم



شکل 28: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادر بهینه و BLM معادل 20 در سناریو پنجم

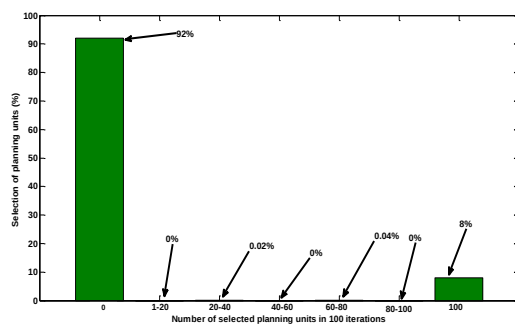


شکل 31: اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادرحداکثر و BLM معادل 20 در سناریو پنجم



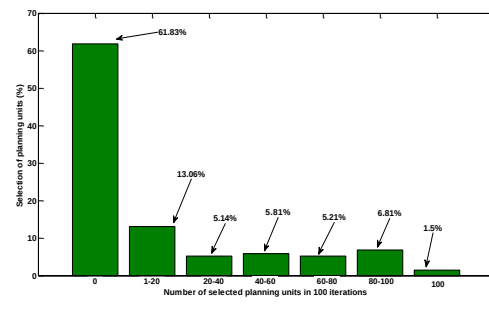
شکل 30: پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادرحداکثر و BLM معادل 20 در سناریو پنجم

برای الگوریتم‌های مختلف با هدف 30 درصد و BLM معادل 20 در شکل‌های 32 تا 35 نشان داده شده است.

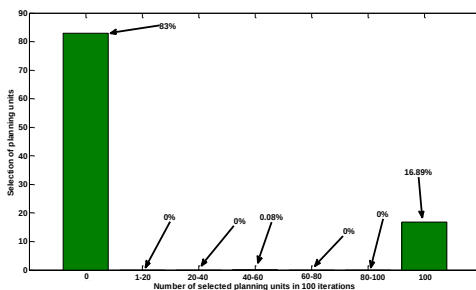


شکل 33: تحلیل غیر قابل جایگزین بودن در الگوریتم حریص

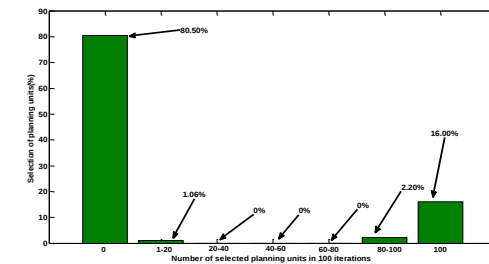
تحلیل غیر قابل جایگزین بودن: غیر قابل جایگزینی به عنوان تعداد تکرار انتخاب هر یگان برنامه‌ریزی در 100 بار تکرار اجرای مدل است. تحلیل غیر قابل جایگزین بودن



شکل 32: تحلیل غیر قابل جایگزین بودن در الگوریتم مذاب-سازی شبیه‌سازی شده



شکل 35: تحلیل غیر قابل جایگزین بودن در الگوریتم نادر بهینه



شکل 34: تحلیل غیر قابل جایگزین بودن در الگوریتم نادرحداکثر

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 (100 درصد هدف حفاظتی برآورده شده است) تا هر عددی بیشتر از 1 می‌تواند باشد. برای بررسی

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 بدست آمده‌اند. برای بررسی میزان



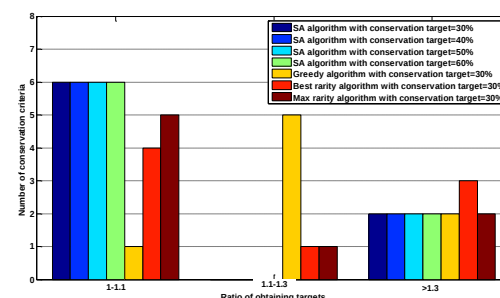
سناریو دوم: نتایج این سناریو نشان دادند برای حفاظت 30 درصد هر یک از معیارها، در بهترین حالت 94536/63 هکتار معادل 18/45 درصد از سطح استان باید مورد حفاظت قرار گیرد. مساحت تنها منطقه حفاظت شده موجود در استان 64119 هکتار معادل 12/51 درصد سطح استان است. بر این اساس نیاز است حدود 30417/63 هکتار به سطح مناطق فعلی اضافه شود.

سناریو سوم: نتایج اجرای این سناریو در 13 مقدار متفاوت BLM نشان داد که 12/16 تا 15/91 درصد سطح استان نیاز است مورد حفاظت قرار بگیرد. همچنین شبکه‌های حفاظتی منتخب تحت BLMهای مختلف، از 10/59 تا 29/16 درصد با مناطق تحت حفاظت موجود همپوشانی دارند. پس از بررسی نتایج مشخص شد در بهترین حالت (BLM معادل 20) باید 62684/28 هکتار یعنی معادل 12/23 درصد سطح استان مورد حفاظت قرار بگیرد. از این مقدار تنها 21/10 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 20 برای همه اهداف) برای رسیدن به هدف حفاظتی 30، 40، 50 و 60 درصد باید به ترتیب مقادیر 62684/28، 85920/66، 112116/51 و 140425/38 هکتار معادل 12/23، 16/77، 21/89 و 27/41 درصد سطح استان مورد حفاظت قرار بگیرد. از این مقدار به ترتیب 21/10، 27/91، 40/63 و 52/49 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.

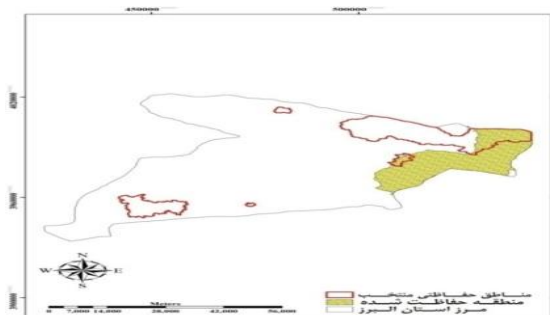
سناریو پنجم: بر اساس نتایج این سناریو با انتخاب الگوریتم حریص مساحت شبکه حفاظتی منتخب در مقایسه با الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده افزایش زیاد داشته است. در مقابل کاربرد الگوریتم‌های نادر بهینه و حداکثر به میزان کمتری موجب افزایش مساحت شده‌اند. این مساله از منظر هدف این مقاله یعنی دستیابی به حداقل مساحت 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 26). 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. در حالی که الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده هم از نظر

این موضوع، نسبت دستیابی به اهداف به سه طبقه تقسیم شده است. نسبت 1 تا 1/1 به عنوان معرف بودن معیار در راه حل بهینه در نظر گرفته شده است. نسبت بیشتر از 1/3 (30 درصد بیشتر از هدف) به عنوان معرف بودن بیش از حد در نظر گرفته شده است (Leslie و همکاران، 2003). نتایج بررسی‌ها در شکل 36 ارائه شده است.



شکل 36: بررسی میزان معرف بودن معیارهای حفاظتی در سناریوهای مختلف انتخاب مناطق مناسب حفاظت

بررسی نتایج با مناطق تحت حفاظت موجود: به منظور بررسی کارایی کارایی مناطق تحت حفاظت موجود از لحاظ دستیابی به اهداف این پژوهش، نقشه پراکنش این مناطق با نقشه لکه‌های حفاظتی منتخب در سناریو سوم و BLM معادل 20 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل 37 ارائه شده است.



شکل 37: مقایسه مناطق تحت حفاظت منتخب در سناریو سوم و BLM معادل 20 با مناطق تحت حفاظت موجود در استان البرز

بحث

سناریو اول: در سناریو اول کارایی مناطق تحت حفاظت موجود در رسیدن به هدف حفاظت 30 درصد هر یک از معیارهای حفاظتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تنها منطقه حفاظت‌شده موجود در برآورد هدف حفاظتی 4 معیار شامل: مناطق مهم پراکنش کل و بز، خرس قهوه‌ای، شنگ و خزندگان موفق بوده است و در رسیدن به هدف حفاظتی 4 معیار دیگر ناتوان است. این نتایج نشان می‌دهد که منطقه تحت حفاظت موجود کارایی مناسبی از لحاظ دستیابی به اهداف ندارد.

وضعیت مشابهی داشته و تعداد تکرارها تأثیری در کاهش هزینه نهایی تابع هدف (مساحت شبکه حفاظتی منتخب) نداشته است. این نتایج با نتایج Leslie و همکاران در سال 2003 و مهری و همکاران در سال 2013 مطابقت دارد. همان گونه که در مقدمه گفته شد، در فرآیند انتخاب مناطق تحت حفاظت، انعطاف پذیری برای کشف راحل های جایگزین، یکی از مهمترین مسائل است. طراحان و برنامه ریزان نیازمند ارزیابی دامن های از راحل های قابل قبول برای رسیدگی به سایر ملاحظات مانند نیازهای اقتصادی و سیاسی هستند. نتایج این مقاله نشان می دهد الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی شده از این نظر بسیار خوب عمل می کند و کارایی بالایی در نیازهای اقتصادی و سیاسی جستجوی فضای تصمیم گیری و ارائه راه حل های قابل قبول دارد.

بررسی کارایی معرف بودن معیارهای حفاظتی: بر اساس شکل 36، کارایی الگوریتم ها و اهداف حفاظتی مختلف در معرف بودن آنها نسبت به معیارهای حفاظتی مورد بررسی قرار گرفته است. با کاربرد الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی شده وابسته به اهداف مختلف، شش معیار حفاظتی به اهداف تعیین شده برای آنها رسیده اند. همچنین دو معیار بیش تر از هدف تعیین شده برای آنها در راه حل بهینه حضور داشته اند. مقایسه الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی شده با سایر الگوریتم ها نشان می دهد که الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی 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 رسیده اند و دو معیار بیشتر از حد هدف تعیین شده برای آنها در راه حل بهینه حضور داشته اند. در مورد الگوریتم های نادر بهینه تعداد چهار معیار، به هدف تعیین شده برای آنها رسیده اند و سه معیار بیشتر از حد هدف تعیین شده برای آنها در راه حل بهینه حضور داشته اند. 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 آنها رسیده است و دو معیار بیشتر از هدف تعیین شده برای آنها در راحل بهینه حضور داشته اند 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 می کند. در اغلب سناریو ها همپوشانی شبکه های حفاظتی منتخب با مناطق تحت حفاظت موجود پایین و کمتر از 50 درصد بوده است. نتایج نشان می دهند که پارامترهای مختلفی از جمله اهداف حفاظتی تعیین شده، الگوریتم های مختلف و میزان فشردگی لکه های حفاظتی منتخب در فرآیند اولویت بندی در انتخاب سیستماتیک مناطق تحت حفاظت دخیل هستند. در نتیجه اساسی ترین مرحله در برنامه ریزی حفاظتی، تعیین مقادیر مناسب برای این پارامترها است. بررسی این پارامترها در این پژوهش نشان داد که الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی شده نتایج قابل

محیط و هم مساحت جواب های قابل قبولی را نسبت به سایر الگوریتم ها ارائه می کند. نتیجه ای که در این پژوهش همسو با نتایج ذکر شده در سایر منابع حاصل شد، زمان صرف شده برای اجرای الگوریتم ها است. در این پژوهش، زمان صرف شده برای الگوریتم های مذاب سازی شبیه سازی شده، حریص، نادر بهینه و نادر حداکثر به دلیل کم بودن مساحت منطقه مورد مطالعه چندان زیاد نبود اما در مقایسه، در الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی شده زمان بیشتری نسبت به سه الگوریتم دیگر برای ارائه راه حل بهینه صرف شد. این نتیجه با نتایج موجود در منابع، تصدیق کننده ارائه راحل های سریع تر ولی ساده تر توسط این الگوریتم های نادر و حریص در مقایسه با الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی شده است.

تحلیل غیر قابل جایگزین بودن: در الگوریتم مذاب-

سازی شبیه سازی شده 61/83 درصد یگان های برنامه ریزی در هیچ یک از تکرارها انتخاب نشده اند. حدود 18 درصد از یگان های برنامه ریزی در کمتر از 40 تکرار انتخاب شده اند و حدود 11 درصد از یگان های برنامه ریزی در کمتر از 80 تکرار انتخاب شده اند و تنها حدود 8/5 درصد از یگان های برنامه ریزی بیش از 80 بار در تکرارها حضور داشته اند که این موضوع نشان دهنده اهمیت آنها در فرآیند انتخاب مناطق مناسب حفاظت است. از میان این 8/5 درصد، 18 درصد یگان های برنامه ریزی به طور مطلق غیر قابل جایگزین بوده اند و در همه 100 تکرار حضور داشته اند. الگوریتم نادر حداکثر از نظر ارائه راه حل های مختلف کارایی کمتری داشته است. در این الگوریتم 80/5 درصد یگان های برنامه ریزی در هیچ یک از تکرارها انتخاب نشده اند. حدود 1 درصد از یگان های برنامه ریزی در کمتر از 20 بار در تکرارها حضور داشته اند و 18 درصد از یگان های برنامه ریزی در بیش تر از 80 بار تکرار حضور داشته اند که از این میان 83 درصد از 18 درصد یگان برنامه ریزی به طور مطلق غیر قابل جایگزین بوده اند و در همه 100 تکرار حضور داشته اند. الگوریتم نادر بهینه از نظر ارائه راحل های مختلف ضعیف تر از الگوریتم نادر حداکثر عمل نموده است. در این الگوریتم 16/89 درصد یگان های برنامه ریزی به طور مطلق غیر قابل جایگزین بوده اند و در همه 100 تکرار حضور داشته اند. همچنین، حدود 83 درصد یگان های برنامه ریزی در هیچ یک از تکرارها حضور نداشته اند. در الگوریتم حریص 92 درصد یگان های برنامه ریزی در هیچ یک از تکرارها انتخاب نشده اند. حدود 8 درصد یگان های برنامه ریزی در 100 تکرار انتخاب شده اند. این نتایج نشان می دهد که از نظر تولید تعداد راه حل های مختلف پس از الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی شده با 36 درصد، الگوریتم های نادر حداکثر با 3/26 درصد، الگوریتم نادر بهینه با 0/08 درصد و الگوریتم حریص با 0/06 درصد قرار گرفته است. این موضوع نشان دهنده این است که الگوریتم حریص و نادر بهینه و نادر حداکثر راه حل های مختلف بسیار کمتری را نسبت به الگوریتم مذاب سازی شبیه سازی شده تولید می کنند. این نشان می دهد که این سه الگوریتم در همه 100 تکرار



10. Hermoso, V.; Filipe, A.F.; Segurado, P. and Beja, P., 2015. Filling gaps in a large reserve network to address freshwater conservation needs. *Journal of Environmental Management*. Vol.161, pp: 358–365.
 11. Junker, J.; Boesch, C.; Freeman, T.; Mundry, R.; Stephens C. and Kühl H.S., 2015. Integrating wildlife conservation with conflicting economic land-use goals in a West African biodiversity hotspot. *Basic and Applied Ecology*. In Press, Corrected Proof .
 12. Leslie, H.; Ruckelshaus, M.; Ball, I. R.; Andelman, S. and Possingham, P.H., 2003. Using siting algorithms in the design of marine reserve networks. *Ecological Applications*. Vol. 13, No. 1, pp: 185-198.
 13. Malcolm, H.A.; Foulsham, E.; Pressey, R.L.; Jordan, A.; Davies, P.L.; Ingleton, T.; Johnstone, N.S.; Hessey, S.D. and Smith, A., 2012. Selecting zones in a marine park: Early systematic planning improves cost-efficiency; combining habitat and biotic data improves effectiveness. *Ocean & Coastal Management*. Vol. 59, pp: 1-12.
 14. Margules, C.R.; Pressey, R.L. and Williams, P.H., 2002. Representing biodiversity: data and procedures for identifying priority areas for conservation. *J. Biosci.* Vol. 27, No. 4, pp: 309-326.
 15. Phillips, S.J.; Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*. Vol. 190, pp: 231- 259.
 16. Sarkar, S. and Margules, C., 2002. Operationalizing biodiversity for conservation planning. *BioScience*. Vol. 27, No.4, pp: 299-308.
 17. Smith, R.G.; Goodman, P.S. and Matthews, W.S., 2006. Systematic conservation planning: a review of perceived limitations and an illustration of the benefits, using a case study from Maputaland, South Africa, *oryx*, Vol. 40, No.4, pp: 400- 410.
 18. Stewart, R.R. and Possingham, H.P., 2005. Efficiency, costs and trade-offs in marine reserve system design. *Environmental Modeling and Assessment*, Vol. 10, No. 3, pp: 203-213.
 19. Zhang, L.; Xu, W.H.; Ouyang, Z.Y. and Zhu, C.Q., 2014. Determination of priority nature conservation areas and human disturbances in the Yangtze River Basin, China. *Journal for Nature Conservation*. Vol. 22, No. 4, pp: 326–336.
- قبولی را در تمام موارد ارائه می‌کند و کاربرد آن کمک زیادی به شناسایی بهترین لکه‌های حفاظتی می‌کند.
- منابع**
1. اسفنده، س.، 1394. برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت به منظور معرفی مناطق جدید حفاظتی در استان البرز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست. دانشگاه تهران. 187 صفحه.
 2. مومنی، ا.، 1390. انتخاب سیستماتیک لکه‌های حفاظتی استان گلستان با استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست. دانشگاه تهران. 140 صفحه.
 3. مهری، آ.، 1391. 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. 226 صفحه.
 4. میرزایی، ر.؛ همای، م.؛ اسماعیلی ساری، ع. و رضایی، ج.، 1392. مدل‌سازی پراکنش دلجه کوچک در استان گلستان. پژوهش‌های محیط زیست، سال 4، شماره 8، صفحه 149 تا 156.
 5. Ardron, J.A.; Possingham, H.P. and Klein, C.J., 2008. Marxan good practices handbook. External review version, 17 May, 2008. Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, BC, Canada. 155 p, viewed 10 December 2010, www.pacmara.org.
 6. Edwards, H.J.; Elliott, I.A.; Pressey, R.L. and Mumby, P.J., 2010. Incorporating ontogenetic dispersal, ecological processes and conservation zoning into reserve design. *Biological Conservation*, Vol. 143, No. 2, pp:457-470.
 7. Esfandeh, S.; Kaboli, M. and Eslami-Andargoli, L., 2015a. Marxan as a tool for systematic conservation planning in seascape A chronological review. *Research & Reviews: Journal of Ecology and Environmental Sciences*. Vol. 3, No. 4, pp:1-10.
 8. Esfandeh, S.; Kaboli, M. and Eslami-Andargoli, L., 2015b. A Chronological review on application of MARXAN tool for systematic conservation planning in landscape. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*. Vol. 2, NO.12, pp:6-17.
 9. Game, E.T. and Grantham, H.S., 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.

