

مقایسه کارایی سه الگوریتم هوشمند رایانه‌ای در انتخاب مناطق مناسب حفاظت

(مطالعه موردی: استان مازندران)

آزاده مهری*^۱، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲، سیدحامد میرکریمی^۳، حمیدرضا رضایی^۴

۱. کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
A_mahini@yahoo.com
۳. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
Mirkarimi@gau.ac.ir
۴. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
Hamid.r.rezaei@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۶/۲۴

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۹/۲۹

چکیده

یکی از روش‌های انتخاب نواحی حفاظتی جدید، استفاده از روش‌های هوشمند رایانه‌ای یا هوش مصنوعی است. این روش‌ها الگوریتم‌های رایانه‌ای مختلفی را شامل می‌شوند که قوانین صریحی را برای شناسایی مجموعه‌ای از مناطق مناسب حفاظت به کار می‌برند. این الگوریتم‌ها تعداد زیادی از گزینه‌های موردنظر را بررسی و نتایج را بر حسب تعداد لکه‌ها یا مساحت مورد نیاز حفاظتی مقایسه می‌کنند. همچنین، سطحی از اهداف را که با توجه به محدودیت‌ها و هزینه‌های پیش‌بینی شده قابل دستیابی است مشخص می‌کنند. در این پژوهش کاربرد الگوریتم‌های حریص، نادر و مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده در انتخاب مناطق حفاظتی استان مازندران مقایسه شده است. به این منظور از نرم‌افزار Marxan استفاده شد. علاوه بر این، تأثیر مقیاس مکانی و اهداف حفاظتی مختلف در نتایج نیز بررسی شده است. بررسی این پارامترها در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده، نتایج قابل قبول‌تری را در تمام موارد به دست می‌دهد و کاربرد آن به شناسایی مناسب‌ترین لکه‌های حفاظتی بسیار کمک می‌کند. الگوریتم حریص سبب پراکندگی و تکه‌تکه‌شدگی لکه‌های حفاظتی منتخب و الگوریتم نادر سبب افزایش بیش از حد مساحت لکه‌ها می‌شود. الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده، از نظر محیط و مساحت جواب‌های قابل قبولی را نسبت به سایر الگوریتم‌ها ارائه می‌کند. نتایج نشان می‌دهند، پارامترهای مختلفی از جمله اهداف حفاظتی تعیین شده، مقیاس مطالعه، الگوریتم‌های مختلف و میزان فشردگی لکه‌های حفاظتی منتخب در فرایند انتخاب مناطق تحت حفاظت دخیل‌اند. در نتیجه، تعیین مقادیر مناسب این پارامترها از اساسی‌ترین مرحله‌ها در انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید معرفی می‌شود.

کلیدواژه

الگوریتم حریص، الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده، الگوریتم نادر، مناطق تحت حفاظت، Marxan.

۱. سرآغاز

می‌دهند. الگوریتم فرایندی ریاضی یا مجموعه‌ای از قوانین به‌کاربرده شده برای حل مشکل است (Game & Grantham, 2008). الگوریتم‌ها قوانین صریحی را برای شناسایی مجموعه‌ای از مناطق تحت حفاظت به کار می‌برند. آن‌ها تعداد زیادی از گزینه‌های مورد نظر را بررسی و نتایج را بر حسب تعداد یا مساحت لازم برای حفاظت مقایسه می‌کنند. همچنین، سطحی از اهداف را که با توجه به محدودیت‌ها و هزینه‌های پیش‌بینی شده قابل دستیابی است

در سال‌های اخیر، به منظور کمک به انتخاب نواحی تحت حفاظت جدید روش‌های زیادی که دربرگیرنده معیارهای تنوع زیستی‌اند توسعه داده شده است (Pearce, et al., 2008). یکی از راهکارهای دستیابی به این هدف استفاده از روش‌های هوشمند رایانه‌ای یا هوش مصنوعی است. این روش‌ها الگوریتم‌های رایانه‌ای مختلفی را شامل می‌شوند که تصمیم‌گیری را بر اساس تعریف تابع هدف انجام

مشخص می‌کنند (Margules & Pressey, 2000). انواع مختلفی از الگوریتم‌ها در زمینه انتخاب مناطق تحت حفاظت، برای بهینه‌سازی فرایند انتخاب و چینش فضایی لکه‌های مناسب حفاظت استفاده شده‌اند. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به الگوریتم‌های بهینه^۱ و اکتشافی^۲ اشاره کرد. الگوریتم‌های بهینه از فرایندهای ریاضی پیچیده مانند برنامه‌های خطی، استفاده می‌کنند. در طرح‌ریزی مناطق حفاظت‌شده برنامه‌های خطی اغلب از متغیرهای دودویی^۳ (حضور و نبود) یا صحیح^۴ (مانند مساحت) همراه درصد یا مساحت حضور اهداف به‌منزله محدودیت استفاده می‌کنند و اغلب با عنوان برنامه‌های خطی صحیح^۵ شناخته می‌شوند. در انتخاب مناطق تحت حفاظت متغیرهای حضور و نبود (مانند گونه‌ها) یا گسترش تنوع زیستی (پوشش زیستگاه) در مجموعه‌ای از مناطق داوطلب نشان داده می‌شوند. دو نوع هدف بهینه‌سازی برای انتخاب تعداد بهینه مناطق به کار گرفته می‌شوند. یکی مسائل جایابی پوششی مجموعه^۶ است که کم‌ترین تعداد یا کم‌ترین مجموعه مکان‌هایی را که تعداد، درصد یا مساحت مشخصی از حضور ویژگی‌ها را شامل می‌شوند، پیدا می‌کند. نوع دوم مسائل جایابی پوششی بیشینه^۷ است که بیش‌ترین تعداد مکان‌ها را به‌منزله محدودیت تعیین، سپس بیش‌ترین تعداد یا مساحت ممکن ویژگی‌ها را که می‌توانند در این مکان‌ها شامل شوند، پیدا می‌کنند (Vanderkam, et al., 2007).

کاربرد الگوریتم‌های اکتشافی در انتخاب مناطق تحت حفاظت از سال ۱۹۸۰ آغاز شد. این الگوریتم‌ها از روند درخت تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند و اغلب مشابه مسائل جایابی پوششی مجموعه‌اند و هدف آن‌ها انتخاب کم‌ترین مکان‌های ممکن برای نماینده‌بودن همه ویژگی‌هاست، یا گاهی همانند مسائل جایابی پوششی بیشینه هدف آن‌ها بیشینه‌کردن ویژگی‌ها در تعداد مکان‌های از پیش تعریف شده است (Vanderkam, et al., 2007).^۳ نوع از الگوریتم‌های اکتشافی که در این پژوهش استفاده شده

است عبارت‌اند از: حریرص، نادر و مذب‌سازی شبیه‌سازی شده^۸. حریرص الگوریتمی اکتشافی برپایه غناست و برای انتخاب مناطق تحت حفاظت از تحلیل مرحله‌ای استفاده می‌کند (Csuti, et al., 1997; Pressey, et al., 1996). این نام‌گذاری به این علت است که الگوریتم در هر مرحله حریرصانه در تلاش است مکان‌هایی را برای حفاظت انتخاب کند که تعداد گونه‌های حفاظت‌نشده بیشتری را به مجموع تحت حفاظت قبلی اضافه می‌کند (Possingham, et al., 2000). الگوریتم کار خود را با انتخاب مکانی که دارای بیش‌ترین غنای گونه‌ای است شروع می‌کند. سپس، در هر مرحله، مکان‌هایی که بیش‌ترین تعداد گونه را به مجموعه قبلی اضافه می‌کنند، انتخاب می‌شود. از مزایای این الگوریتم سادگی و سرعت زیاد آن است (Csuti, et al., 1997). الگوریتم‌های نادر یکی دیگر از الگوریتم‌های اکتشافی مرحله‌ای و تکراری به شمار می‌روند. عملکرد این الگوریتم‌ها بر اساس ویژگی نادر بودن گونه‌هاست و کار خود را با انتخاب مکان‌هایی که دارای گونه‌های منحصر به فردند آغاز می‌کنند. سپس، در هر مرحله مکان‌هایی را که دارای گونه‌های نادر بعدی‌اند به مجموعه قبلی اضافه می‌شوند (Csuti, et al., 1997; Pressey, et al., 1996). الگوریتم مذب‌سازی شبیه‌سازی شده از فرایند ذوب و دوباره سردکردن مواد الهام گرفته شده است. این الگوریتم در زمینه انتخاب مناطق تحت حفاظت کاربرد فراوانی دارد و مجموعه‌های مختلف مناطق درخور حفاظت را بررسی می‌کند. کار الگوریتم نخست با یک مجموعه تصادفی آغاز می‌شود. در این الگوریتم فضای چندبعدی از نظر اهداف مشخص می‌شود و گزینه‌های مختلف آنقدر تولید و تغییر داده می‌شوند که کاملاً مطابق فضای چندبعدی ما شوند. در نهایت، مجموعه‌ای که اهداف ما را برآورده می‌کند انتخاب می‌شود (سلمان ماهینی، ۱۳۹۱). این الگوریتم بهتر از سایر روش‌های بهینه‌سازی محلی عمل می‌کند و راه‌حل نزدیک بهینه جهانی را ارائه می‌دهد، به گونه‌ای که برخی

مناطق تحت حفاظت کاربرد الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده است. الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده به علت توانایی بررسی هم‌زمان اهداف چندگانه، هزینه‌ها و سرعت بالا، در حل مسائل پیچیده به نسبت سایر الگوریتم‌های اکتشافی تکراری کارایی بیشتری داشته است. یکی از مزیت‌های الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده تولید چندین راه‌حل در مقابل راه‌حل مجزاست (Pressey, 2002). این الگوریتم سازشی مفید بین الگوریتم‌های بهینه و اکتشافی مرحله‌ای متداول است و جواب‌های قابل قبولی را در زمان مناسب ارائه می‌دهد (Pressey, et al., 1996). در این پژوهش کاربرد الگوریتم‌های مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده، حریص و نادر در انتخاب مناطق مناسب حفاظت در استان مازندران مقایسه شده است. همچنین، تأثیر مقیاس مکانی و اهداف حفاظتی مختلف نیز در نتایج بررسی شده است.

۲. مواد و روش بررسی

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در محدوده استان مازندران اجرا شد. استان مازندران با حدود ۲۴ هزار کیلومتر مربع مساحت، بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. مازندران از استان‌های ساحلی است و از بخش شمالی هم‌مرز دریای خزر است. مناطق این استان به ویژه جنگل‌ها و مراتع زیستگاه گونه‌های گیاهی و جانوری گوناگونی است (سالنامه آماری استان مازندران، ۱۳۸۹).

۳. معیارهای انتخاب مناطق تحت حفاظت

در این پژوهش بر اساس داده‌های در دسترس و امکان تهیه آن‌ها، همچنین محدودیت زمانی از معیارهای تیپ پوشش جنگل، مطلوبیت زیستگاه بالقوه پستانداران و پراکنش پرندگان استفاده شد. معیارهای حفاظتی در کل ۳۸ معیار را دربر می‌گیرند که زیستگاه بالقوه ۸ گونه پستاندار (پلنگ

افزایش‌های تصادفی در تابع هزینه را می‌پذیرد و مانع به دام‌افتادن در شرایط حداقل محلی می‌شود (Aerts & Heuvelink, 2002; Sharma & Lees, 2004). این موضوع در این مثال به خوبی روشن می‌شود که قصد بر آن است رشته‌ای از کوه‌ها (راه‌حل‌ها) برای رسیدن به بالاترین قله (هدف یا راه‌حل بهینه) طی شود. اگر فقط اجازه حرکت به سمت بالا وجود داشته باشد، به زودی بالاترین قله در مسیر فعلی (شرایط حداقل محلی) دست‌یافتنی خواهد بود. اگر در مقابل، برای عبور از دره‌ها اجازه حرکت به سمت پایین نیز باشد، سرانجام بلندترین قله‌ها در کل مسیرها دست‌یافتنی خواهد بود (Game & Grantham, 2008).

الگوریتم‌های اکتشافی و بهینه هر یک به طور مستقل از هم توسعه یافته‌اند. مطالعات مختلفی در زمینه مقایسه کارایی این الگوریتم‌ها در انتخاب مناطق تحت حفاظت صورت گرفته است (Csuti, et al., 1997; Possingham, et al., 1996; Vanderkam, et al., 2007). نتایج این مطالعات نشان می‌دهند، الگوریتم‌های بهینه اغلب در حل مسائل پیچیده‌تر طراحی حفاظتی در جهان حقیقی و با افزایش تعداد مکان‌ها با شکست مواجه شده‌اند، در حالی که الگوریتم‌های اکتشافی در حل مسائل پیچیده‌تر، به علت تولید جواب‌های واقعی‌تر در مدت زمان کمتر، پیشرفت‌های زیادی داشته‌اند، حتی اگر دستیابی به جواب بهینه را تضمین نکنند (Pressey, et al., 1996). سرعت دستیابی به راه‌حل بهینه اهمیت زیادی دارد. در مسائل بهینه‌سازی زمان محاسباتی با افزایش تعداد محدودیت‌ها به طور نمایی افزایش می‌یابد. مطالعات نشان می‌دهند، مسائل انتخاب مناطق برای داده‌های کمتر و اندازه کوچک تا متوسط به راحتی و با سرعت از طریق الگوریتم‌های بهینه حل می‌شوند، اما برای مسائل بزرگ‌تر زمان پردازش می‌تواند محدودکننده باشد. الگوریتم‌های اکتشافی برای مناطق بزرگ‌تر پردازش‌ها را در زمان بسیار پایین‌تری انجام می‌دهند (Pressey, et al., 1996). بیش‌ترین پیشرفت‌های اخیر در زمینه الگوریتم‌های انتخاب

ایرانی، سیاه‌گوش، خرس قهوه‌ای، شنگ، قوچ و میش، کل و بز، شوکا و مرال)، مناطق مناسب پراکنش ۴ گروه پرنده (پرنندگان وابسته به آب، پرنندگان شکاری، گنجشک‌سانان و سایر پرنندگان) و ۲۶ تیپ پوشش جنگلی از جمله آن‌هاست. نقشه هر یک از این معیارها برای ورود به نرم‌افزار باید به صورت جداگانه و لایه‌های بولین (صفر و یک) تهیه شود. مدل‌سازی زیستگاه پستانداران با روش ارزیابی چندمعیاره و منطق فازی و ترکیب خطی وزن‌دار صورت گرفت، سپس با روش آستانه مطلوبیت مناطقی که به احتمال زیاد نشان‌دهنده زیستگاه پستانداران اند تعیین شدند. برای مدل‌سازی مناطق مناسب پراکنش پرنندگان از داده‌های جمع‌آوری شده در بهار ۱۳۸۹ (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹) در شبکه سلولی ۲۵*۲۵ کیلومتر استفاده شد. برای مدل‌سازی مناطق مناسب پراکنش هر یک از گروه‌ها از روش Echelon Analysis استفاده شد. Echelon Analysis ابزاری جدید برای تعیین علمی ساختار مکانی داده‌های کمی برای نقشه‌سازی مستقیم آن‌ها ارائه می‌کند (Myers & Patil, 2002; Myers, et al., 1997). Echelon Analysis ساختار داده‌ها را بر اساس ارزش سلول‌ها و روابط آن‌ها با سلول‌های همسایه بررسی می‌کند (Patil, et al., 2004). برای تهیه لایه‌های تیپ پوشش جنگلی از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تیپ پوشش جنگل تهیه‌شده سازمان جنگل‌ها و مراتع استفاده شد (سازمان جنگل‌ها و مراتع، ۱۳۹۰). در نهایت هر یک از معیارهای مناطق شهری، روستایی، صنعتی و جاده‌ها از نقشه حذف شد. در این پژوهش از مرز حوزه‌های آبخیز به‌منزله یگان‌های برنامه‌ریزی استفاده شد. با انتخاب حوزه‌های بیشتر از ۵۰ هکتار، کل منطقه به ۱۹۸۶۵ حوزه آبخیز تقسیم شد.

۱.۳. انتخاب مناطق مناسب حفاظت

در این پژوهش برای انتخاب مناطق مناسب حفاظت، از نرم‌افزار Marxan استفاده شد. Marxan ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری را به منظور طرح‌ریزی سیستم‌های حفاظتی ارائه می‌دهد که الگوریتم‌های مختلفی را برای بهینه‌سازی

فرایند انتخاب و چینش فضایی لکه‌های مناسب حفاظت استفاده می‌کند (Ardron, et al., 2008; Game & Grantham, 2008; Pattison, et al., 2004). مزیت اصلی نرم‌افزار در استفاده از الگوریتم مذب‌سازی شبیه‌سازی شده است. علاوه بر این، Marxan الگوریتم‌های ساده‌تر، اما سریع‌تری را نیز در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این الگوریتم‌ها شامل انواع الگوریتم‌های اکتشافی همانند حریر، نادر و الگوریتم بهبودیافته تکراری^۹ است. Marxan امکان استفاده هر کدام از این الگوریتم‌ها را به تنهایی یا به صورت ترکیبی در اختیار کاربر قرار می‌دهد. مفیدترین روش استفاده از الگوریتم مذب‌سازی شبیه‌سازی شده به همراه الگوریتم بهبودیافته تکراری است، زیرا الگوریتم مذب‌سازی شبیه‌سازی شده به طور مؤثر به جست‌وجوی فضای تصمیم‌گیری و راه‌حل‌ها می‌پردازد، سپس، الگوریتم بهبودیافته تکراری تضمین می‌کند که راه‌حل منتخب در فضای تصمیم‌گیری بهترین گزینه را ارائه می‌کند (Game & Grantham, 2008). در این پژوهش، هدف کلی Marxan انتخاب حداقل مساحت ممکن از شبکه مناطق تحت حفاظت بر اساس معیارهای حفاظتی مورد استفاده است، به گونه‌ای که تمام اهداف حفاظتی در آن دست‌یافتنی باشند. هدف حفاظتی به صورت حداقل مساحت هر یک از تیپ‌های پوشش گیاهی و زیستگاه هر یک از گونه‌ها که باید حفاظت شود، معرفی شده است. علاوه بر این، Marxan برای انتخاب هر یگان به‌منزله حفاظت‌شده هزینه‌ای در نظر می‌گیرد. هزینه انتخاب منطقه ممکن است هر نوع هزینه اقتصادی، اجتماعی و بوم‌شناختی یا ترکیبی از آن‌ها باشد. در این مقاله به مساحت کل یگان‌های انتخاب‌شده برای حفاظت به‌منزله هزینه انتخاب منطقه بسنده خواهد شد. البته باید توجه داشت که سایر هزینه‌های جایگزین مانند فاصله از جاده‌ها و مناطق تمرکز جمعیت انسان، از طریق دخالت در مدل‌سازی زیستگاه گونه‌ها، به طور غیرمستقیم در انتخاب نهایی مناطق مناسب حفاظت دخالت داده خواهند شد.

در هر آبخیز به طور جداگانه و بر اساس حفاظت ۳۰ درصد هر یک از معیارها اجرا شده است. Marxan در شرایط مشابه با سناریوی اول با $BLM=60$ اجرا شده است.

۴. نتایج

۴.۱. سناریوی اول: بررسی تأثیر اهداف حفاظتی مختلف در نتایج

در این سناریو Marxan با اهداف ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد اجرا شده است. با هر بار اجرای Marxan تحت BLM‌های مختلف یک نقشه تولید می‌شود که شامل بهترین لکه‌های مناسب حفاظت برای هر BLM است. مسئله مهم، یافتن بهترین نتایج بین BLM‌های مختلف است. روش ارائه شده از سوی Stewart and Possingham (2005) روشی مناسب در تعیین میزان BLM است. در این روش نمودار محیط در برابر مساحت برای هر BLM رسم می‌شود. بهترین BLM، بهترین حالت بین میزان پیوستگی (محیط) و مساحت شبکه منتخب است. برای این منظور نمودار محیط در برابر مساحت برای هر BLM در نرم‌افزار Statistica ترسیم شد. این نمودار برای اهداف حفاظتی مختلف در شکل‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است. مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت منتخب در هر BLM و برای اهداف مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است.

همان‌گونه که مشخص است، نسبت محیط به مساحت در BLM ۳۰ و ۶۰ در هدف ۳۰ درصد و BLM ۳۰ در سایر اهداف نسبت به سایر مقادیر دارای وضعیت بهتری است. در BLM‌های بیشتر، مساحت کل شبکه تحت حفاظت منتخب افزایش می‌یابد. در مقادیر پایین‌تر نیز، پراکندگی لکه‌ها (محیط کل شبکه) زیاده‌تر است و نتایج خوبی به دست نمی‌آید. با استفاده از نمودارها و بررسی‌های چشمی بین نتایج حاصل سرانجام مشخص شد $BLM=60$ در هدف ۳۰ درصد و $BLM=30$ در سایر اهداف نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. نتایج حاصل از این BLM برای اهداف مختلف در شکل‌های ۵ تا ۸ ارائه شده است. مقادیر محیط و مساحت شبکه‌های منتخب در اهداف و BLM‌های مختلف در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

۲.۳. سناریوی اول: بررسی تأثیر اهداف حفاظتی مختلف در نتایج

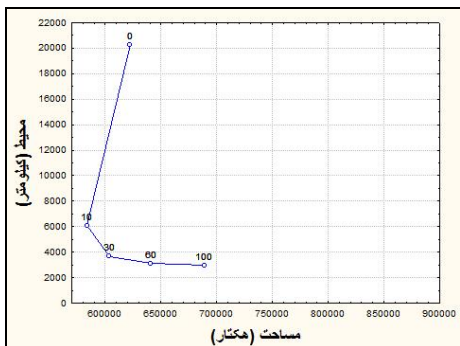
در این سناریو با استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده تأثیر اهداف مختلف حفاظتی شامل ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد حفاظت هر معیار بررسی شده است. در این سناریو Marxan با ۱۰۰ تکرار اجرای مدل، کاهش درجه حرارت ۱۰۰۰ و BLM‌های ۰، ۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ اجرا شده است. BLM یا فاکتور تعدیل‌کننده طول مرز تنظیم‌کننده میزان تکه‌تکه‌شدگی^{۱۱} لکه‌های انتخاب شده برای حفاظت است و با افزایش مقدار آن تأکید بر کاهش طول مرز و فشردگی لکه‌های حفاظتی منتخب افزایش می‌یابد و اهداف حفاظتی در تعداد کم‌تری از لکه‌های بزرگ‌تر ملاقات خواهند شد.

۳.۳. سناریوی دوم: بررسی تأثیر الگوریتم‌های مختلف در نتایج

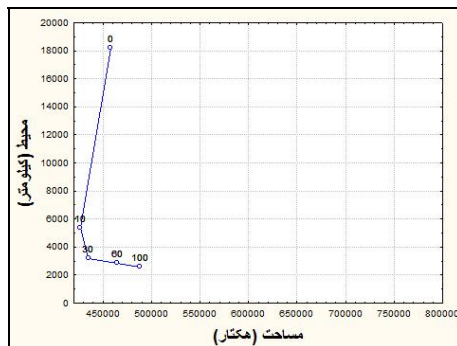
در این سناریو نتایج حاصل از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده با الگوریتم حریم و ۲ نوع الگوریتم نادر شامل نادر بهینه^{۱۲} و نادر میانگین^{۱۳} مقایسه شده است. شرایط و پارامترها همانند سناریوی اول تنظیم شده‌اند. به منظور مقایسه نتایج، سایر پارامترها مانند BLM و هدف حفاظتی برای همه الگوریتم‌ها باید یک مقدار ثابت در نظر گرفته شود. به این منظور، BLM با مقدار ۶۰ اجرا و هدف حفاظتی ۳۰ درصد در نظر گرفته شده است.

۴.۳. سناریوی سوم: بررسی تأثیر مقیاس‌های مکانی مختلف در نتایج

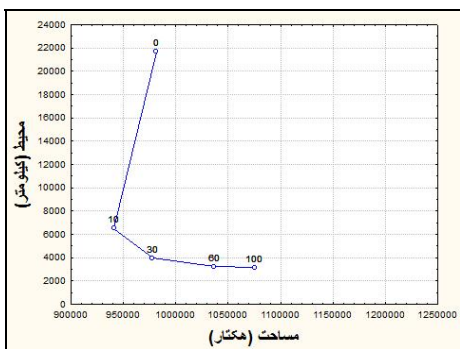
در این سناریو برای بررسی اثر مقیاس‌های مکانی در نتایج، اولویت‌بندی در مقیاس ۶ آبخیز فرعی به صورت جداگانه نیز اجرا شده است. به این منظور هر یک از آبخیزهای فرعی همانند قبل به یگان‌های برنامه‌ریزی تقسیم و Marxan برای هر یک از آنها به صورت جداگانه اجرا شد. در این سناریو فرایند انتخاب مناطق مناسب حفاظت



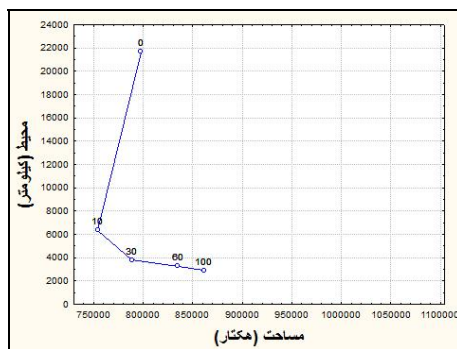
شکل ۲. رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLMهای مختلف در سناریوی اول با هدف ۴۰ درصد



شکل ۱. رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLMهای مختلف در سناریوی اول با هدف ۳۰ درصد



شکل ۴. رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLMهای مختلف در سناریوی اول با هدف ۶۰ درصد



شکل ۳. رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب در BLMهای مختلف در سناریوی اول با هدف ۵۰ درصد

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

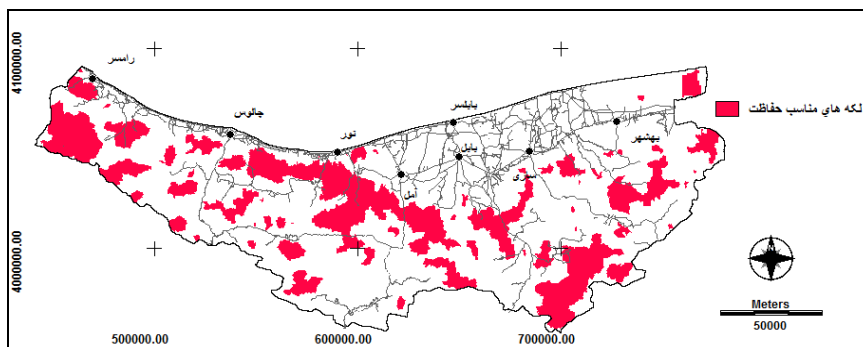
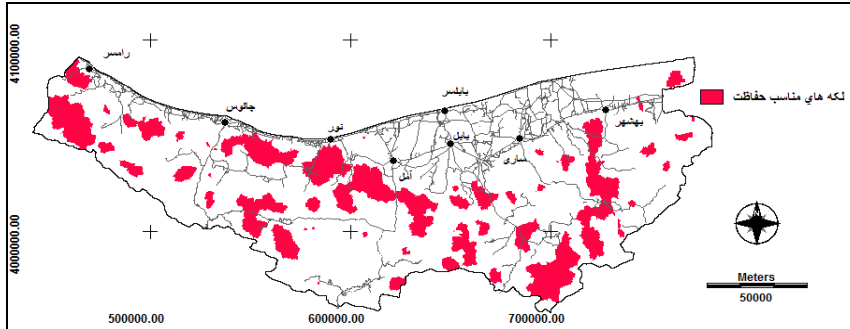
هدف	BLM	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد پوشش سطح استان	هدف	BLM	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد پوشش سطح استان
۵۰	۰	۷۹۷۷۰۳/۵۷	۲۱۶۸۷/۸۳	۳۱/۶۶	۳۰	۰	۴۵۷۸۸۲/۳۸	۱۸۱۸۳/۵۹	۱۸/۱۷
	۱۰	۷۵۴۰۳۶/۸۳	۶۳۲۸/۵۵	۲۹/۹۳		۱۰	۴۲۶۷۱۲/۶۸	۵۳۸۳/۱۹	۱۶/۹۳
	۳۰	۷۸۸۴۵۱/۰۳	۳۷۷۷/۷۷	۳۱/۲۹		۳۰	۴۳۴۹۴۸/۴۹	۳۲۰۹/۰۹	۱۷/۲۶
	۶۰	۸۳۵۱۵۸/۸۷	۳۲۴۷/۴۳	۳۳/۱۵		۶۰	۴۶۴۴۷۴/۴۳	۲۸۵۴/۰۷	۱۸/۴۳
	۱۰۰	۸۶۱۴۹۳/۴	۲۹۱۴/۲۵	۳۴/۱۹		۱۰۰	۴۸۸۲۱۵/۸۹	۲۵۹۲/۷۱	۱۹/۳۸
۶۰	۰	۹۸۱۲۷۰/۶۳	۲۱۶۹۰/۷۷	۳۸/۹۵	۴۰	۰	۶۲۲۳۴۵/۹۵	۲۰۲۶۷/۰۳	۲۴/۷
	۱۰	۹۴۰۹۹۹/۲۳	۶۴۹۵/۹۵	۳۷/۳۵		۱۰	۵۸۳۷۲۲/۹۹	۶۰۷۲/۷۱	۲۳/۱۷
	۳۰	۹۷۷۹۸۰/۷۷	۳۹۷۰/۰۷	۳۸/۸۲		۳۰	۶۰۳۵۳۹/۷۳	۳۶۶۲/۹۹	۲۳/۹۵
	۶۰	۱۰۳۶۶۱۰/۱	۳۲۱۱/۷۳	۴۱/۱۴		۶۰	۶۴۱۰۷۰/۹۹	۳۱۰۴/۸۱	۲۵/۴۴
	۱۰۰	۱۰۷۵۱۷۳/۰۳	۳۱۵۵/۳۹	۴۲/۶۷		۱۰۰	۶۸۹۱۴۸/۵۴	۲۹۵۲/۵۹	۲۷/۳۵

پراکنندگی لکه‌ها (محیط کل شبکه) زیاده‌تر است و نتایج خوبی به دست نمی‌آید. با استفاده از نمودارها و بررسی‌های چشمی بین نتایج حاصل سرانجام مشخص شد $BLM=60$ در هدف ۳۰ درصد و $BLM=30$ در سایر اهداف نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. نتایج حاصل از این BLM برای

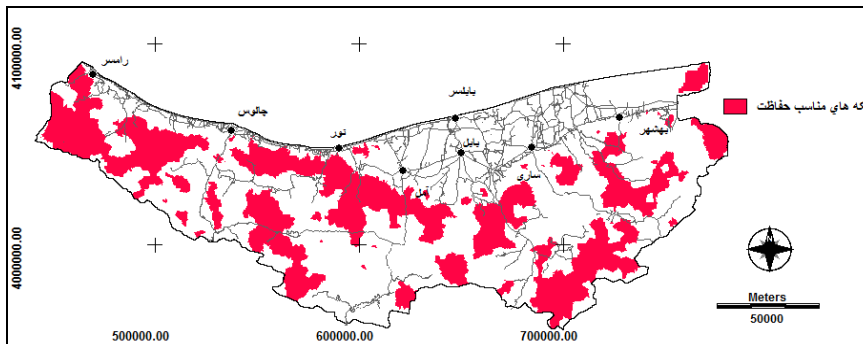
همان‌گونه که مشخص است، نسبت محیط به مساحت در BLM ۳۰ و ۶۰ در هدف ۳۰ درصد و BLM ۳۰ در سایر اهداف نسبت به سایر مقادیر دارای وضعیت بهتری است. در BLM های بیشتر، مساحت کل شبکه تحت حفاظت منتخب افزایش می‌یابد. در مقادیر پایین‌تر نیز،

اهداف مختلف در شکل‌های ۵ تا ۸، ارائه شده است. مقادیر محیط و مساحت شبکه‌های منتخب در اهداف و BLMهای مختلف در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

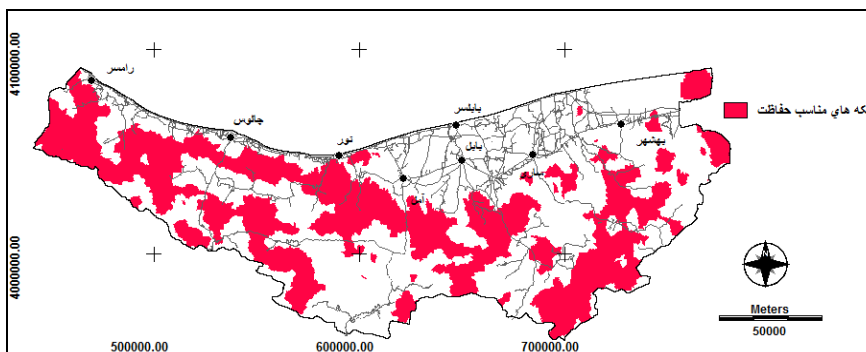
شکل ۵. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با $BLM=60$ در سناریوی اول با هدف ۳۰ درصد



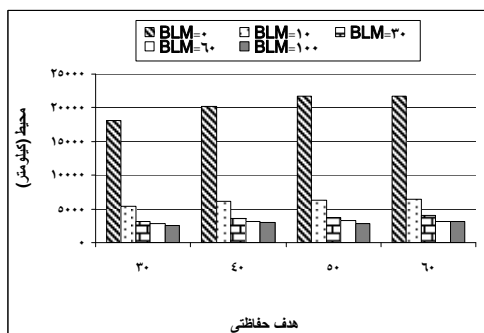
شکل ۶. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با $BLM=30$ در سناریوی اول با هدف ۴۰ درصد



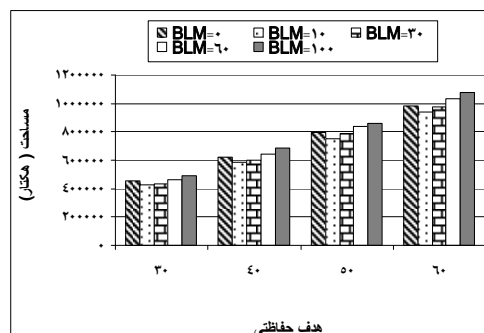
شکل ۷. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با $BLM=30$ در سناریوی اول با هدف ۵۰ درصد



شکل ۸. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با $BLM=30$ در سناریوی اول با هدف ۶۰ درصد



شکل ۱۰. مقادیر متفاوت مساحت لکه‌های حفاظتی منتخب در اهداف حفاظتی مختلف



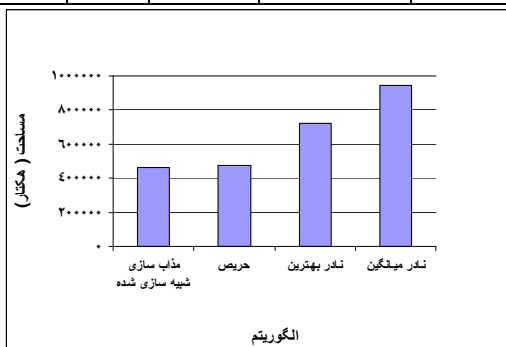
شکل ۹. مقادیر متفاوت محیط لکه‌های حفاظتی منتخب در اهداف حفاظتی مختلف

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

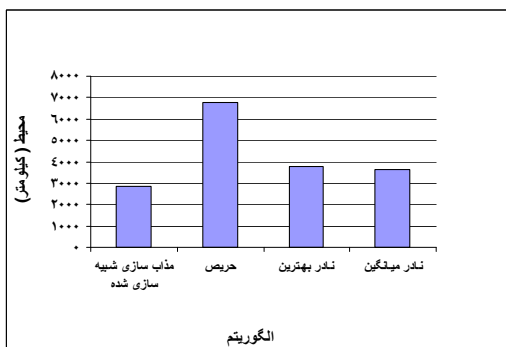
الگوریتم	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد پوشش سطح استان	زمان
مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده	۴۶۴۴۷۴/۴۳	۲۸۵۴/۰۷	۱۸/۴۳	۰۰:۲۸:۴۰
حریص	۴۷۲.۴۳۴/۹۳	۶.۷۹۶/۸۳	۱۸/۷۵	۱:۴۹:۴۳
نادر بهینه	۷۲۴.۳۴۴/۲۱	۳.۷۷۸/۴۹	۲۸/۷۵	۵:۰۰:۰۶
نادر میانگین	۹۴۲.۴۵۹/۷۵	۳.۶۴۳/۴۹	۳۷/۴۱	۲:۱۲:۲۵

۲.۴. سناریوی دوم: بررسی تأثیر الگوریتم‌های مختلف در نتایج

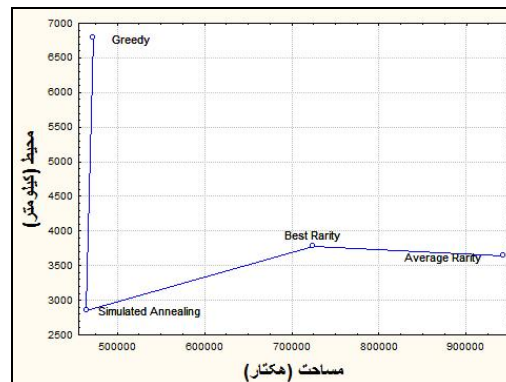
در این سناریو نتایج اجرای Marxan با الگوریتم‌های حریص و نادر با $BLM=60$ و هدف ۳۰ درصد مقایسه شده است. برای بررسی نتایج، نمودار محیط در برابر مساحت الگوریتم‌ها به همراه نتایج الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده با $BLM=60$ در سناریوی اول در شکل ۱۱ ارائه شده است. جدول ۲، مشخصات شبکه حفاظتی منتخب برای هر الگوریتم را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از نمودار مشخص است: الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده وضعیت بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد. شکل‌های ۱۲ و ۱۳، محیط و مساحت شبکه حفاظتی انتخاب شده از سوی الگوریتم‌های مختلف را نشان می‌دهند. نقشه‌های حاصل از هر یک از الگوریتم‌ها در شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ ارائه شده‌اند.



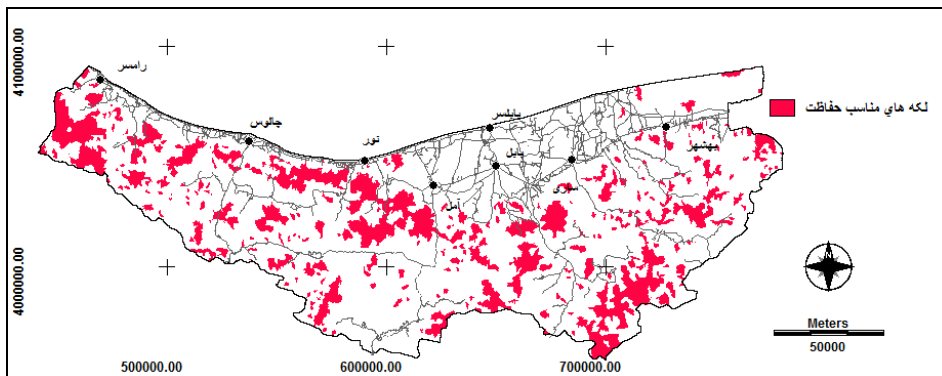
شکل ۱۲. مقادیر متفاوت محیط لکه‌های حفاظتی منتخب در الگوریتم‌های مختلف



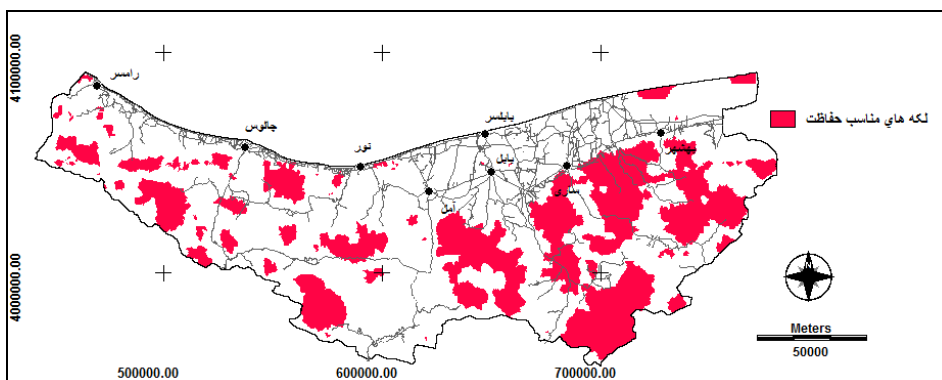
شکل ۱۳. مقادیر متفاوت مساحت لکه‌های حفاظتی منتخب در الگوریتم‌های مختلف



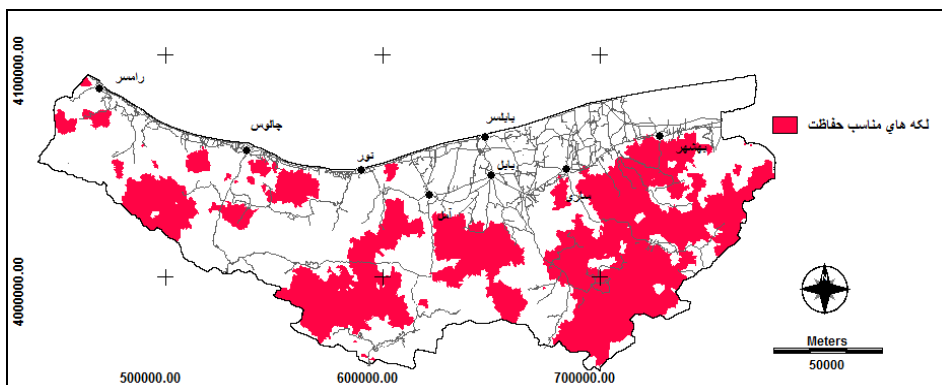
شکل ۱۱. رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب



شکل ۱۴. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم حریص و $BLM=60$ در سناریوی دوم



شکل ۱۵. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادر بهینه و $BLM=60$ در سناریوی دوم

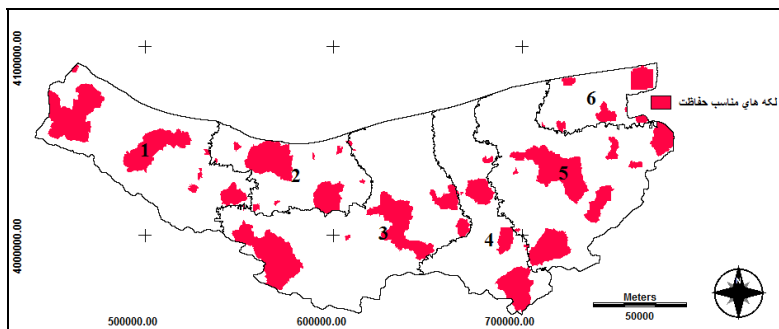


شکل ۱۶. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادر میانگین و $BLM=60$ در سناریوی دوم

است. مشخصات شبکه حفاظتی منتخب برای هر آبخیز فرعی در جدول ۳ ارائه شده است. علاوه بر این، برای بررسی تأثیر تعداد یگان‌ها و مقیاس در نتایج الگوریتم‌های مختلف، این الگوریتم‌ها در آبخیز فرعی شماره ۳ با هدف ۳۰ درصد و $BLM=60$ اجرا شدند. نتایج این اجرا در جدول ۴ و شکل‌های ۱۸ تا ۲۱، نشان داده شده‌اند.

۳.۴. سناریوی سوم: بررسی تأثیر مقیاس‌های مکانی مختلف در نتایج

در این سناریو نتایج اجرای Marxan در مقیاس مکانی آبخیزهای فرعی با هدف ۳۰ و $BLM=60$ با نتایج آن در مقیاس کل استان مقایسه شده است. نتایج اجرای این سناریو برای هر آبخیز فرعی در شکل ۱۷ نشان داده شده



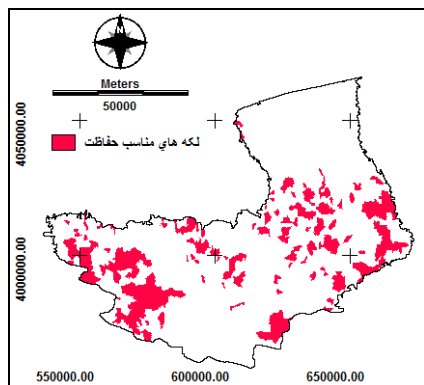
شکل ۱۷. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت در مقیاس آبخیزهای فرعی با $BLM=60$ در سناریوی سوم

جدول ۳. مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت انتخاب شده در سناریوی سوم

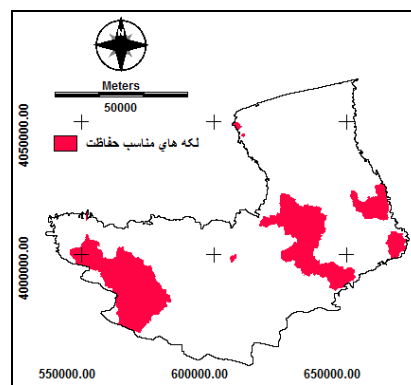
شماره آبخیز	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد پوشش سطح آبخیز
۱	۱۱۰.۵۲۰/۱۸	۵۱۹/۸۹	۲۲/۵۰
۲	۶۳.۹۰۰/۱۸	۳۴۹/۰۱	۲۴/۲۰
۳	۱۲۴.۴۶۲/۱۷	۵۸۲/۲۹	۱۸/۲۳
۴	۵۷.۵۱۳/۳۳	۳۰۸/۹۳	۱۷/۴۳
۵	۱۲۰.۵۱۶/۶۶	۵۶۷/۹۵	۲۰/۲۱
۶	۲۸.۹۶۴/۵۲	۲۱۷/۱۹	۱۸/۵۲
کل آبخیزها	۵۰۵.۸۷۷/۰۴	۲.۵۳۶/۹۱	۲۰/۰۸

جدول ۴. مشخصات شبکه مناطق تحت حفاظت انتخاب شده در آبخیز فرعی شماره ۳

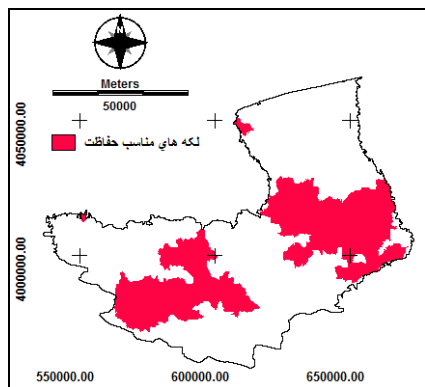
الگوریتم	مساحت (هکتار)	محیط (کیلومتر)	درصد پوشش سطح استان	زمان
مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده	۱۲۴.۴۶۲/۱۷	۵۸۲/۲۹	۱۸/۲۳	۱۶:۲۸
حریص	۱۲۲.۰۰۳/۱۹	۱۹۰.۸/۰۵	۱۷/۸۷	۴:۴۶
نادر بهینه	۱۸۱.۳۰۲/۸۴	۷۹۷/۰۹	۲۶/۵	۸:۱۳
نادر میانگین	۲۱۴.۰۳۲/۶۰	۸۳۷/۷۱	۳۱/۳۶	۸:۱۶



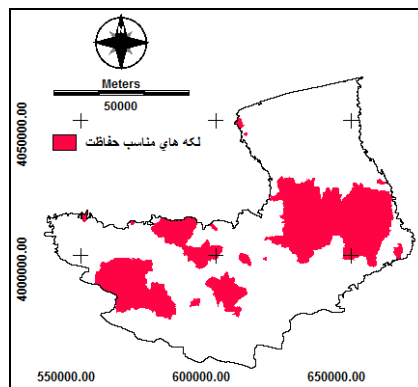
شکل ۱۹. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم حریص در آبخیز شماره ۳



شکل ۱۸. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده در آبخیز شماره ۳



شکل ۲۱. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادر میانگین در آبخیز شماره ۳

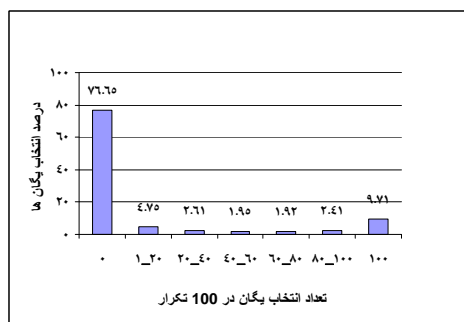


شکل ۲۰. پراکنش لکه‌های مناسب حفاظت با کاربرد الگوریتم نادر بهینه در آبخیز شماره ۳

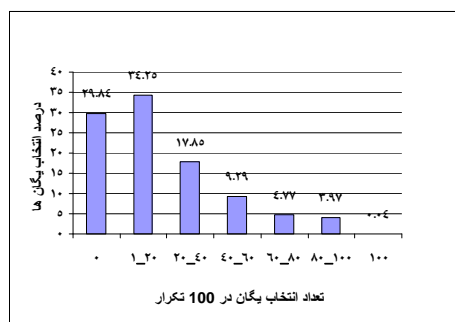
تعداد راه‌حل‌های مختلف از طریق الگوریتم ارائه می‌شود (Leslie, et al., 2003). تحلیل جایگزین‌نشدن برای الگوریتم‌های مختلف با هدف ۳۰ درصد و $BLM=60$ در شکل‌های ۲۲ تا ۲۵ نشان داده شده است.

۵. تحلیل جایگزینی‌نشدن^{۱۴}

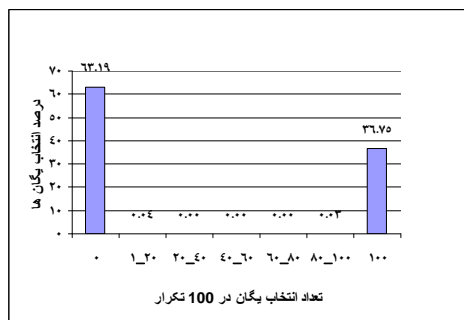
جایگزین‌نشدن، مطابق تعریف لزلی و همکاران در سال ۲۰۰۳ به‌منزله تعداد تکرار انتخاب هر یگان برنامه‌ریزی در ۱۰۰ بار تکرار اجرای مدل است. Marxan در یک فایل خروجی، فراوانی انتخاب هر یک از یگان‌ها را در کل تکرارها نشان می‌دهد. جایگزین‌نشدن نشان می‌دهد چه



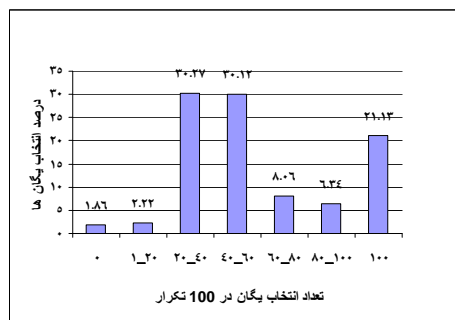
شکل ۲۳. تحلیل جایگزین‌نشدن در الگوریتم حریص



شکل ۲۲. تحلیل جایگزین‌نشدن در الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده



شکل ۲۵. تحلیل جایگزین‌نشدن در الگوریتم نادر میانگین



شکل ۲۴. تحلیل جایگزین‌نشدن در الگوریتم نادر بهینه

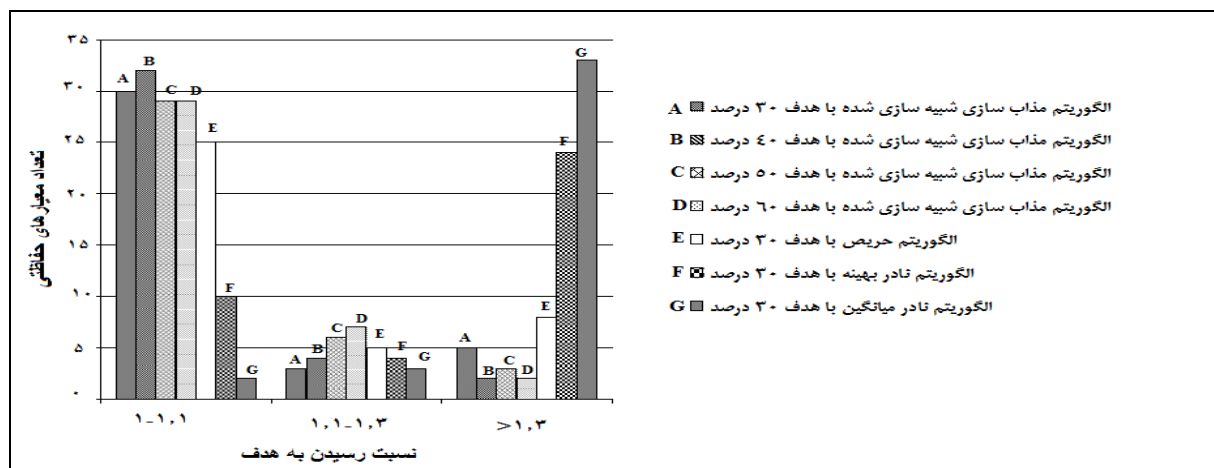
۶. بررسی کارایی معرف بودن^{۱۰} معیارهای حفاظتی

در این بخش کارایی الگوریتم‌ها و اهداف حفاظتی مختلف در معرف بودن آن‌ها نسبت به معیارهای حفاظتی بررسی شده است. اهداف حفاظتی در سناریوهای اجرا شده برای تمام معیارها به دست آمده‌اند. برای بررسی میزان دستیابی به اهداف حفاظتی در هر معیار، مقدار حضور هر معیار در راه‌حل بهینه نسبت به هدف حفاظتی تعریف شده برای آن معیار محاسبه شده است. این نسبت در معیارهای مختلف می‌تواند از ۱ (۱۰۰ درصد هدف حفاظتی برآورد شده است) تا هر عددی بیشتر از ۱ باشد. برای بررسی این موضوع، نسبت دستیابی به اهداف به ۳ طبقه تقسیم شده است. نسبت ۱ تا ۱/۱ به منزله معرف بودن معیار در راه‌حل بهینه در نظر گرفته شده است. نسبت بیشتر از ۱/۳ (۳۰ درصد بیشتر از هدف) به منزله معرف بودن بیش از حد در نظر گرفته شده است (Leslie, et al., 2003). نتایج بررسی‌ها در شکل ۲۶ ارائه شده است.

۷. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد الگوریتم‌های انتخاب مناطق حفاظت شده برای انتخاب مناطق مناسب حفاظت در استان مازندران بررسی شد. در سناریوی اول با اهداف مختلف حفاظت ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد هر معیار بهترین لکه‌ها برای حفاظت معرفی شدند. نتایج نشان داد، در تمام اهداف با افزایش BLM مساحت شبکه حفاظتی افزایش و محیط کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش اهداف پارامترهای مساحت و محیط شبکه حفاظتی افزایش می‌یابند. پس از بررسی نتایج مشخص شد، در بهترین حالت ($BLM=60$) برای هدف ۳۰ درصد و $BLM=30$ برای سایر اهداف) برای رسیدن به هدف حفاظتی ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد باید به ترتیب مقادیر $60.3.539/73$ ، $46.474/43$ ، $48.977.980/77$ و $788.451/03$ هکتار، معادل $18/43$ ، $23/95$ ، $31/29$ و $38/82$ درصد سطح استان حفاظت شود.

نتایج این سناریو دیدگاهی سریع از مساحت مورد نیاز برای رسیدن به اهداف حفاظتی مختلف در اختیار قرار می‌دهد. انتخاب هدف حفاظتی مورد نیاز یکی از مراحل ابتدایی و اصلی انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید است. در سناریوی دوم با هدف حفاظت ۳۰ درصد هر معیار و $BLM=60$ از طریق الگوریتم‌های مختلف بهترین لکه‌ها برای حفاظت معرفی شدند. ترسیم نمودار رابطه محیط و مساحت مشخص کرد، الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده وضعیت بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد. محیط و مساحت شبکه حفاظتی انتخاب شده از طریق الگوریتم‌های مختلف نشان داد با انتخاب الگوریتم حریص مساحت شبکه حفاظتی منتخب در مقایسه با الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده افزایش بیش از اندازه نداشته است. در مقابل، کاربرد الگوریتم‌های نادر بهینه و میانگین سبب افزایش بسیاری در مساحت شده‌اند. این مسئله از نظر هدف این پژوهش، دستیابی به حداقل مساحت ممکن، عملکرد ضعیف این دو الگوریتم را نشان می‌دهد. بر خلاف مساحت، افزایش محیط در الگوریتم‌های نادر بهینه و میانگین به نسبت الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده کمتر از الگوریتم حریص بوده است. الگوریتم حریص سبب افزایش بسیاری در محیط شبکه حفاظتی منتخب شده است. این مسئله پراکندگی و تکه‌تکه شدن بیش از حد لکه‌های حفاظتی را به دنبال خواهد داشت. از لحاظ مدیریتی و بوم‌شناختی برای حفاظت به لکه‌های فشرده‌تر و بزرگ‌تر بیشتر توجه می‌شود. به طور کلی یک لکه یا منطقه حفاظتی بزرگ‌تر بهتر از چند منطقه کوچک‌تر با همان اندازه کلی است (سلمان ماهینی، ۱۳۹۱). از این لحاظ، الگوریتم حریص عملکرد ضعیفی را در این پژوهش ارائه کرده است. الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده نیز از نظر محیط و مساحت جواب‌های پذیرفته را نسبت به سایر الگوریتم‌ها ارائه می‌کند.



شکل ۲۶. بررسی میزان معرف بودن معیارهای حفاظتی در سناریوهای مختلف انتخاب مناطق مناسب حفاظت

خصوص الگوریتم حریم نسبت به الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده زمان اجرای سایر الگوریتم کاهش زیادی داشته است. الگوریتم‌های نادر بهینه و میانگین از لحاظ محیط و مساحت، همانند قبل نتایج خوبی ارائه نکردند. اما بر خلاف نتایج قبل، الگوریتم حریم از لحاظ مساحت نتایج بهتری را نسبت به الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده ارائه کرده است. مساحت مورد نیاز برای حفاظت آبخیز با کاربرد الگوریتم‌های مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده و حریم به ترتیب ۱۸/۲۳ و ۱۷/۸۷ درصد است. به هر حال، الگوریتم حریم از لحاظ پراکندگی لکه‌ها و محیط شبکه حفاظتی نتایج قابل قبولی ارائه نمی‌دهد. از این لحاظ نتایج این پژوهش با مطالعات Leslie و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. هر چند نتیجه‌گیری از این موضوع به تحقیقات بیشتری نیاز دارد، اما مطابق نتایج این پژوهش می‌توان گفت کارایی الگوریتم حریم با افزایش پیچیدگی مسئله حفاظتی، به نسبت بیشتری کاهش می‌یابد.

در سناریوی سوم به منظور بررسی تأثیر مقیاس مکانی، مدل در ۶ آبخیز فرعی در سطح استان با هدف ۳۰ درصد و $BLM=60$ اجرا شد. بر اساس نتایج، ۱۷/۴۳ تا ۲۴/۲۰ درصد هر آبخیز برای حفاظت معرفی شد. در مجموع، در مقیاس آبخیزهای فرعی نیاز است ۵۰۵.۸۷۷/۰۴ هکتار،

مسئله‌ای که در این پژوهش برای محققان غیرمنتظره بوده، زمان صرف شده برای اجرای الگوریتم‌هاست. مطابق نتایج، زمان صرف شده برای هر یک از الگوریتم‌های مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده، حریم، نادر بهینه و میانگین به ترتیب ۰۰:۲۸:۴۰، ۰۱:۴۹:۴۳، ۰۵:۰۰:۰۶ و ۰۲:۱۲:۲۵ بوده است. همان‌گونه که مشخص است در مقایسه با الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده، سایر الگوریتم‌ها افزایش بیش از حدی در زمان اجرا داشته‌اند. بر خلاف این نتایج، در منابع (Game & Grantham, 2008) ذکر شده است که این الگوریتم‌ها در مقایسه با الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده راه‌حل‌های ساده‌تر، اما سریع‌تری ارائه می‌کنند. همچنین، نتایج مقایسه بین الگوریتم مذاب‌سازی شده و حریم در مطالعه McDonnell و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد، الگوریتم حریم در زمان کمتر راه‌حل ضعیف‌تری را ارائه می‌دهد. موضوع متفاوت در این مطالعه، تعداد کمتر یگان‌های برنامه‌ریزی (۱۹۸۵ یگان) نسبت به تعداد یگان‌ها در پژوهش حاضر (۱۹۸۶۵ یگان) است. البته تعداد معیارها در این مطالعه ۱۱۲ و بیشتر از معیارهای این پژوهش (۳۸ معیار) است. به هر حال، برای بررسی تأثیر تعداد یگان‌ها، در سناریوی سوم الگوریتم‌ها در آبخیز فرعی شماره ۳ با هدف ۳۰ درصد و $BLM=60$ اجرا شدند. نتایج نشان داد، به ویژه در

معادل ۲۰/۰۸ درصد استان حفاظت شود. این مقدار در مقیاس کل استان برابر با ۴۳/۴۷۴/۶۴ هکتار، معادل ۱۸/۴۳ درصد سطح استان است. در مجموع در مقیاس آبخیزهای فرعی نسبت به مقیاس کل استان مساحت بیشتری از منطقه به‌منزله مناطق با اولویت بالای حفاظتی پیش‌بینی شدند. علت این است که تمامی اهداف تعریف‌شده باید در هر یک از آبخیزها حضور داشته باشند. نتایج از این لحاظ مشابه نتایج پیرس و همکاران در سال ۲۰۰۸ است. میزان هم‌پوشانی شبکه حفاظتی منتخب در مقیاس آبخیزهای فرعی و کل استان ۴۲/۳۳ درصد است. این نتایج ثابت می‌کند مقیاس مکانی می‌تواند تعیین‌کننده توزیع و تعداد مکان‌های انتخاب‌شده در منطقه باشد. انتخاب مقیاس مکانی مناسب برای مطالعه به بررسی بیشتری نیاز دارد و یکی از مسائل مهم در فرایندهای مدل‌سازی و برنامه‌ریزی است.

تحلیل جایگزین‌نشدن نشان داد، در الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده ۲۹/۸۴ درصد یگان‌های برنامه‌ریزی در هیچ‌یک از تکرارها انتخاب نشده‌اند. حدود ۵۱ درصد از یگان‌های برنامه‌ریزی در کمتر از ۴۰ تکرار انتخاب شده‌اند. فقط حدود ۴ درصد یگان‌های برنامه‌ریزی بیش‌تر از ۸۰ بار در تکرارها حضور داشته‌اند و نشان‌دهنده اهمیت آن‌ها در فرایند انتخاب مناطق مناسب حفاظت است. از میان این ۴ درصد، فقط ۷ یگان برنامه‌ریزی به طور مطلق قابل جایگزینی نبوده‌اند و در همه ۱۰۰ تکرار حضور داشته‌اند. در الگوریتم حریم ۷۶/۶۵ درصد یگان‌های برنامه‌ریزی در هیچ‌یک از تکرارها انتخاب نشده‌اند. حدود ۱۲ درصد یگان‌ها بیش از ۸۰ بار انتخاب شده‌اند و از میان آن‌ها، ۱۰ درصد به طور مطلق قابل جایگزینی نبوده‌اند و در همه ۱۰۰ تکرار حضور داشته‌اند. این نتایج نشان می‌دهند، الگوریتم حریم راه‌حل‌های مختلف کمتری را نسبت به الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده تولید می‌کند. این نتایج با نتایج Leslie و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. الگوریتم نادر بهینه از نظر

ارائه راه‌حل‌های مختلف کارایی کمتری داشته است. در این الگوریتم ۲۱/۱۳ درصد یگان‌های برنامه‌ریزی به طور مطلق قابل جایگزینی نبوده‌اند و در همه ۱۰۰ تکرار حضور داشته‌اند. همچنین، حدود ۶۰ درصد یگان‌های برنامه‌ریزی در بیشتر از ۴۰ تکرار حضور داشته‌اند. این مسئله در خصوص الگوریتم نادر میانگین حتی بسیار ضعیف‌تر عمل کرده است. در این الگوریتم ۶۳/۱۹ درصد یگان‌های برنامه‌ریزی در هیچ‌یک از تکرارها حضور نداشته‌اند. در مقابل، ۳۶/۷۵ درصد یگان‌های برنامه‌ریزی در تمام ۱۰۰ تکرار حضور داشته‌اند و تعداد تولید راه‌حل‌های مختلف حتی به یک درصد هم نرسیده است. این نشان می‌دهد، این الگوریتم در همه ۱۰۰ تکرار وضعیت مشابهی داشته و تعداد تکرارها تأثیری در کاهش مساحت شبکه حفاظتی منتخب نداشته است. از مهم‌ترین مسائل در فرایند انتخاب مناطق تحت حفاظت، انعطاف‌پذیری برای کشف راه‌حل‌های جایگزین است. طراحان و برنامه‌ریزان نیازمند ارزیابی دامنه‌ای از راه‌حل‌های قابل قبول برای رسیدگی به سایر ملاحظات مانند نیازهای اقتصادی و سیاسی‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهند، الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده از این نظر بسیار خوب عمل می‌کند و کارایی زیادی در جست‌وجوی فضای تصمیم‌گیری و ارائه راه‌حل‌های قابل قبول دارد.

بررسی کارایی معرف‌بودن معیارهای حفاظتی نشان داد، با کاربرد الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده وابسته به اهداف مختلف ۲۹ تا ۳۲ معیار حفاظتی به اهداف تعیین‌شده برای آن‌ها رسیده‌اند. همچنین، ۲ تا ۵ معیار بیش‌تر از هدف تعیین‌شده برای آن‌ها در راه‌حل بهینه حضور داشته‌اند. در میان سناریوها با اهداف مختلف، هدف ۴۰ درصد در معرف‌بودن معیارها بهتر عمل کرده است. در این هدف تعداد بیشتری از معیارها به هدف تعیین‌شده رسیده‌اند و تعداد کم‌تری از معیارها بیش از حد هدف تعیین‌شده برای آن‌ها در راه‌حل بهینه حضور یافته‌اند. مقایسه الگوریتم مذاب‌سازی شده با سایر الگوریتم‌ها نشان

زیادی به شناسایی بهترین لکه‌های حفاظتی می‌کند. در راستای تکمیل نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود مدل در مقیاس‌های بزرگ‌تر از استان و در سطح آبخیزهای کلان یا حتی کل کشور اجرا شود. همان‌گونه که نتایج نشان داد، مقیاس تأثیر زیادی در نتایج حاصل داشته است و اجرای مدل‌ها در مقیاس‌های مختلف می‌تواند به شناسایی نتایج بهتر کمک کند. همچنین، نتایج نشان داد، الگوریتم‌های مختلف تأثیر زیادی در نتایج حاصل داشته است و اجرای مدل‌ها با الگوریتم‌های رایانه‌ای مانند الگوریتم ژنتیک و کلنی مورچه‌گان و مقایسه آن‌ها با الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده می‌تواند به شناسایی نتایج بهتر کمک کند.

یادداشت‌ها

1. Optimal algorithms
2. Heuristic algorithms
3. Binary
4. Integer
5. IP or LIP- Integer Linear Program
6. LSCP- Locational Set Covering Problem
7. MCLP- Maximal Covering Location Problem
8. Greedy, Rarity and Simulated annealing
9. Iterative Improvement
10. Boundary Length Modifier
11. Fragmentation
12. Best Rarity
13. Average Rarity
14. Irreplaceability analysis
15. Representation

می‌دهد، الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده کارایی بهتری در معرف بودن معیارها نسبت به هدف تعیین شده برای آن‌ها دارد. در الگوریتم حریرص ۲۵ معیار به هدف تعیین شده برای آن‌ها رسیده‌اند و ۸ معیار بیشتر از حد هدف تعیین شده برای آن‌ها در راه‌حل بهینه حضور داشته‌اند. در خصوص الگوریتم‌های نادر بهینه و میانگین کارایی رسیدن به اهداف بسیار کم‌تر است و به ترتیب ۲۴ و ۳۳ معیار بیشتر از هدف تعیین شده برای آن‌ها در راه‌حل بهینه حضور داشته‌اند. این مسئله سبب افزایش مساحت شبکه حفاظتی منتخب شده است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهند، الگوریتم‌های رایانه‌ای قابلیت زیادی در بررسی سناریوهای مختلف حفاظتی و انتخاب بهترین مکان‌ها برای حفاظت دارند. نتایج نشان می‌دهند، پارامترهای مختلفی از جمله اهداف حفاظتی تعیین شده، مقیاس مطالعه، الگوریتم‌های مختلف و میزان فشردگی لکه‌های حفاظتی منتخب در فرایند انتخاب مناطق تحت حفاظت دخیل‌اند. در نتیجه تعیین مقادیر مناسب برای این پارامترها جزو اساسی‌ترین مرحله‌ها در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی به شمار می‌روند. اغلب این پارامترها دارای یک مقدار ویژه نیستند و باید نسبت به مدل و منطقه مورد مطالعه کالیبره و بهترین مقادیر برای آن‌ها انتخاب شوند. بررسی این پارامترها در پژوهش حاضر نشان داد، الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده نتایج قابل قبول‌تری را در تمام موارد ارائه و کاربرد آن کمک

منابع

رضایی، ح؛ ربیعی، ک؛ بطحایی، م؛ خانی، ع؛ قاسمی، م؛ نظامی، ب. ۱۳۸۹. طرح بازنگری فون پرنندگان استان مازندران، اداره کل محیط‌زیست استان مازندران.

سازمان جنگل‌ها و مراتع. ۱۳۹۰. نقشه تپ پوشش جنگلی استان مازندران.

سالنامه آماری استان مازندران. ۱۳۸۹. ۸۹۹ ص.

سلیمان ماهینی، ع. ۱۳۹۱. شالوده حفاظت محیط‌زیست، چاپ دوم، انتشارات دی‌نگار، ۶۱ ص.

Aerts, J. C. J. H. and Heuvelink, G. B. M. 2002. Using simulated annealing for resource allocation. Geographical information science, 16 (6): 571- 587.

- 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 pp, viewed 10 December 2010, www.pacmara.org
- Csuti, B., Polasky, S., Williams, P. H., Pressy, R. L., Camm, J. D., Kershaw, M., Kiester, A. R., Downs, B., Hamilton, R., Huso, M. and Sahr, K. 1997. A comparison of reserve selection algorithms using data on terrestrial vertebrates in Oregon, *Biological Conservation*, 80 (2): 83-97.
- 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.
- 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*: 13(1): s185- s198.
- Margules, C. R. and Pressey, R. L. 2000. Systematic conservation planning, *nature* ,405(6783): 243-253.
- McDonnell, m. D., Possingham, H. P., Ball, I. R. and Cousins, E. A. 2002. Mathematical methods for spatially cohesive reserve design. *Environmental modeling and assessment*. 7 (2): 107- 114.
- Myers, W. L., Patil, G. P. and Joly, K. 1997, Echelon approach to areas of concern in synoptic regional monitoring. *Environmental and Ecological Statistics*, 4(2): 131-152.
- Myers, W.L. and Patil, G. P. 2002. Echelon analysis, *Encyclopedia of Environmetrics*, Volme 2: 583-586.
- Patil, G. P., Bishop, J. A., Myers, W.L., Taillie, C., Varney, R. and Wardrop, D. 2004. Detection and delineation of critical areas using Echelons and spatial scan statistics with synoptic cellular data. *Environmental and Ecological Statistics* 11(2): PP. 139- 164.
- Pattison, D., Dosreis, D. and Smillie, H. 2004, An inventory of GIS-Based Decision-Support Tools for MPAs. Prepared by the National Marine Protected Areas, 16 pp, viewed 10 December 2010, www.pacmara.org.
- Pearce, J. L., Kirk, D. A., Lane, C. P., Mahr, M. H., Walmsley, J., Casey, D., Muir, J. E., Hannon, S., Hansen, A. and Jones, K. 2008, Prioritizing avian conservation areas for the Yellowstone to Yukon Region of North America, *Biological Conservation*, 141 (4): 908-924.
- Possingham, H.P., Ball, I.R. and Andelman, S. 2000. Mathematical methods for identifying representative reserve networks. In: S. Ferson and M. Burgman (Eds.), *Quantitative methods for monsorvation biology* (pp. 291-305). New York: Springer-Verlag.
- Pressey, R. L., Possingham, H. P. and Margules, C. R. 1996, Optimality in reserve selection algorithms: when does it matter and how much? *Biological Conservation*, 76 (3): 259-267.
- Pressey, R.L. 2002. The first reserve selection algorithm. *Progress in Physical Geography*, 26(3): 434-441.
- Sharma, S. K. and Lees, B. G. 2004. A comparison of simulated annealing and GIS based MOLA for solving the problem of multi-objective land use assessment and allocation, 10 pp.
- Stewart, R. R. and Possingham, H. P. 2005. Efficiency, costs and trade-offs in marine reserve system design. *Environmental Modeling and Assessment*, 10(3): 203-213.
- Vanderkam, R. P. D., Wiersma, Y. F. and King, D. J. 2007. Heuristic algorithms vs. linear programs for designing efficient conservation reserve networks: Evaluation of solution optimality and processing time, *Biological conservation*, 124(2005): 1-10. www.ecology.uq.edu.au/marxan.htm