

Research Paper

Spatial Prioritization of Protected Areas Using Simulated Annealing Algorithm (Study Area: Mazandaran Province)Samira Qorbani¹, Mehran Shaygan^{2*}, Jalal Karami³, Seyed Mahmoud Ghasempouri⁴

1. M.Sc. Student, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
4. Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 2022/7/23
Accepted: 2022/12/18

ABSTRACT

The expansion of human population, the creation of cities and villages, the construction of bridges, roads and dams are the salient factors destroying and threatening the habitat of a variety animal and plant species. Preserving the habitat of species is one of the ways to protect them from threatening factors and prevent their extinction. Protected areas include four parts such as the national natural heritage, the protected areas, the wildlife sanctuary, and the national park. The purpose of this research is to opt for the new preserved areas for the protection of 6 mammal species in Mazandaran province using the Simulated Annealing Algorithm. The maximum entropy method was used to prepare the species distribution layer. This research studied and investigated the effect of different parameters such as BLM, SPF, different protection goals (30%, 40%, 50% and 60% of the minimum area considered for any kind of protection) in the process of selecting protected areas. By examining 4 different scenarios for the protection of 6 species of mammals, the results showed that the existing protected areas (Shesh Rudbar, Asas, Hazar Jerib, Dodange Wildlife Sanctuary, Bind National Park, and Kiasar National Park) are not effective for protection purposes.

Keywords:

Simulated Annealing Algorithm; Protected Areas; Mazandaran Province; Spatial Prioritization.

* **Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

<http://dor.20.1001.1.16059689.1401.0.0.10.2>

<https://doi.10.2022/hsmasp.26.3.2>

ORCID: 0000 0002 7714 7559

m.shaygan@modares.ac.ir

P

Extended Abstract**Introduction**

Protected areas (PAs) play an important role in preserving biodiversity and maintaining plant and animal species (Kolahi. *et al*, 2013: 514–530). Prioritizing protected areas with systematic methods is the use of artificial intelligence, a method that applies algorithms based on an objective function to identify the best areas for protection (Mehri. *et al*, 2014: 462-470). Animal species, including mammals, migrate from favorable to unfavorable habitats. These migrations cause the multiplication and reproduction of species and their genetic strengthening, which is also important from the point of view of conservation biology. Unfortunately, today, due to obstacles such as the construction of dams, highways, roads in urban and rural areas, and the decrease in population due to migrations are not seen (Karami *et al.*, 2015). Therefore, spatial prioritization and selection of suitable areas to protect plant and animal species can be a solution to save valuable native species and protect them without direct human intervention.

Methodology

The area of study is Mazandaran province which is located in the north of Iran and covers an area of about 23770.3 square kilometers or 1.5% of the total area of the country. This province is located at latitude 35 °46 to 38 ° North and longitude 50 °21 to 54 ° East. In this research, in order to prioritize the protected areas, there is a need of selection criteria for the same. The criteria needed to prioritize the protected areas of the province are the mammal species (*Capra aegagrus*, *Panthera pardus*, *Felis chaus*, lynxes, *Cervus elaphus*, *Ursus arctos*). The maximum entropy method was used to prepare the aforementioned criteria.

Then, in order to prioritize the areas under protection, by calibrating the model, 30% target was selected for the first, second and third scenarios, with the number of algorithm repetitions and model executions 10000000 and 100, respectively; Also, for the fourth scenario, the protection targets of 40%, 50% and 60% was determined..

Results and discussion

AUC was used to verify the results of the species habitat desirability model. The value of AUC (area under the ROC curve) indicates its optimal performance in predicting the distribution of the targeted species in the study area. The average AUC in 10 runs was calculated as 0.97, 0.94, 0.92, 0.92, 0.84 and 0.96 for all species i.e. *Capra aegagrus*, *Cervus elaphus*, *Lynx lynx*, *Felis chaus*, *Panthera pardus* and *Ursus arctos*, respectively. That showed the very good performance of the model.

The results of the first scenario showed that among the 6 studied species, the protected areas were unable to protect 30% of the 3 species of *Panthera pardus*, *Felis chaus*, and *Lynx lynx*, and only succeeded in achieving the protection target of the other 3 species. Examining the results of the second scenario showed that for 30% protection targets, in the best case, 5483532 hectares, which is equivalent to 20.76% of Mazandaran province, could be protected. The area of existing protected areas is equal to 5,365,401 hectares, equivalent to 20.31% of the province. Based on this, it is necessary to add about 118,131 hectares to the level of the current areas. The results of the third scenario with 11 different BLM values showed that 7.97 to 23.89 percent of the province should be protected. That's mean; each of the protection networks of different BLMs overlaps with the existing protected areas, from 14.64% to 53.43%. After reviewing the results, it was determined

that in the best case, to realize the protection network with BLM equivalent to 40, 2107.1 square kilometers, that is, 8.86% of the province's surface, should be protected for 6 mammal species. In fact, the new protected areas with BLM equal to 40, overlap with the existing protected areas by 25.27%. The low overlap percentage of the new protected areas compared to the existing ones show that the latter areas are not optimal in estimating the conservation targets.

Also, according to the results of the fourth scenario, In the target of 40%, 50% and 60% with BLM 40, it has provided a suitable answer, which are 2926.8, 3916.5, 5388 km² (is equivalent to 12.31%, 16.47% and 23.29%) of the province are respectively protected. Each of the new protected areas with conservation targets of 40%, 50% and 60% overlaps with the existing ones by 36.66%, 43.93% and 46%, respectively.

By examining the above four different scenarios, in order to protect 6 said species, the results showed that the existing preserved areas (Shesh Rodbar Protected Area, Asas Protected Area, Hezar Jarib Protected Area, Dodange Wildlife Sanctuary, Paband National Park and Kyasar National Park), do not work accurately in terms of achieving the conservation target. The existing protected areas also showed an overlap of less than 50% with the new protected areas. As the present results show, it is possible to identify existing protected gaps and introduce preserved areas to fill these gaps.

Further, with the effect of the BLM parameter and different protection targets on the area and perimeter of the region, it showed that, with the increase of the BLM parameter in each protection target, the area will be more and the perimeter will be less. Also, with the increase of parameters (BLM and Target), the perimeter and area of new protected areas will increase.

Conclusion

The results of this research showed that the Simulated Annealing Algorithm provides good and acceptable results in identifying and selecting the protected areas. In other words, increasing the efficiency of the protected areas is directly dependent on the amount of species present there. In this research, the maximum entropy method was used to prepare the conservation criteria due to small amount of species. It is suggested, therefore, to evaluate the efficiency of other algorithms by preparing richer data and considering more diverse species. It is suggested that other species, including birds, reptiles and plants, be used as protection criteria for selecting and prioritizing of the protected areas.

اولویت بندی مکانی مناطق تحت حفاظت با استفاده از الگوریتم شبیه سازی تبرید (منطقه مورد مطالعه: استان مازندران)

سمیره قربانی^۱، مهران شایگان^{۲*}، جلال کرمی^۳، سید محمود قاسم پوری^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲. استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳. استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۴. دانشیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۷

گسترش جمعیت انسان ها، ایجاد شهرها و روستاها، ساختن پل، جاده و سدها از عوامل تخریب و تهدید زیستگاه گونه های جانوری و گیاهی هستند. حفاظت زیستگاه گونه ها یکی از راه های نگه داری آن ها در برابر عوامل تهدیدکننده و جلوگیری از انقراض آن ها است. مناطق تحت حفاظت شامل چهار بخش اثر طبیعی ملی، مناطق حفاظت شده، پناهگاه حیات وحش و پارک ملی است. هدف از این پژوهش، انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید جهت حفاظت شش گونه پستاندار استان مازندران با استفاده از الگوریتم شبیه سازی تبرید است. جهت تهیه لایه پراکنش گونه ها از روش حداکثر آنتروپی (maxent) استفاده شد. در این پژوهش تأثیر پارامترهای مختلف از جمله BLM، SPF، اهداف حفاظتی متفاوت (۳۰ درصد، ۴۰ درصد، ۵۰ درصد و ۶۰ درصد - حداقل مساحت در نظر گرفته شده برای حفاظت هرگونه)، در فرایند انتخاب مناطق تحت حفاظت، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. با بررسی چهار سناریوی مختلف، جهت حفاظت شش گونه پستاندار، نتایج به دست آمده نشان داد که مناطق تحت حفاظت موجود (منطقه حفاظت شده شش رودبار، منطقه حفاظت شده اساس، منطقه حفاظت شده هزارجریب، پناهگاه حیات وحش دودانگه، پارک ملی پابند و پارک ملی کیاسر)، از نظر دستیابی به اهداف حفاظتی کارایی خوبی ندارند. همچنین مناطق تحت حفاظت موجود هم پوشانی کم تر از ۵۰ درصد با مناطق تحت حفاظت جدید را نشان داد. طبق نتایج حاصل شده در این پژوهش، می توان خلأهای حفاظتی موجود را شناسایی و جهت تکمیل کردن این خلأها، مناطق حفاظتی جدید را معرفی کرد.

الگوریتم شبیه سازی تبرید، مناطق تحت حفاظت، اولویت بندی مکانی، استان مازندران.

واژگان کلیدی:

۱. مقدمه

تنوع گونه‌های جانوری و گیاهی کشور ایران از نظر اقلیمی، تنوع زیستگاهی و موقعیت آن قابل توجه است. حفاظت از گونه‌های جانوری و گیاهی، از جمله گونه‌های بومزاد به حفاظت از تنوع زیستی یک منطقه یا زیستگاه کمک خواهد کرد؛ چراکه این گونه‌ها نمایه‌ای از تنوع زیستی به‌شمار می‌روند (کرمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۹). اختلاف شدید بین عوامل اقلیمی و توپوگرافی در زیستگاه گونه‌های گیاهی کشور بی‌تأثیر نبوده است که این امر به تنوع فون^۱، فلور^۲، ذخایر بیولوژیکی و ژنتیکی منجر شده است (مجنونیان، ۱۳۹۳). گونه‌های جانوری از جمله پستانداران از زیستگاه مطلوب به زیستگاه نامطلوب مهاجرت می‌کنند. این مهاجرت‌ها موجب تکثیر و زادوولد گونه‌ها و تقویت ژنتیکی آن‌ها می‌شود که از دیدگاه زیست‌شناسی حفاظت نیز حائز اهمیت است. متأسفانه امروزه به دلیل وجود موانعی مثل ساخت سدها، اتوبان‌ها، راه‌های اماکن شهری و روستایی و کم‌تر شدن جمعیت‌ها، چنین مهاجرت‌هایی دیده نمی‌شود (کرمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۹).

در زمان برنامه‌ریزی و طرح‌ریزی پروژه‌های بزرگ صنعتی مانند صنایع پتروشیمی، با شناسایی محدودیت‌های جدی زیست‌محیطی، می‌توان خسارت‌های زیست‌محیطی را به‌طور قابل توجهی کاهش داد. همچنین ضرورت پرداختن به محیط زیست و صنایع وابسته به آن زمانی حائز اهمیت است که دریا بیم در راستای توسعه پایدار، صنعتی بدون توجه به محیط زیست غیرممکن است (قبادی، ۱۳۹۵: ۲۲۱؛ پاداش، ۱۳۹۵: ۲۸). افزایش شهرها و روستاها، بدون در نظر گرفتن توان محیطی به تخریب محیط زیست و پیامدهای ناگوار منجر می‌شود که محیط را از توسعه پایدار دور می‌کند. بنابراین باید در چارچوب و بر پایه شناخت و خصوصیات جغرافیایی محیط، بهره‌برداری صورت گیرد (ضرابی، ۱۳۹۰: ۷۹). در حالت طبیعی، هر گونه به‌طور متوسط حدود ده میلیون سال عمر می‌کند و در نهایت منقرض می‌شود، اما نقش انسان در تسریع این روند طبیعی انکارناپذیر است (کابلی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۰). بنابراین، اولویت‌بندی مکانی و انتخاب مناطق مناسب جهت حفاظت گونه‌های گیاهی و جانوری، می‌تواند راه‌حلی برای نجات گونه‌های ارزشمند بومی و حفاظت بدون دخالت مستقیم انسان باشد.

پژوهش‌های متعددی در مورد استفاده از روش‌های سیستماتیک از جمله روش‌های هوشمند کامپیوتری یا هوش مصنوعی، به منظور بهبود انتخاب مناطق تحت حفاظت در اقلیم‌های مختلف، در جهان و ایران، با توجه به معیارهای متفاوت، از جمله بیوفیزیکی و اجتماعی - اقتصادی، انجام شده است. مهری و همکاران (۱۳۹۱)، جهت انتخاب مناطق تحت حفاظت استان مازندران، از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد جهت حفاظت از ۳۰ درصد لایه پراکنش هرگونه (حداقل مساحت در نظر گرفته شده برای حفاظت هرگونه) در بهترین حالت، باید ۲۸ درصد از سطح استان حفاظت شود.

۱. fauna: مجموعه‌ای جانوری یا پوشش جانوری که در منطقه‌ای وجود دارد.

۲. flora: مجموعه‌ای گیاهی یا پوشش گیاهی که در منطقه‌ای می‌روید.

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

اسفنده و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید^۱ به اولویت‌بندی سیستماتیک مناطق حفاظت‌شده در استان البرز پرداختند. هدف از این پژوهش انتخاب مناسب‌ترین مناطق در استان البرز، با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید است. به این منظور از پنج گونه پستاندار به‌عنوان معیار حفاظتی استفاده شده است و نتایج الگوریتم شبیه‌سازی تبرید با الگوریتم‌های ابتکاری حریص^۲ و نادر^۳ مقایسه شده‌اند. همچنین این تحقیق نشان داد که الگوریتم شبیه‌سازی تبرید نتایج قابل قبولی را در تمامی سناریوها در مقایسه با دو الگوریتم دیگر ارائه می‌کند.

مؤمنی (۱۳۹۸) جهت انتخاب سیستماتیک مناطق حفاظتی استان گلستان، از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده کرده است. هدف از این تحقیق انتخاب شبکه‌ی مناطق تحت حفاظت که حداقل ۲۰ درصد گونه‌های جانوری را پوشش دهد، بوده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مناطق تحت حفاظت موجود در استان گلستان، از میان نه معیار حفاظتی، فقط در حفاظت سه گونه موفق بوده است.

با هدف ارائه راهکاری جهت حفظ تنوع زیستی اکوسیستم‌های آب شیرین در پنیسولای لیبریا، هرموسو^۴ و همکاران (2015)، از روش طراحی سیستماتیک مناطق حفاظت‌شده و با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به تعیین حداقل مناطق تحت حفاظت موردنیاز برای افزودن به مناطق حفاظتی موجود پرداختند. هنریکس^۵ و همکاران (2017)، با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، به برنامه‌ریزی فضای دریایی در ساحل جنوبی پرتغال پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که این روش می‌تواند برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌های ساحلی با هدف‌هایی غیر از مسائل مربوط به حفاظتی، سودمند باشد. جاوید و همکاران (2019)، از داده‌های ردیابی ماهواره و ابزار برنامه‌ریزی اولویت‌بندی روش Marxan، برای شناسایی مهم‌ترین مناطق برای حفاظت از فلامینگو در منطقه ساحلی ابوظبی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد این روش بهترین راه‌حل را با مساحت واقع‌گرایانه‌تر که برای حفاظت مناسب است، نشان داده است. مطالعات و تحقیقات انجام‌شده درمورد الگوریتم شبیه‌سازی تبرید هستند. به‌کارگیری روش‌های سیستماتیک اولویت‌بندی مناطق تحت حفاظت، شرایط رسیدن به مناطق حفاظتی با تنوع زیستی پایدار^۶ را تضمین می‌کند (Margules & Pressey, 2000: 243-253).

تفاوت برجسته این تحقیق با سایر پژوهش‌های انجام‌شده، تهیه معیارها با استفاده از روش MAXENT، همچنین نوع سناریوهای اجراشده، پیاده‌سازی روش معرفی‌شده در استان مازندران است. متأسفانه در کشور ما، مناطق تحت حفاظت موجود عموماً در مکان‌هایی انتخاب شده‌اند که نماینده تنوع زیستی منطقه نیستند. در این پژوهش، به‌منظور شناسایی مناطق و انتخاب

-
1. Simulated Annealing
 2. Greedy
 3. Rarity
 4. Hermoso
 5. Henriques
 6. Persistence

مکان مناسب جهت حفاظت گونه‌های پستاندار، در ابتدا کارایی مناطق تحت حفاظت موجود مورد ارزیابی قرار گرفت، سپس با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، مناطق تحت حفاظت جدید با بالاترین کارآمدی حفاظتی از تنوع زیستی معرفی شد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

استان مازندران واقع در شمال کشور ایران با وسعتی حدود ۲۳۷۷۰٫۳ کیلومترمربع، حدود ۱٫۵ درصد از مساحت کل کشور را در بر دارد. این استان در عرض جغرافیایی ۳۵° ۴۶' تا ۳۶° ۵۸' شمالی و طول جغرافیایی ۵۰° ۲۱' تا ۵۴° ۰۸' شرقی قرار داد (شکل ۱).

شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی و مناطق تحت حفاظت مازندران

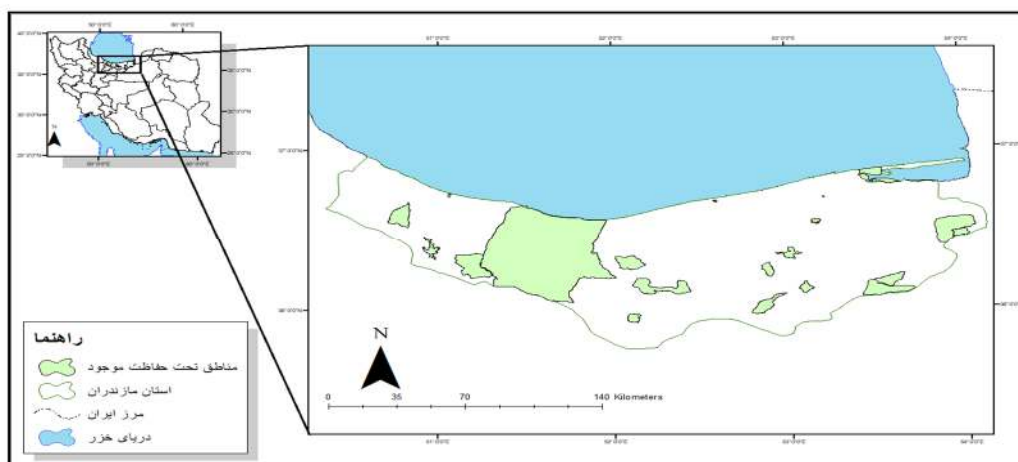


Figure 1. Map of geographical location and protected areas of Mazandaran

استان مازندران از لحاظ تنوع گونه‌های جانوری و گیاهی بسیار حائز اهمیت است. از شرق تا غرب و از ارتفاعات ۲۵۰۰ متری تا جلگه ساحلی، جنگل‌های انبوه خزری، به صورت نواری دامنه شمالی البرز را فرا گرفته است. گونه‌های مهم انوری این استان کل و بز^۱، مرال (گوزن قرمز)^۲، پلنگ^۳، سیاه‌گوش^۴، گربه جنگلی^۵ و خرس قهوه‌ای^۶ است (رباطی و قازانچایی، ۱۳۹۸؛ کرمی و همکاران، ۱۳۹۵). نمودار جریان فرایند انجام تحقیق در شکل ۲ آمده است.

- 1 . Capra Aegagrus
- 2 . Cervus Elaphus
- 3 . Panthera Pardus Tulliana
- 4 . Eurasian Lynx
- 5 . Felis Chau
- 6 . Ursus Arctos

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

شکل ۲. نمودار جریان فرایند اولویت‌بندی مناطق تحت حفاظت

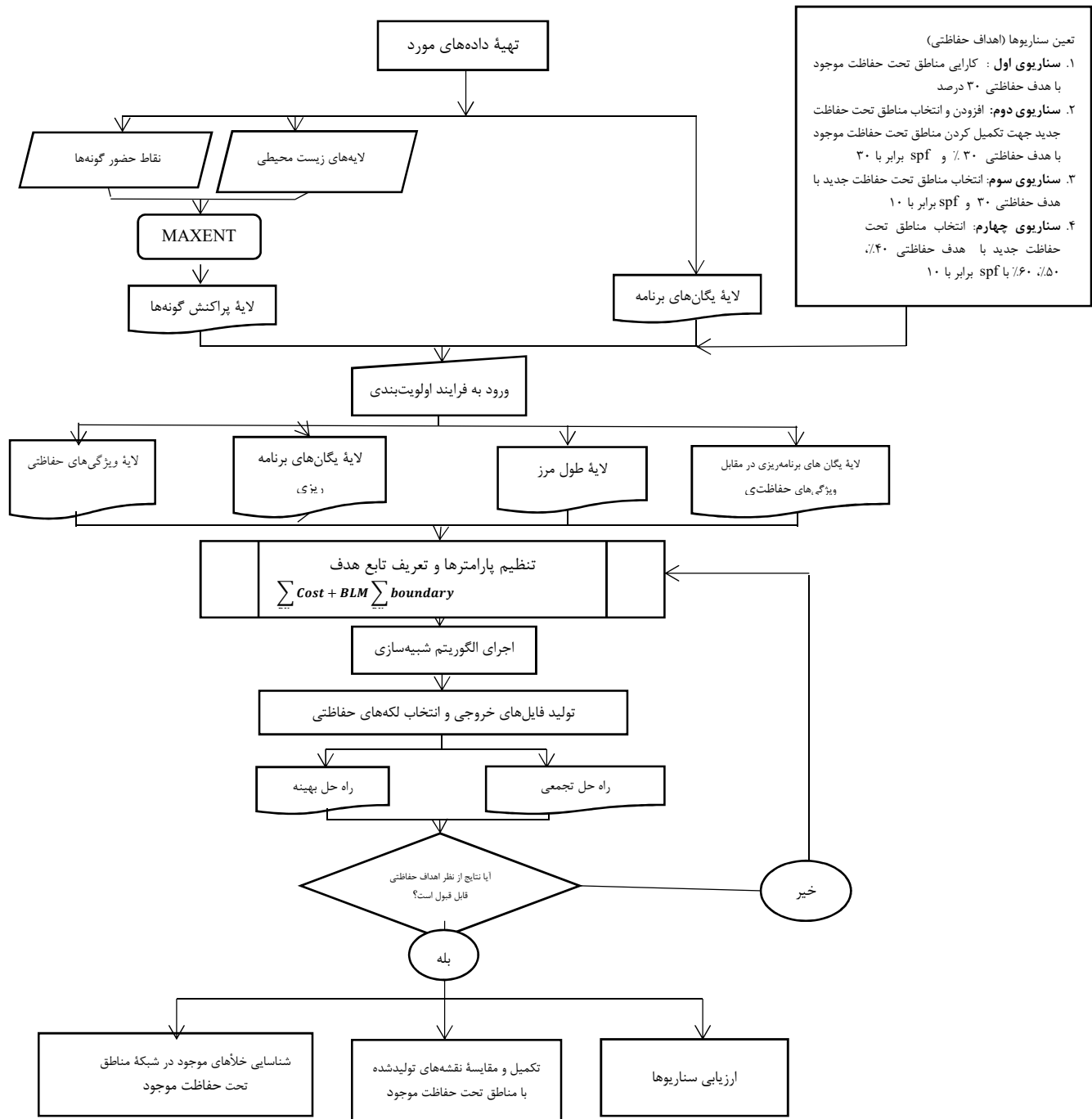


Figure 2. Flow diagram of the process of prioritizing protected areas

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

۲-۲. داده‌ها و نرم‌افزار مورد استفاده در تحقیق

۱. لایه‌های پراکنش گونه‌ها؛
۲. لایه یگان‌های برنامه‌ریزی؛
۳. لایه مناطق تحت حفاظت موجود (پارک ملی، مناطق حفاظت‌شده، اثر طبیعی ملی، پناهگاه حیات وحش)؛
۴. لایه مناطق شهری، روستایی و جاده‌ها؛
۵. نرم‌افزارهای ArcMap9.3، Maxent، TerrSet، Marxan. پیاده‌سازی تحقیق حاضر در نرم‌افزار TerrSet و ماژول Marxan انجام شده است.

۳-۲. مراحل انجام تحقیق

۱-۳-۲. تعیین و تولید معیارهای حفاظتی

طبق نظر کارشناسان محیط زیست و منابع کتابخانه‌ای ازجمله کتاب راهنمای صحرای پستانداران ایران و پرندگان ایران، معیارهای حفاظتی تعیین شدند (کرمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۹؛ کابلی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۰) و در نهایت شش گونه از پستانداران مهم و در معرض خطر انقراض استان مازندران، شامل کل و بز، مرال (گوزن قرمز)، پلنگ، سیاه‌گوش، گربه جنگلی و خرس قهوه‌ای انتخاب شدند. نقاط حضور این گونه‌ها از سازمان‌های محیط زیست استان مازندران و تهران تهیه شدند. بعد از تعیین معیارهای موردنیاز، در مرحله بعد، لایه پراکنش گونه‌ها با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی^۱ تهیه شد. پیاده‌سازی این مدل، نیازمند داده‌های نقاط فقط حضور گونه‌ها و شرایط محیطی است (Sofaer et al., 2019: 547). این روش ازجمله روش‌هایی است که با تعداد نقاط حضور به نسبت اندک (کم‌تر از ده نقطه)، از توان پیش‌بینی بالایی جهت توزیع گونه‌ها برخوردار است (رضائی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۶۵؛ Hernandez et al., 2006: 782). علت استفاده از روش حداکثر آنتروپی در این تحقیق، اندک بودن داده‌های نقاط حضور گونه‌ها و عدم وجود داده‌های عدم حضور است. تهیه لایه معیارها در مدل حداکثر آنتروپی و خروجی آن، به‌صورت نقشه مطلوبیت زیستگاه است. نقشه مطلوبیت زیستگاه هر کدام از معیارهای حفاظتی (شش گونه پستاندار)، برای ورود به فرایند اولویت‌بندی مناطق تحت حفاظت به نقشه بولین تبدیل شدند. درواقع این نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها، نقشه پیوسته بین ۰ و ۱ هستند. تبدیل نقشه (پیوسته) مطلوبیت زیستگاه به نقشه بولین، با استفاده از نظر متخصصان و کارشناسان محیط زیستی در حیطه حیات وحش انجام شده است.

1. Maxent

۲-۳-۲. تعیین اهداف حفاظتی^۱

اهداف حفاظتی تعیین می‌کند که حداقل چه میزان از هر پدیده حفاظتی (در این پژوهش سطح زیستگاه هرگونه) باید حفاظت شود (Pearson et al., 2006). در اغلب مطالعات انجام‌شده اشاره شده است که درصد اهداف حفاظتی جهت اولویت‌بندی مناطق تحت حفاظت اختیاری هستند (Wiersma & Nudds, 2006). به‌طور کلی با توجه به پژوهش‌ها و مطالعات انجام‌شده، مقدار درصد اهداف حفاظتی از ۳۰ تا ۹۰ درصد تخمین زده شده است (Pearce et al., 2005; Svancara et al., 2008). در این تحقیق به دلیل این‌که کم‌ترین مقدار هدف حفاظتی ۳۰ درصد است، در سناریوهای اول (بررسی مناطق تحت حفاظت موجود)، دوم (انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید، با شرط وجود مناطق تحت حفاظت موجود) و سوم (انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید بدون مناطق تحت حفاظت موجود)، هدف حفاظتی برای هرگونه ۳۰ درصد از محدوده پراکنش، در نظر گرفته شده است. همچنین جهت بررسی تأثیر اهداف حفاظتی مختلف در انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید بدون مناطق تحت حفاظت موجود (۴۰ درصد، ۵۰ درصد و ۶۰ درصد)، در سناریوی چهارم اجرا شده است. سپس نتایج با اهداف حفاظتی ۳۰ درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

۲-۳-۲. تهیه واحدهای برنامه‌ریزی^۲

تقسیم منطقه مورد مطالعه به مجموعه‌ای از واحدهای برنامه‌ریزی، یکی از مراحل ضروری در فرایند اولویت‌بندی مناطق محسوب می‌شود (Moilanen et al., 2009; Game et al., 2020). در این تحقیق از حوزه‌های آبخیز به عنوان واحدهای برنامه‌ریزی استفاده شده است. هر واحد برنامه‌ریزی یک واحد حوزه آبخیز است.

۲-۳-۴. تعریف و محاسبه مقدار تابع هدف

این تحقیق سه تابع هدف را دنبال می‌کند که به صورت تابع تک‌هدفه اعمال می‌شوند. هدف اول شبکه‌ای از مناطقی را انتخاب می‌کند که دارای حداقل مساحت باشد. هدف دوم، مناطق تحت حفاظت انتخاب‌شده باید ریزدانه نباشند و به صورت مناطق درشت‌دانه (فشرده) انتخاب شوند. جهت فشرده کردن مناطق منتخب از فاکتور تعدیل‌کننده یا اصلاح‌کننده طول مرز استفاده شده است. بنابراین در هدف دوم، تابع هزینه ضربی را به نام BLM^* در مجموع طول مرز واحدهای برنامه‌ریزی انتخاب‌شده (که به عنوان مناطق تحت حفاظت انتخاب شده‌اند)، ضرب می‌کند. هرچه اندازه طول مرز (محیط) کوچک‌تر، یعنی شبکه مناطق انتخاب‌شده جهت حفاظت درشت‌دانه هستند، و هرچه اندازه طول مرز (محیط) بیشتر، یعنی مناطق تحت حفاظت انتخاب‌شده ریزدانه هستند. درواقع با افزایش طول مرز بین یگان‌ها هزینه بیشتری به تابع هدف اضافه و موجب می‌شود طول مرز کلی یگان‌های انتخاب‌شده حداقل شود (Game et al., 2020). یک روش

-
1. Target
 2. Planning Unit
 3. Boundary Length Modifier

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

مناسب در تعیین میزان BLM روش ارائه‌شده توسط پاسینگهام و استوارت (2005) است، که با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها، مدل با BLM‌های مختلف اجرا می‌شود. سپس نمودار محیط در برابر مساحت برای هر BLM رسم می‌شود. بهترین BLM حالت بین تعادل مساحت و محیط است. علاوه‌براین نمودار بررسی بین تعادل محیط و مساحت باید توسط بررسی چشمی نیز بررسی شود (Game et al., 2020).

در هدف سوم، مناطق تحت حفاظت انتخاب‌شده باید در رسیدن به اهداف حفاظتی تعیین‌شده، توانمند باشند. یعنی اگر جهت حفاظت ۳۰ درصد از معیارها (گونه‌ها)^۱، فقط ۲۰ درصد را حفاظت کند، تابع هدف مقداری را به‌عنوان جریمه عدم دستیابی اهداف حفاظتی، به هزینه تابع اضافه می‌کند. درواقع به افزایش مقدار تابع هدف منجر می‌شود. تابع هدف در رابطه^۱ نشان داده شده است.

$$\text{Total cost} = \sum_{\text{Planing Units}} \text{PU Costs} + \left(\text{BLM} \times \sum_{\text{Planing Units}} \text{boundary lengths} \right) + \left(\sum_{\text{Species}} \text{SPF} * \text{penalty} \right) \quad \text{رابطه ۱}$$

$\sum \text{Planing Units PU Cost}$: مجموع مساحت برای هر واحد برنامه‌ریزی منتخب است (منظور مساحت کل مناطق تحت حفاظت انتخاب‌شده).

$\text{BLM} \times \sum \text{Planing Units boundary lengths}$: فاکتور تعدیل یا اصلاح‌کننده طول مرز است. BLM ضریبی است که مقدار آن از صفر تا بی‌نهایت (هر عدد مثبتی) تغییر می‌یابد. boundary lengths برابر با مجموع طول مرز هر واحد برنامه‌ریزی انتخاب شده است. BLM، ریزدائگی و تکه‌تکه‌شدگی شبکه حفاظتی پیشنهادی را نشان می‌دهد. مناطق درشت‌دانه و با تکه‌تکه‌شدگی کم‌تر از لحاظ بوم‌شناختی و اجتماعی - سیاسی بیشتر قابل قبول هستند. این مناطق جابه‌جایی موجودات و انتقال مواد همچنین مدیریت را تسهیل می‌کنند (Leslie et al., 2003). افزایش آن باعث کاهش کل مرز شبکه حفاظتی و افزایش تراکم مناطق منتخب، می‌شود. یک روش مناسب جهت تعیین مقدار BLM روش ارائه‌شده توسط استوارت و پاسینگهام (Possingham & Stewart, 2005) است. BLM مقداری است که بهترین تعادل را بین محیط و مساحت شبکه حفاظتی منتخب ارائه دهد.

$\sum \text{Species SPF}$ (جریمه عدم دستیابی به اهداف حفاظتی)^۲: ارزشی است که به یک گونه خاص و یا گروهی از گونه‌ها اختصاص می‌یابد و نشان‌دهنده میزان اهمیت حضور گونه در مناطق حفاظت‌شده نهایی است. قانون خاصی جهت تعیین کردن این ارزش وجود ندارد، اما پیشنهاد شده است که در ابتدا برای تمام گونه‌ها SPF یکسان در نظر گرفته شود. لذا در این پژوهش مقدار SPF برای تمامی

۱. اهداف حفاظتی ۳۰ درصد: یعنی اگر لایه پراکنش حضور گونه پلنگ ۳۰۰ پیکسل باشد، باید ۳۰ درصد از این ۳۰۰ پیکسل (معادل با ۱۰۰) حفاظت شود.

2. Species Penalty Factor

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

گونه‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. این هدف به گونه‌ای عمل می‌کند که اگر هدف حفاظتی برای گونه‌ای خاص برآورده نشد، مقدار SPF برای آن گونه افزایش می‌یابد تا زمانی که هدف حفاظتی تمامی گونه‌ها برآورده شود.

۵-۳-۲. پیاده‌سازی الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید یکی از روش‌های سیستماتیک اولویت‌بندی مناطق تحت حفاظت است. این الگوریتم به‌طور مؤثر به جست‌وجوی فضای تصمیم‌گیری و راه‌حل‌ها می‌پردازد. اجرای الگوریتم با دمای اولیه با مقدار بالا شروع می‌شود و در طول اجرای الگوریتم کاهش می‌یابد. کاهش دما فقط زمانی صورت می‌گیرد که الگوریتم وارد تکرار بعدی شود، اما در تکرارهای مختلف تولید وضعیت جدید در یک تکرار الگوریتم، دما ثابت می‌ماند. اجرای الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که هیچ یک از وضعیت‌های جدید قادر به کاهش تابع هزینه در هر تکرار نباشد (Sundermann, 1995). این روش با ایجاد و ارزیابی پاسخ‌های متوالی به‌صورت گام‌به‌گام به سمت راه‌حل بهینه حرکت می‌کند. یعنی الگوریتم با مینیمم کردن تابع هزینه، واحدهای برنامه‌ریزی را به‌صورت شبکه‌ای از مناطق تحت حفاظت، انتخاب می‌کند. در آخر شبکه‌ای از مناطق انتخاب می‌شود که دارای حداقل تابع هزینه باشد. در فرایند الگوریتم ما به دنبال کمینه کردن تابع هزینه هستیم؛ یعنی درواقع جست‌وجو همواره به دنبال کم‌تر شدن مقدار تابع هزینه صورت می‌گیرد. اما این امکان وجود دارد که گاه حرکت به سمت افزایش تابع هزینه صورت گیرد که در این حال از معیاری به نام معیار متروپلیس استفاده می‌شود تا نقطه بعدی پذیرفته شود. این معیار، مانع به دام افتادن در شرایط بهینه محلی می‌شود. بنابراین برای اجتناب از نقاط بهینه محلی، جواب‌های بد هم پذیرفته می‌شود. احتمال پذیرفتن جواب‌های بد (تابع هدف با مقدار هزینه بیشتر)، توسط معیار متروپلیس بیان می‌شود (Sundermann, 1995). در رابطه ۲، معیار متروپلیس نشان داده شده است:

$$p = \begin{cases} 1, & \Delta f \leq 0 \\ e^{-\frac{\Delta f}{T}}, & \Delta f > 0 \end{cases} \longrightarrow \Delta f = (f_j - f_i) \quad \text{رابطه ۲:}$$

F_i بیانگر هزینه اولیه، F_j هزینه در وضعیت جدید و T^1 پارامتر کنترل یا درجه حرارت است (Sundermann, 1995). در صورتی F_j بهتر از F_i (یعنی $F_j < F_i$) پذیرفته می‌شود و اگر F_j بدتر از F_i (یعنی $F_j > F_i$) با یک احتمال (p) پذیرفته می‌شود. اجرای الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، با در نظر داشتن تابع هدف، و با پیدا کردن راه‌حل بهینه در میان راه‌حل‌های ممکن اجرا می‌شود، به‌طوری‌که در هر تکرار، یک واحد برنامه‌ریزی (زیر حوزه‌های آبخیز) به سایر شبکه مناطق تحت حفاظت جدید اضافه و یا حذف می‌شود. در این روش منطقه

۱. دمای اولیه است که معمولاً در اکثر مطالعات و تحقیق‌های انجام‌شده مقدار آن برابر با ۱۰۰۰ است. این مقدار به تدریج در روند اجرای الگوریتم به سمت مقدار صفر کاهش می‌یابد.

مورد مطالعاتی را به زیرحوزه‌های آبخیز کوچک تقسیم کرده‌ایم که الگوریتم بتواند در روند اجرای مدل واحدها را به‌عنوان مناطق تحت حفاظت انتخاب و یا حذف کند.

۲.۳.۶. کالیبره کردن مدل و اجرای سناریوها

جهت تعیین مقدار پارامترهای تکرار اجرای مدل^۱، تکرار الگوریتم^۲ و SPF نیاز به انجام کالیبراسیون است. جهت تعیین هرکدام از این پارامترها از مقدار کم شروع کردیم و به تدریج مقدار را افزایش دادیم تا زمانی که اهداف حفاظتی برای هرگونه برآورد شود. در این پژوهش، چهار سناریو موردبررسی قرار گرفت. در سناریوی دوم، SPF با مقدار ۳۰، تعداد تکرار الگوریتم ۱۰۰۰۰۰۰ و تعداد تکرار اجرای مدل ۱۰۰ تعیین شدند. همچنین برای سناریوی سوم SPF با مقدار ۱۰، تعداد تکرار الگوریتم ۱۰۰۰۰۰۰ و تعداد تکرار مدل ۱۰۰ تعیین شدند. مقدار ۱۰۰ برای تکرار اجرای مدل در مطالعات انجام‌شده مورد استفاده قرار گرفته است (Moilanen et al., 2009؛ مهری و همکاران، ۱۳۹۱).

۱. سناریوی اول: ارزیابی کارایی مناطق تحت حفاظت موجود

جهت بررسی میزان کارایی مناطق تحت حفاظت موجود، نیاز به نقشه واحدهای برنامه‌ریزی^۳، نقشه وضعیت واحدهای برنامه‌ریزی^۴ و لایه معیارهای حفاظتی است. نقشه وضعیت واحدهای برنامه‌ریزی، به دو بخش مناطق تحت حفاظت موجود و مناطق محدودیت (شهری، روستایی و جاده‌ای) تقسیم شد.

۲. سناریوی دوم: انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید، با شرط وجود مناطق تحت حفاظت موجود

در سناریوی دوم، نقشه وضعیت واحدهای برنامه‌ریزی، به سه بخش مناطق تحت حفاظت، مناطق محدودیت (شهری، روستایی و جاده‌ای) و سایر مناطقی که به‌عنوان مناطق مناسب جهت اولویت‌بندی در الگوریتم انتخاب می‌شوند، تقسیم شد. در این سناریو، تعداد تکرار اجرای مدل ۱۰۰ و با مقادیر BLM (۰، ۰.۱، ۱، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۷۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰) اجرا شد.

۳. سناریوی سوم: انتخاب مناطق تحت حفاظت جدید بدون مناطق تحت حفاظت موجود

در این سناریو اولویت‌بندی مناطق تحت حفاظت جدید بدون مناطق تحت حفاظت موجود در استان مازندران در نظر گرفته شد و مانند سناریوهای قبلی از نقشه واحدهای طرح‌ریزی، نقشه وضعیت واحدهای طرح‌ریزی و لایه معیارهای حفاظتی (نقشه بولین پراکنش گونه‌ها)، استفاده شد. اهداف حفاظتی در این سناریو ۳۰ درصد، با همان مقادیر BLM سناریوی دوم، اجرا شده است.

1. Repeat runs

2. iterations

۳. این لایه منطقه مورد مطالعاتی است که به واحدهای حوزه‌های آبخیز تقسیم شده است. هر واحد حوزه آبخیز به‌عنوان یک واحد برنامه‌ریزی دارای کد یا شماره مختص به خود را دارد.

۴. این لایه شامل نقشه محدودیت‌هاست. بدین صورت که ارزش سه برای مناطق شهری و روستاها، ارزش دو برای مناطق تحت حفاظت موجود و ارزش صفر برای مناطقی که الگوریتم به‌عنوان مناطق تحت حفاظت جدید انتخاب می‌کند.

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

۴. سناریوی چهارم: بررسی تأثیر اهداف حفاظتی بالای ۳۰ درصد بر نتایج در این سناریو تمام شرایط و پارامترها همانند سناریوی سوم تنظیم شده است، با این تفاوت که تأثیر اهداف حفاظتی مختلف (۴۰ درصد، ۵۰ درصد و ۶۰ درصد) بر نتایج موردبررسی قرار گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. نتایج روش maxent (تهیه معیارهای حفاظتی)

لایه معیارهای حفاظتی حاصل از روش حداکثر آنتروپی شامل مطلوبیت زیستگاه و پراکنش زیستگاه در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳. نقشه پراکنش گونه‌ها

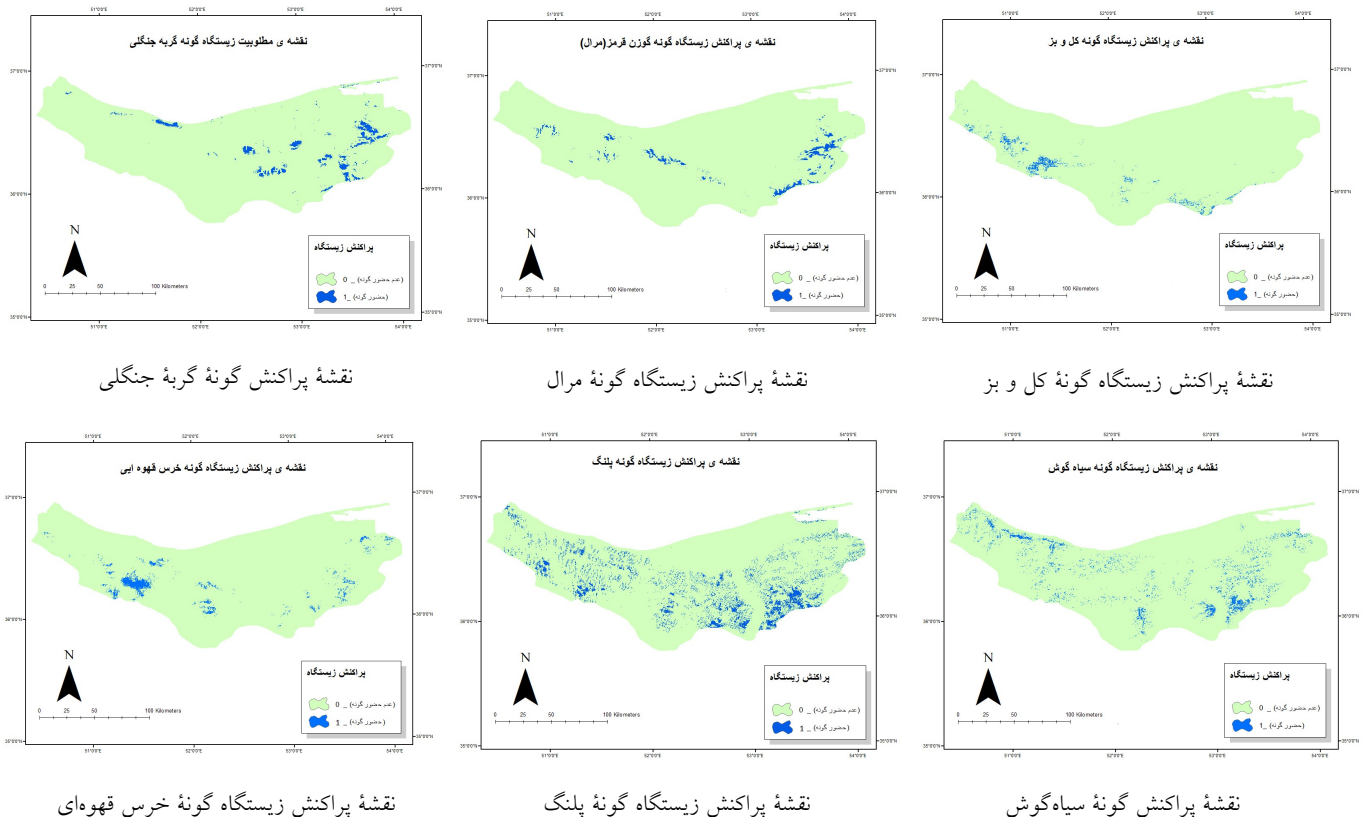


Figure 3. Species distribution map

فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا

۱-۱-۳. صحت‌سنجی نتایج مدل مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها (معیارهای حفاظتی)

منحنی ROC، که به‌طور گسترده در مدل‌سازی توزیع گونه‌ها برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی استفاده می‌شود (Elith et al., 2011). سطح زیر منحنی ROC، که AUC^1 نام دارد، شاخصی برای ارزیابی عملکرد مدل است. AUC بیانگر توانایی مدل در تخمین درست وقایع رخ داده (نقاط حضور) و عدم وقوع رخداد (نقاط عدم حضور) است (Phillips et al., 2006). مطابق با نظر سویتس (Swets, 1988) (شکل ۴)، هرچه AUC به مقدار یک نزدیک‌تر باشد، مدل از عملکرد بهتری (عالی) برخوردار است. منحنی ROC از طریق رسم حساسیت^۲ در برابر یک منهای ویژگی^۳ به‌دست می‌آید. به ازای هر تکرار یک مقدار آستانه sensitivity در برابر 1-specificity به‌دست می‌آید. در این روش با ده بار اجرای مدل، ۳۰ درصد داده‌ها به‌عنوان تست و ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش به‌کار گرفته شد. میانگین AUC داده‌های تست در شکل ۵ به ترتیب برای گونه‌های کل و بز، مرال، سیاه‌گوش، گربه جنگلی، پلنگ و خرس قهوه‌ای برابر با ۰٫۹۷، ۰٫۹۴، ۰٫۹۲، ۰٫۹۲، ۰٫۸۴ و ۰٫۹۶ محاسبه‌شده، مطابق با نظر سویتس (Swets, 1988)، نشان از عملکرد قابل قبول مدل است.

شکل ۴. جدول مقادیر AUC (Swets, 1988)

کیفیت پیش‌بینی	دامنه / Range
ضعیف	۰/۷ - ۰/۵
قابل قبول	۰/۹ - ۰/۷
عالی	۱ - ۰/۹

Figur 4: Table of AUC (Swets, 1988)

-
1. Area Under the Curve
 2. Sensitivity
 3. Speceficity

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

شکل ۵. صحت‌سنجی نتایج مدل مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها براساس مقدار AUC

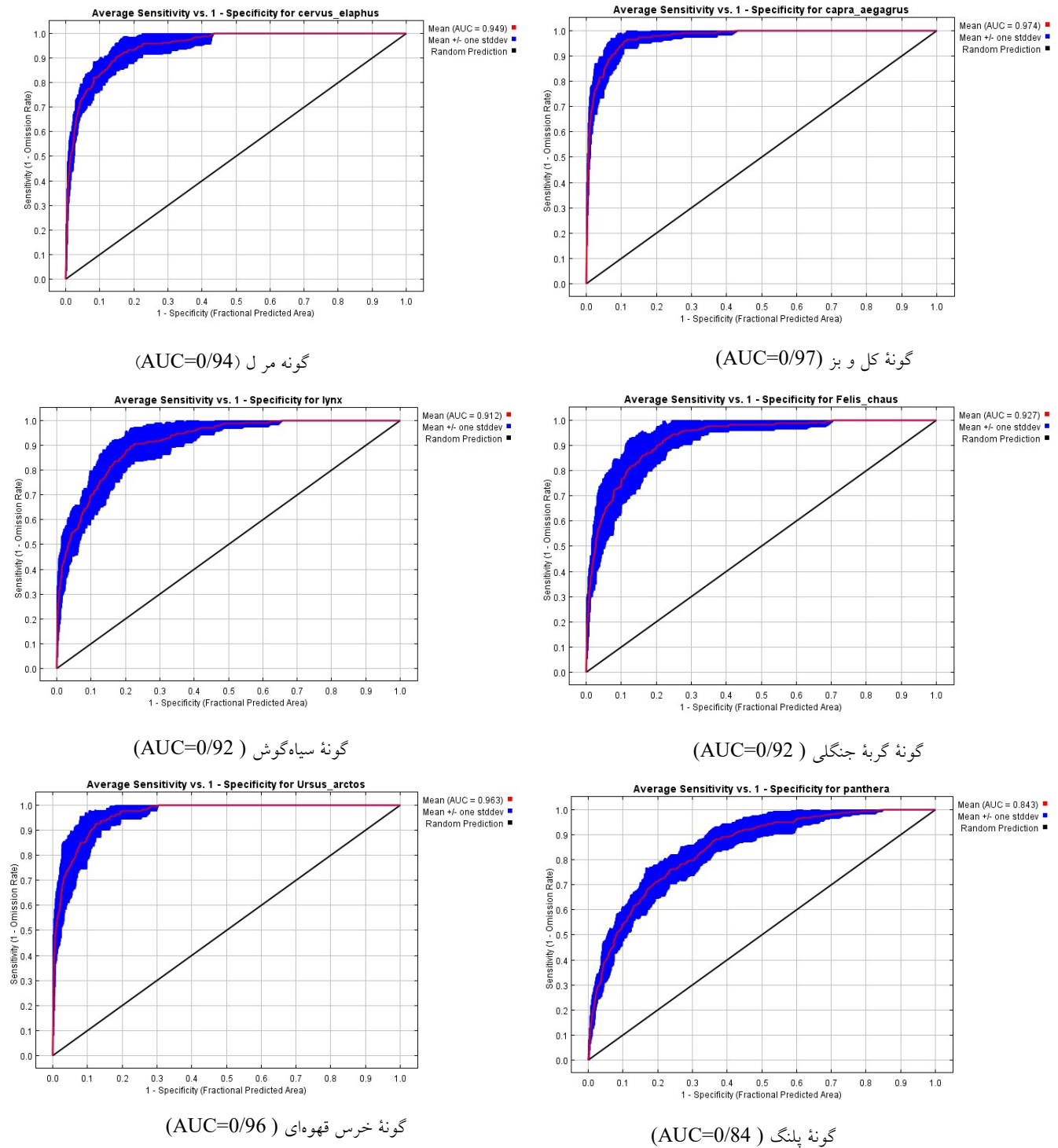


Figure 5. Validation of the results of the species habitat suitability model based on the AUC value

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

۲-۳. نتایج حاصل از روش الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

سناریوی اول: نتایج حاصل از سناریو اول در شکل ۶ نشان داد که از بین شش گونه مورد مطالعه، مناطق تحت حفاظت موجود در حفاظت ۳۰ درصد از سه گونه پلنگ، گربه جنگلی و سیاه‌گوش، ناتوان هستند و تنها در رسیدن به هدف حفاظتی سه معیار دیگر موفق بوده است.

شکل ۶. جدول نتیجه اجرای سناریوی اول (کارایی مناطق تحت حفاظت موجود)

تعداد پیکسل‌هایی که در مناطق تحت حفاظت موجود مورد حفاظت هستند	۳۰ درصد از کل پیکسل‌های وجود هر گونه	تعداد کل پیکسل‌های وجود هر گونه	نام گونه	شماره گونه
۶۴۳۳۷	۲۲۷۹۱۲	۷۵۹۷۰۸	گربه جنگلی	۳
۱۵۷۰۱۸	۲۸۶۸۳۵	۹۵۶۱۱۷	سیاه‌گوش	۴
۵۵۷۰۱۸	۶۳۳۳۸۶	۲۱۱۱۲۸۹	پلنگ	۵

Figure 6. Table of the result of the implementation of scenario 1 (effectiveness of existing protected areas)

نتایج به‌دست‌آمده در این سناریو نشان داد که مناطق تحت حفاظت موجود (منطقه حفاظت‌شده شش رودبار، منطقه حفاظت‌شده اساس، منطقه حفاظت‌شده هزارگریب، پناهگاه حیات وحش دودانگه، پارک ملی پابند و پارک ملی کیاسر)، جهت حفاظت شش گونه پستاندار از نظر دستیابی به اهداف حفاظتی کارایی خوبی ندارند (شکل ۷).

شکل ۷. نقشه موقعیت جغرافیایی مناطق تحت حفاظت موجود و نقاط حضور گونه‌ها

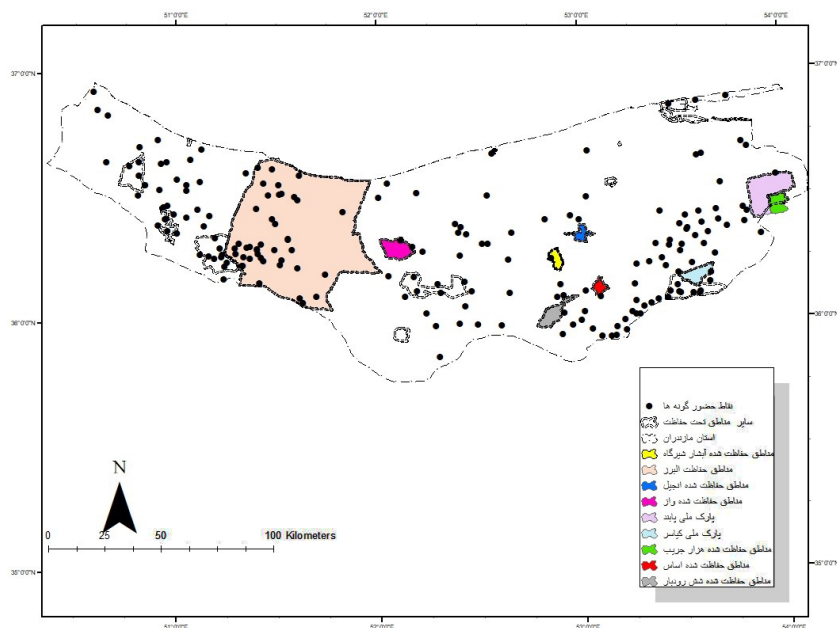


Figure 7. The map of the geographical location of the existing protected areas and the presence of species

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

سناریوی دوم: همان‌طور که در بحث کالیبراسیون مشخص شد، مقدار SPF در این سناریو برابر با ۳۰، و پس از هر بار اجرای مدل، تحت BLM‌های مختلف یک راه‌حل نهایی تولید می‌شود. با توجه به نمودار شکل ۸، نمودار طول مرز و مساحت در BLM‌های ۳۰، ۴۰ و ۷۰، وضعیت بهتری دارند، زیرا محیط و مساحت در این BLM‌ها نسبت به BLM‌های دیگر دارای تعادل است. در مقادیر پایین BLM (۰، ۰،۰۱، ۰،۱، ۱، ۱۰، ۲۰)، مناطق منتخب ریزدانه هستند. در مقادیر بالای BLM (۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰) مناطق منتخب درشت‌دانه هستند. در نتیجه مقدار هزینه انتخاب شبکه تحت حفاظت جدید افزایش می‌یابد. در نهایت با بررسی‌های انجام‌شده در شکل ۱۰، نتایج نشان می‌دهد که، مناطق تحت حفاظت منتخب در BLM معادل با ۷۰، مناسب‌ترین مناطق تحت حفاظت جدید هستند. چون این مقدار BLM نشان‌دهنده تعادل بین مساحت و محیط (طول مرز) شبکه منتخب مناطق تحت حفاظت است. نمودار رابطه بین طول مرز و مساحت در BLM‌های مختلف در شکل ۸ نشان داده شده است.

شکل ۸. نمودار رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب، در BLM‌های مختلف در اجرای سناریوی دوم با مقدار $SPF=30$

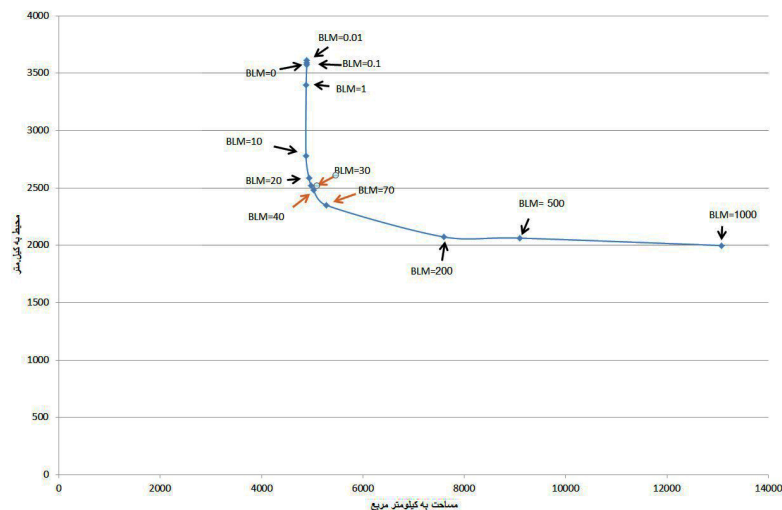


Figure 8. The graph of the relationship between the length of the border and the area of the selected protection network, in different BLMs in the implementation of scenario two with $SPF=30$

نقشه راه‌حل تجمعی و راه‌حل بهینه در شکل ۹ نشان داده شده است. نقشه راه‌حل تجمعی، نقشه‌ای است که نشان می‌دهد هر واحد برنامه‌ریزی در ۱۰۰ تکرار اجرای مدل چند بار انتخاب شده است. نقشه راه‌حل بهینه، نقشه‌ای است که مناطقی را بیشترین تکرار در اجرای مدل داشته است به عنوان مناسب‌ترین مناطق انتخاب می‌کند.

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

شکل ۹. نقشه مناطق تحت حفاظت جدید با $BLM=70$ در سناریوی ۲ (الف - نقشه راه‌حل تجمعی و ب - نقشه راه‌حل بهینه)

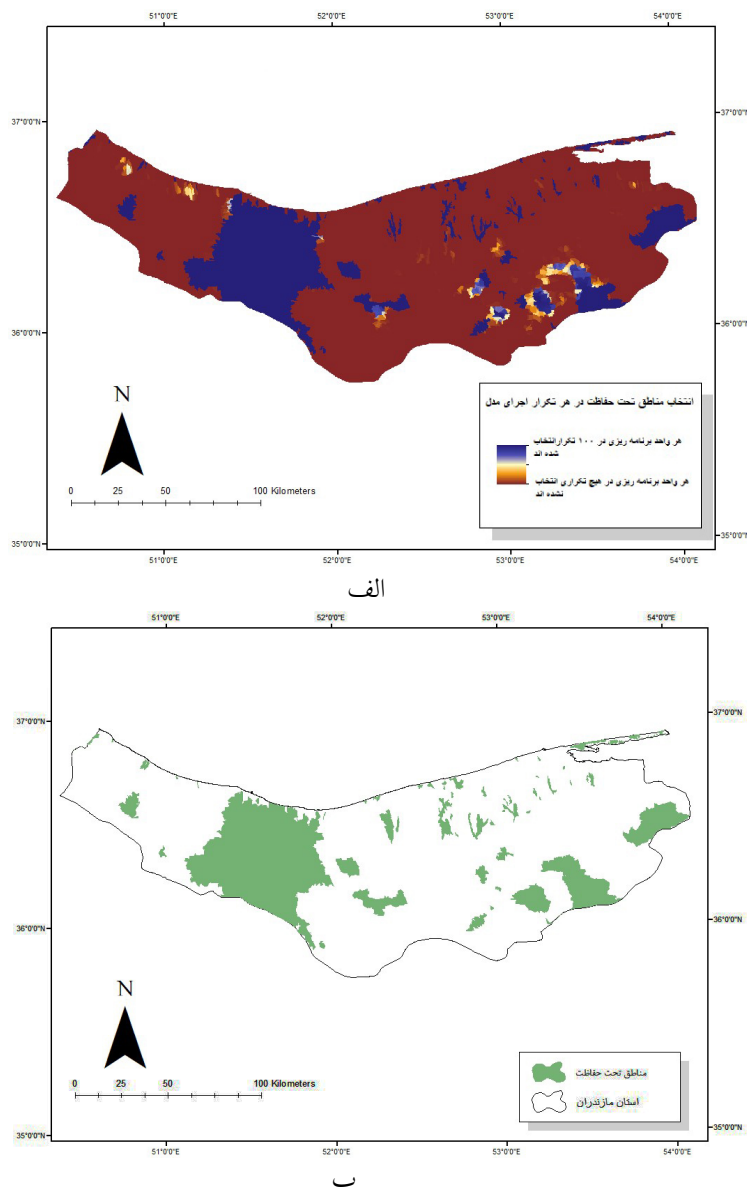


Figure 9. Map of the new protected areas with $BLM=70$ in scenario 2 (a- cumulative solution map and b- optimal solution map)

سناریوی سوم: برای انتخاب بهترین مناطق، از میان BLM های مختلف، نمودار رابطه بین طول مرز (محیط) و مساحت ترسیم شد که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به نمودار رابطه محیط به مساحت، در BLM های ۳۰، ۴۰ و ۷۰، نسبت به

فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا

سایر نتایج BLM ها نتیجه بهتری حاصل شده است. در BLM های بالاتر از ۷۰، مناطق منتخب درشت دانه هستند و در BLM های کم تر از ۳۰ مناطق انتخاب شده، ریزدانه هستند. نتایج در BLM با مقدار ۴۰ به عنوان بهترین گزینه انتخاب شده است. نتایج سناریوی سوم در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

شکل ۱۰. نمودار رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب، در BLM های مختلف در اجرای سناریوی سوم با مقدار $SPF=10$

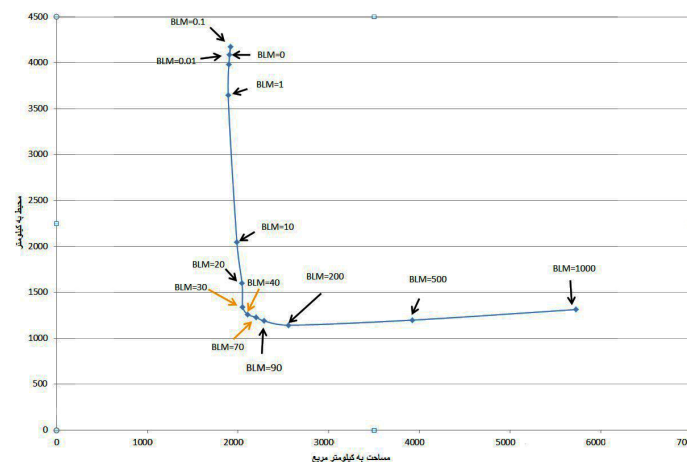
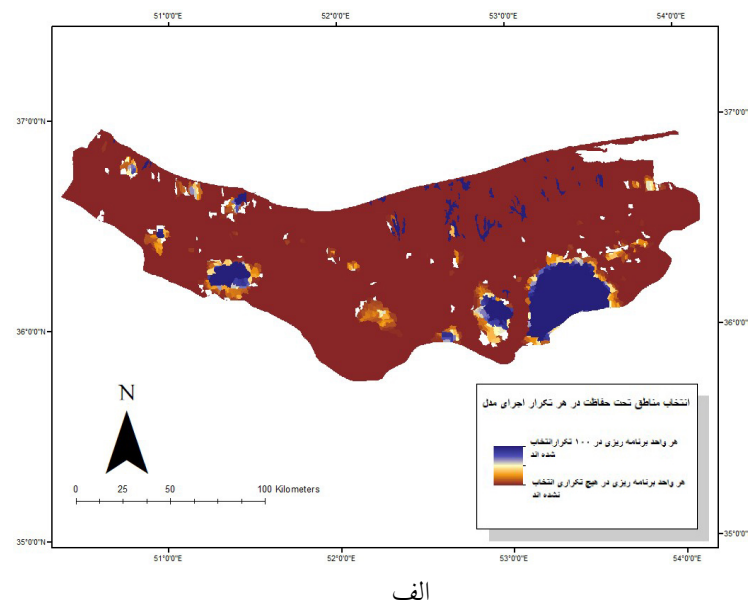


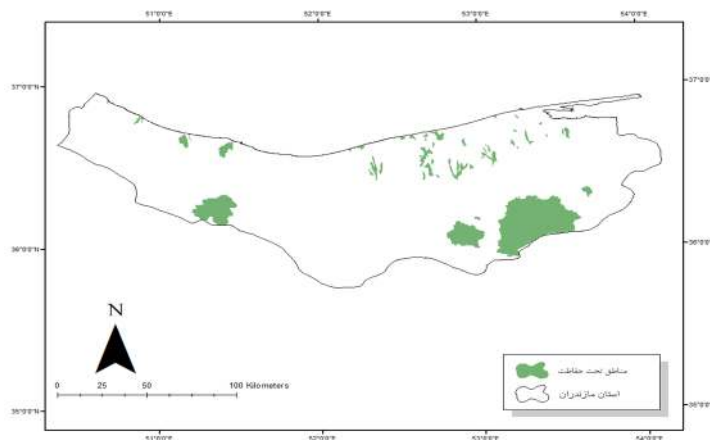
Figure 10. The graph of the relationship between the length of the border and the area of the selected protection network, in different BLMs in the implementation of scenario 3 with $SPF=10$

شکل ۱۱. نقشه مناطق تحت حفاظت جدید BLM=۴۰ با در سناریوی سوم (الف - نقشه راه حل تجمعی و ب - نقشه راه حل بهینه)



الف

فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا



ب

Figure 11. The map of the new protected areas of BLM=40 in scenario 3 (a- Cumulative solution map and b- Optimum solution map)

سناریوی چهارم: جهت انتخاب مناطق مناسب برای اهداف حفاظتی ۴۰، ۵۰ و ۶۰، در BLMهای مختلف، نمودار رابطه بین طول مرز و مساحت ترسیم شد. برای اهداف حفاظتی ۴۰ درصد، ۵۰ درصد و ۶۰ درصد، BLMهای ۳۰، ۴۰ و ۷۰ نسبت به سایر BLMها نتایج بهتری را نشان داد. با بررسی‌های انجام‌شده طبق نمودار رابطه مساحت و محیط در هر کدام از اهداف (شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴)، BLM معادل با ۴۰ نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

شکل ۱۲. نمودار رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب، در BLMهای مختلف در اجرای سناریوی چهارم با مقدار هدف حفاظتی ۴۰ درصد

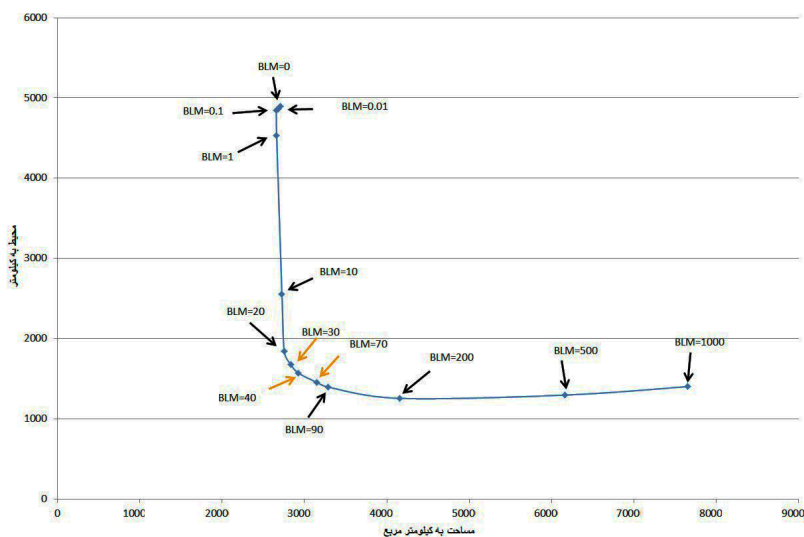


Figure 12. The diagram of the relationship between the length of the border and the area of the selected protection network, in different BLMs in the implementation of the fourth scenario with the protection target value of 40%

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

شکل ۱۳. نمودار رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب، در BLM های مختلف در اجرای سناریوی چهارم با مقدار هدف حفاظتی ۵۰ درصد

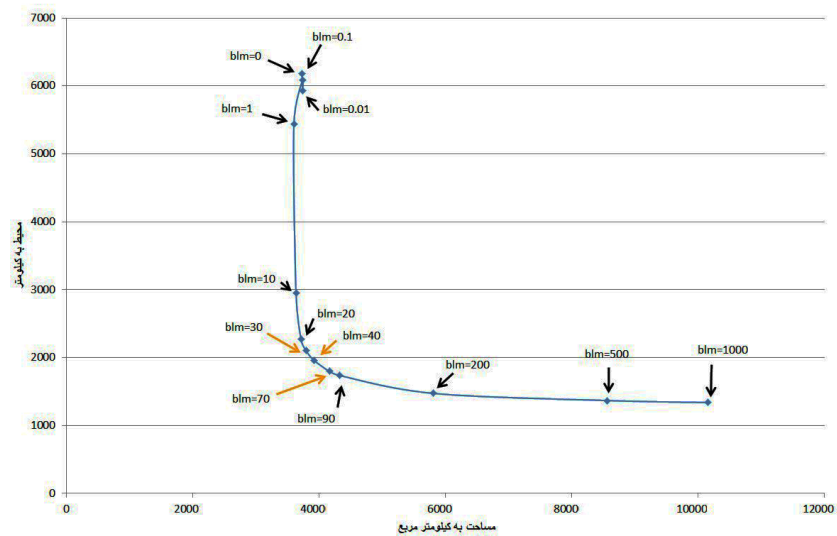


Figure 13. The graph of the relationship between the length of the border and the area of the selected protection network, in different BLMs in the implementation of the fourth scenario with the protection target value of 50%

شکل ۱۴. نمودار رابطه بین طول مرز و مساحت شبکه حفاظتی منتخب، در BLM های مختلف در اجرای سناریوی چهارم با مقدار هدف حفاظتی ۶۰ درصد

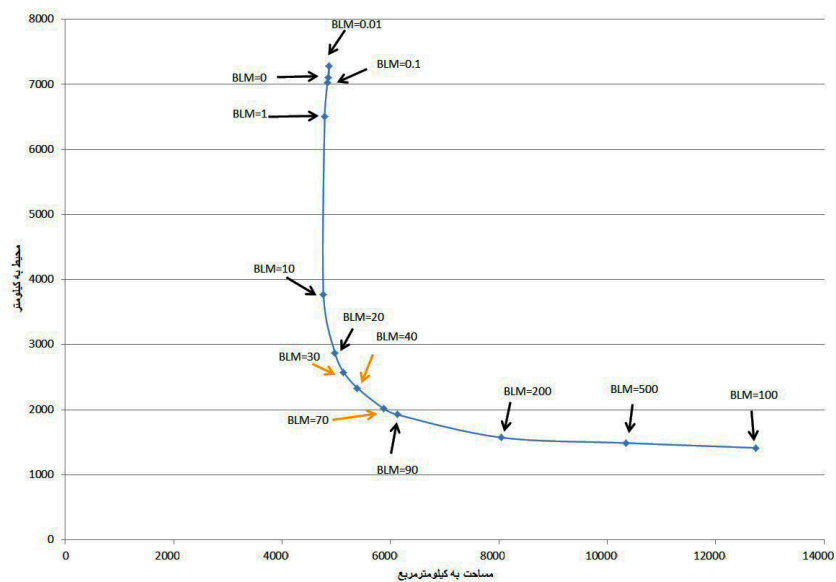


Figure 14. The diagram of the relationship between the length of the border and the area of the selected protection network, in different BLMs in the implementation of the fourth scenario with the protection target value of 60%

فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا

شکل ۱۵. نقشه مناطق تحت حفاظت جدید در سناریوی چهارم با $BLM=40$ با هدف حفاظتی ۴۰ درصد (الف - نقشه راه‌حل تجمعی و ب - نقشه راه‌حل بهینه)

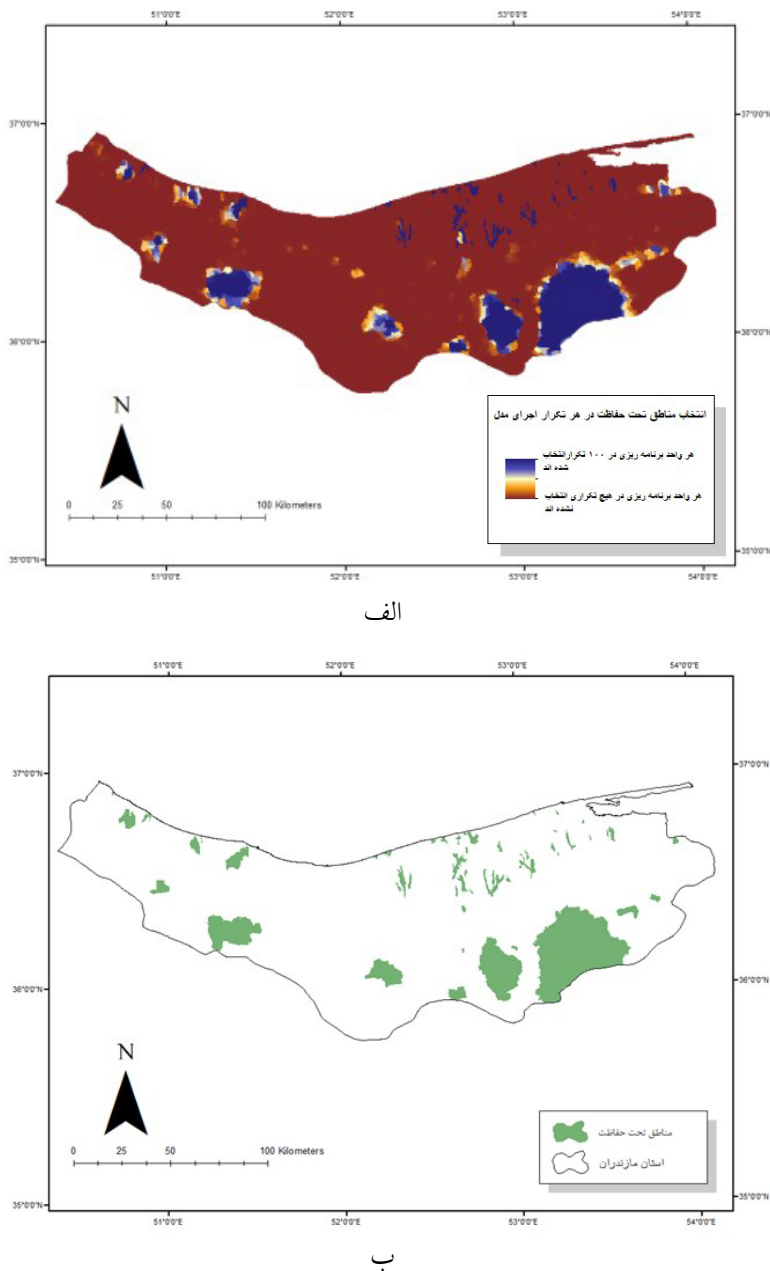
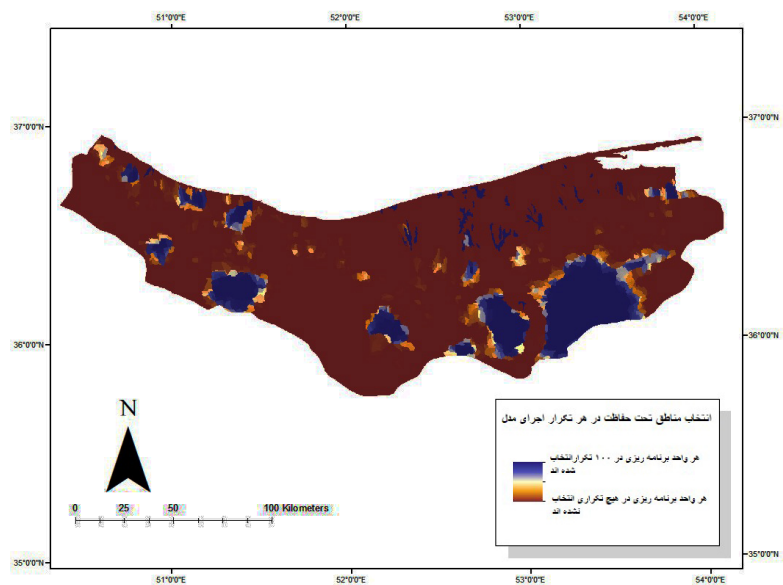


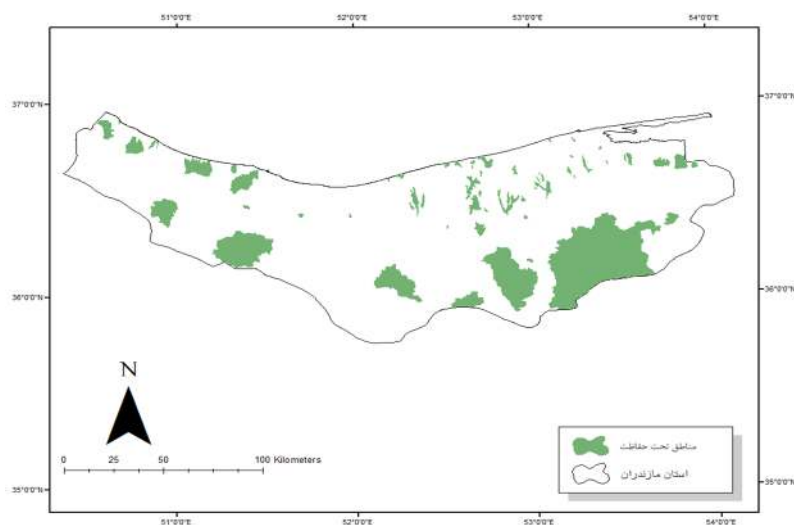
Figure 15. The map of the new protected areas in the fourth scenario with $BLM=40$ with a 40% protection goal (a- cumulative solution map and b- optimal solution map)

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

شکل ۱۶. نقشه مناطق تحت حفاظت جدید در سناریوی چهارم با $BLM=40$ با هدف حفاظتی ۵۰ درصد (الف - نقشه راه حل تجمعی و ب - نقشه راه حل بهینه)



الف



ب

Figure 16. The map of the new protected areas in the fourth scenario with $BLM=40$ with a 50% protection goal (a- cumulative solution map and b- optimal solution map)

فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا

شکل ۱۷. نقشه مناطق تحت حفاظت جدید در سناریوی چهارم با $BLM=40$ با هدف حفاظتی ۶۰ درصد (الف - نقشه راه‌حل تجمعی و ب - نقشه راه‌حل بهینه)

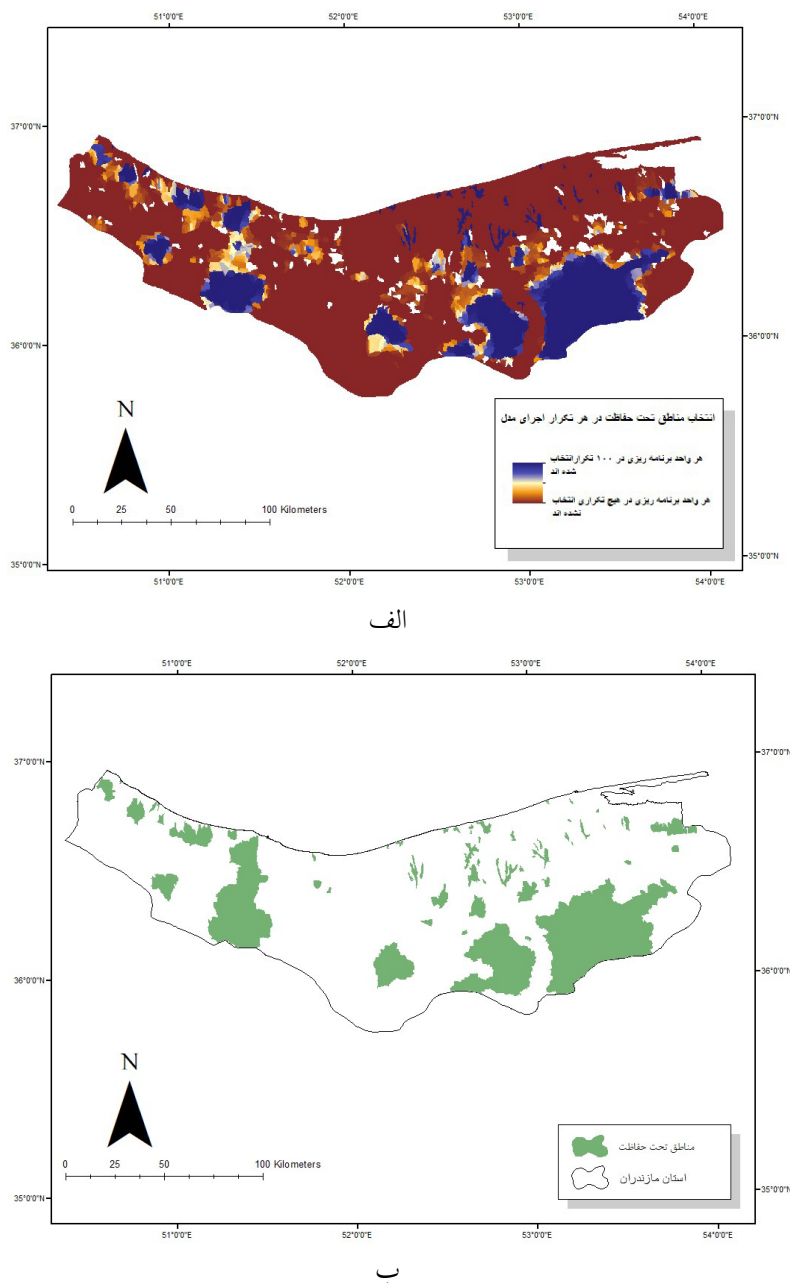


Figure 17. The map of the new protected areas in the fourth scenario with $BLM=40$ with a 60% protection goal (a- cumulative solution map and b- optimal solution map)

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

۳-۳. تأثیر پارامتر BLM و اهداف حفاظتی مختلف، در درشت‌دانه کردن (فشرده) مناطق منتخب حفاظتی

با توجه به نمودارهای شکل ۱۸ و ۱۹، با افزایش پارامتر BLM در هر هدف حفاظتی، مساحت بیشتر و محیط کم‌تر شدند. همچنین با افزایش هردو پارامتر (BLM و Target)، محیط و مساحت مناطق تحت حفاظت جدید افزایش می‌یابد.

شکل ۱۸. نمودار مقادیر متفاوت مساحت لکه‌های حفاظتی انتخاب‌شده در اهداف حفاظتی مختلف

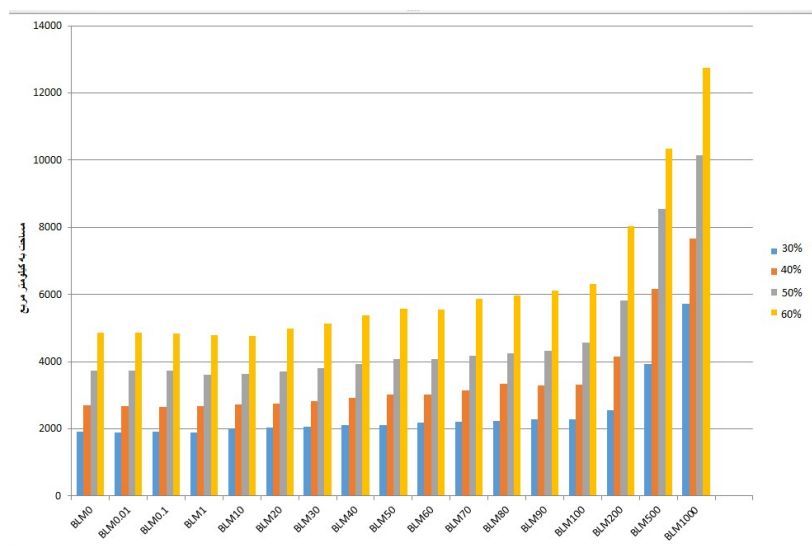


Figure 18. Diagram of different values of the area of selected protection zones in different protection objectives

شکل ۱۹. نمودار مقادیر متفاوت محیط لکه‌های حفاظتی انتخاب‌شده در اهداف حفاظتی مختلف

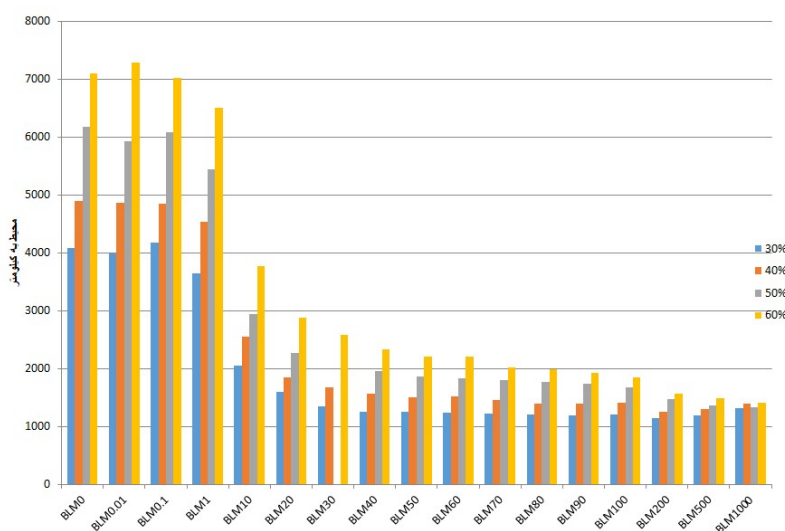


Figure 19. Diagram of different environmental values of selected protection zones in different protection objectives

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

پس از بررسی نتایج و مقایسه سناریوی سوم با مناطق تحت حفاظت موجود، از لحاظ دستیابی به اهداف حفاظتی، نقشه مناطق تحت حفاظت موجود با نقشه مناطق تحت حفاظت جدید در سناریوی سوم مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۲۰)، زیرا در سناریوی سوم مناطق تحت حفاظت جدید برخلاف سناریوی اول و دوم از نو انتخاب شده‌اند و نیاز است مناطق تحت حفاظت موجود با مناطق تحت حفاظت جدید (هر دو با هدف حفاظتی ۳۰ درصد)، مورد مقایسه قرار گیرد.

شکل ۲۰. مقایسه مناطق تحت حفاظت جدید در سناریوی سوم و $BLM=40$ با مناطق تحت حفاظت موجود در استان مازندران

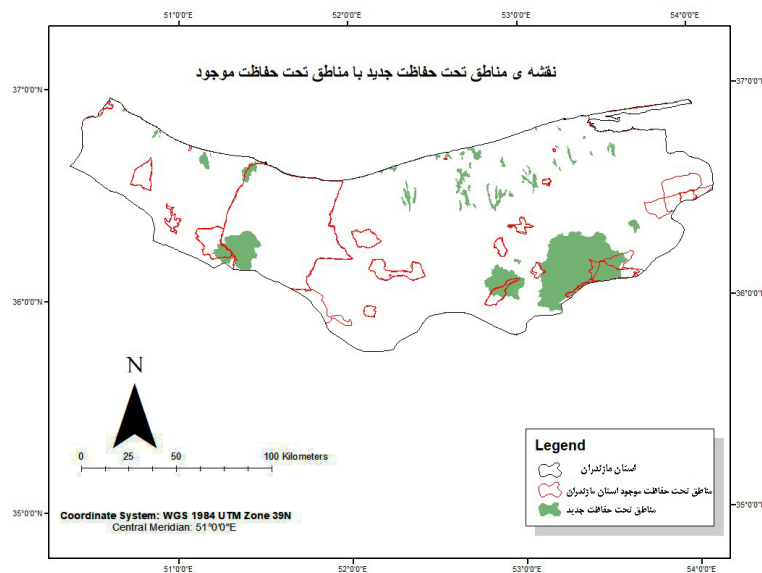


Figure 20. Comparison of new protected areas in the third scenario and $BLM=40$ with existing protected areas in Mazandaran province

در این پژوهش از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید جهت بررسی کارایی مناطق تحت حفاظت موجود و انتخاب مناسب مناطق تحت حفاظت جدید در استان مازندران استفاده شد. هدف از این پژوهش انتخاب مناطق تحت حفاظت با کم‌ترین مساحت، به گونه‌ای که در رسیدن به اهداف حفاظتی مناسب باشد. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید نتایج خوب و قابل قبولی را در شناسایی و انتخاب لکه‌های حفاظتی ارائه می‌دهد. کارایی الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و عملکرد خوب آن در این پژوهش با پژوهش‌های اسفنده (۱۳۹۴) در مورد برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت به منظور معرفی مناطق جدید حفاظتی در استان البرز، مهری (۱۳۹۱) مقایسه کارایی سه الگوریتم هوشمند رایانه‌ای در انتخاب مناطق مناسب استان مازندران، اسفندآباد (۱۳۹۷) با موضوع توسعه شبکه مناطق حفاظتی با به کارگیری رویکرد برنامه‌ریزی سیستماتیک در ایران مطابقت دارند. بررسی نتایج حاصل از سناریوی اول نشان داد که مناطق تحت حفاظت موجود با هدف ۳۰ درصد حفاظت کردن معیارها (گونه‌های مرال، کل و بز، سیاه‌گوش، پلنگ، گربه جنگلی و خرس قهوه‌ای) موفق

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

نبوده است. نامناسب بودن کارایی مناطق تحت حفاظت موجود استان مازندران در این پژوهش با پژوهش مهری و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد.

۴. نتیجه گیری

در این تحقیق بررسی نتایج حاصل از سناریوی دوم نشان داد که برای اهداف حفاظتی ۳۰ درصد، در بهترین حالت ۵۴۸۳۵۳۲ هکتار که معادل ۲۰,۷۶ درصد از سطح استان مازندران است باید مورد حفاظت قرار گیرد. مساحت مناطق تحت حفاظت موجود برابر با ۵۳۶۵۴۰۱ هکتار معادل با ۲۰,۳۱ درصد سطح استان است. بر این اساس نیاز است حدود ۱۱۸۱۳۱ هکتار به سطح مناطق کنونی اضافه شود.

نتایج سناریوی سوم با ۱۱ مقدار مختلف BLM، نشان داد که ۷,۹۷ تا ۲۳,۸۹ درصد از سطح استان باید حفاظت شود؛ یعنی هرکدام از شبکه‌های حفاظتی BLMهای مختلف با مناطق تحت حفاظت موجود، از ۱۴,۶۴ درصد تا ۵۳,۴۳ درصد هم‌پوشانی دارند. پس از بررسی نتایج مشخص شد که در بهترین حالت، برای تحقق شبکه حفاظتی با BLM معادل با ۴۰ باید ۲۱۰۷,۱ کیلومتر مربع، یعنی ۸۶,۸ درصد سطح استان برای شش گونه پستاندار حفاظت شود. درواقع مناطق تحت حفاظت جدید با BLM معادل ۴۰، مقدار ۲۵,۲۷ درصد با مناطق تحت حفاظت موجود هم‌پوشانی دارد. درصد هم‌پوشانی کم مناطق تحت حفاظت جدید نسبت به مناطق تحت حفاظت موجود، نشان می‌دهد مناطق تحت حفاظت موجود در برآورد کردن اهداف حفاظتی بهینه نیستند.

همچنین طبق نتایج حاصل از سناریوی چهارم، BLM معادل با ۴۰ در اهداف ۴۰ درصد، ۵۰ درصد و ۶۰ درصد جواب مناسبی را ارائه داده است، چراکه طبق نمودار رابطه بین مساحت و طول مرز (شکل ۱۲، ۱۳ و ۱۴)، در BLMهای معادل با ۴۰، رابطه بین مساحت و طول مرز متعادل است. همچنین در BLMهای بالاتر هزینه انتخاب شبکه تحت حفاظت (مساحت کل شبکه) افزایش می‌یابد. در مقادیر پایین‌تر نیز میزان ریزدانه بودن (محیط کل شبکه) بیشتر می‌شود و نتایج خوبی ارائه نمی‌شود. در BLM معادل با ۴۰ در اهداف ۴۰ درصد، ۵۰ درصد و ۶۰ درصد به ترتیب ۲۹۲۶,۸، ۳۹۱۶,۵، ۵۳۸۸ کیلومتر مربع که معادل با ۱۲,۳۱ درصد، ۱۶,۴۷ درصد و ۲۳,۲۹ درصد سطح استان مورد حفاظت قرار می‌گیرد. هرکدام از مناطق تحت حفاظت جدید با اهداف حفاظتی ۴۰ درصد، ۵۰ درصد و ۶۰ درصد، به ترتیب ۳۶,۶۶ درصد، ۴۳,۹۳ درصد و ۴۶ درصد، با مناطق تحت حفاظت موجود هم‌پوشانی دارند.

بررسی نتایج سناریوی اول نشان داد که مناطق تحت حفاظت موجود، تنها سه معیار از شش معیار را حفاظت می‌کند. مناطق تحت حفاظت جدید در سناریوهای دوم، سوم و چهارم، با مناطق تحت حفاظت موجود هم‌پوشانی کم‌تر از ۵۰ درصد را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲۰ مشخص است، درصد زیادی از مناطق تحت حفاظت جدید برای شش معیار حفاظتی، در خارج از محدوده مناطق تحت حفاظت کنونی قرار دارند.

به‌منظور بهبود نتایج در مطالعات آتی پیشنهادهای زیر ارائه می‌شوند:

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

- افزایش کارایی مناطق تحت حفاظت، وابستگی مستقیم به میزان اطلاعات حضور گونه‌ها دارد. در این تحقیق برای تهیه معیارهای حفاظتی به دلیل اندک بودن اطلاعات حضور گونه‌ها از روش حداکثر آنتروپی استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، جهت بهبود وضعیت حفاظتی گونه‌های پستاندار استان مازندران پیشنهاد می‌شوند:
- پیشنهاد می‌شود با تهیه داده‌های غنی‌تر و در نظر گرفتن گونه‌های متنوع‌تر، کارایی الگوریتم‌های دیگر مورد ارزیابی قرار گیرد.
 - همچنین پیشنهاد می‌شود جهت اولویت‌بندی مناطق تحت حفاظت از لایه مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها استفاده شود.
 - سایر گونه‌ها از جمله پرندگان، خزندگان و گیاهان به عنوان معیارهای حفاظتی انتخاب و جهت اولویت‌بندی مناطق تحت حفاظت مورد استفاده قرار گیرند.
 - اصلاح مرز مناطق تحت حفاظت موجود جهت پراکنش گونه‌های دارای اهمیت. با توجه به شکل ۲۰ تعداد زیادی از مناطق تحت حفاظت جدید در خارج از محدوده مناطق تحت حفاظت موجود قرار دارند. در نتیجه اصلاح مرز مناطق تحت حفاظت موجود سبب بهبود وضعیت حفاظتی تنوع زیستی از جمله گونه‌های پستاندار ذکر شده در منطقه می‌شود.
 - پیشنهاد می‌شود از سایر الگوریتم‌ها مانند الگوریتم ژنتیک، کلونی زنبور عسل و الگوریتم کلونی مورچگان و مقایسه آن‌ها با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، استفاده شود.

منابع:

- اسفنده، س.، کابلی، م.، و اسلامی، ل. (۱۳۹۶). استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده برای اولویت‌بندی سیستماتیک مناطق حفاظت‌شده در استان البرز ایران. *محیط زیست جانوری*، ۹(۱)، ۱۰۵-۱۲۵.
- اسفندآباد، ب.، و کابلی، م. (۱۳۹۹). ارتقای سطح حفاظت از تنوع زیستی با بهبود وضعیت شبکه تحت حفاظت کشور، برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت با استفاده از الگوریتم Zonation محیط زیست طبیعی، ۷۳(۱)، ۶۳-۷۶.
- پاداش، ا.، نبی بیدهندی، غ.، هویدی، ح.، و اردستانی، م. (۱۳۹۵). تجزیه و تحلیل استراتژی نوآورانه برنامه‌ریزی محیط زیست با رویکرد HSE در صنعت پتروشیمی. *پژوهش‌های مدیریت منابع سازمانی*، ۶(۲)، ۲۷-۴۷. <http://ormr.modares.ac.ir/article-۴۷-۲۷-28-6325-fa.html>
- رباطی، م.، و قازانچایی، ا. (۱۳۹۸). سنجش وضعیت زیست محیطی - اقتصادی و اجتماعی استان مازندران با رویکرد مدل مفهومی DPSIR/انسان و محیط زیست، ۱۷(۴)، ۸۱-۱۰۰.
- رضائی، س.، نادری، س.، و کرمی، پ. (۱۳۹۷). بررسی مطلوبیت زیستگاه کفتار راهراه (Hyaena hyaena) در منطقه حفاظت‌شده هفتاد قله اراک. *پژوهش‌های جانوری*، ۳۱(۲)، ۱۶۲-۱۷۷. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832614.1397.31.2.5.3>
- ضرابی، ا.، دیوسالار، ا.، و کنعانی، م. (۱۳۹۱). تحلیل فضایی سکونتگاه‌های شهری براساس توان‌های محیطی (مطالعه موردی: استان مازندران). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۱۶(۱۲)، ۷۸-۱۰۰. <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-9731-۱۰۰-۷۸-fa.html>

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

- قبادی، م.، و احمدی پری، م. (۱۳۹۵). مکان‌یابی و آمایش صنایع پتروشیمی با رویکرد برنامه‌ریزی محیط زیست و بهره‌گیری از روش تلفیقی پرومته و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (مطالعه موردی: استان لرستان). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۲۰ (۴)، ۲۰۱-۲۲۶. <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-6101-fa.html>
- کابلی، م.، علی‌آبادیان، م.، توحیدی‌فر، م.، هاشمی، ع.ر.، موسوی، س.ب.، و روزلار، ک. (۱۳۹۵). *اطلس پرندگان ایران*. تهران: جهاد دانشگاهی واحد استان البرز (خوارزمی).
- کرمی، م.، قدیریان، ط.، و فیض‌اللهی، ک. (۱۳۹۵). *اطلس پستانداران ایران*. تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد استان البرز (خوارزمی).
- مجنونیان، ه. (۱۳۹۳). *مناطق حفاظت‌شده: مبانی و تدابیر حفاظت از پارک‌ها و مناطق در ایران و جهان*. ج ۱. تهران: نشر دی نگار.
- مهری، آ. (۱۳۹۱). *اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با استفاده از هوش مصنوعی مطالعه موردی: استان مازندران*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- مومنی، ایمان (۱۳۹۲). «انتخاب سیستماتیک لکه‌های حفاظتی استان گلستان با استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد محیط‌زیست. دانشگاه تهران.
- Esfandabad, Sh., & Kaboli, M. (2020). Improving biodiversity conservation with expansion of protected area network in Iran, systematic conservation planning applying Zonation algorithm. *Journal of Natural Environment*, 73(1), 63-76. <https://dx.doi.org/10.22059/jne.2018.245113.1446>. [In Persian]
- Esfandeh, S., Kaboli, M., & Eslami, L. (2017). Simulated annealing algorithm as a tool for systematic prioritization of protected area in Alborz province, Iran. *Journal of Animal Environment*, 9(1), 105-122. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.27171388.1396.9.1.14.0>. [In Persian]
- Game, H. P. P., McGowan, J., Klein, D. N., & Watts, M. (2020). Marxan version 2.43 & above. https://marxansolutions.org/wp-content/uploads/2021/02/Marxan-User-Manual_2021.
- Ghobadi, M., Ahmadi Pari, M. (2016). Site selection for petrochemical idustry based on environmental palnning approach using integrated method of PROMETHEE II and FuzzyAHP in Lorestan. *The Journal of Spatial Planning*, 20 (4), 201-226. <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-6101-fa.html>. [In Persian]
- Henriques, N. S., Monteiro, P., Bentes, L., Oliveira, F., Afonso, C. M., & Gonçalves, J. M. (2017). Marxan as a zoning tool for development and economic purposed areas-Aquaculture Management Areas (AMAs). *Ocean & Coastal Management*, 141, 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.016>
- Hermoso, V., Filipe, A. F., Segurado, P., & Beja, P. (2015). Filling gaps in a large reserve network to address freshwater conservation needs. *Journal of Environmental Management*, 161, 358-365. <https://research-repository.griffith.edu.au/bitstream/10072/102501/1/HermosoPUB190.pdf>
- Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., & Albert, D. L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29(5), 773-785. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x>
- Javed, S., ElAlQamy, H., Khan, S. B., Ahmed, S., Al Dhaheri, S. S., Al Hammadi, A., & Al Hammadi, E. (2019). Using greater flamingo tracking and count data in delineating marine protected areas in the

- coastal zone of Abu Dhabi, United Arab Emirates: Conservation planning in an economically important area. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00557. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00557>
- Kabuli, M., Aliabadian, M., Tahidifar, M., Hashemi, A., Mousavi, S. B., & Rozlar, K. (2016). *Iranian Bird atlas*. Tehran: Alborz (Khwarizmi) Province Branch University Jihad. [In Persian]
 - Karmi, M., Qadirian, T., & Faizullahi, K. (2015). *The Atlas of Mammals of Iran*. Tehran: Jihad University Publications, Alborz Province Branch (Khwarizmi). [In Persian]
 - Kolahi, M., Sakai, T., Moriya, K. et al. (2013). Assessment of the Effectiveness of Protected Areas Management in Iran: Case Study in Khojir National Park. *Environmental Management*, 52, 514–530. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0061-5>
 - Majnounian, H. (2013). *Protected Areas: Basics and Protection Measures of Parks and Areas in Iran and the World (along with scientific and technical guides)*. Tehran: Di Nagar Publishing House. [In Persian]
 - Margules, C. R., & Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405(6783), 243-253.
 - Mehri, A., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, S. H., & Rezaei, H. R. (2014). Use of Optimization Algorithms to Prioritize Protected Areas in Mazandaran Province of Iran. *Journal for Nature Conservation*, 22(5), 462-470. [In Persian]
 - Moilanen, A., Wilson, K., & Possingham, H. (2009). *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools*. Oxford University Press.
 - Momeni, I. (2013). *Systematic selection of protective spots in Golestan province using simulated melting algorithm*. Environmental Master's Thesis. University of Tehran.
 - Padash, A., Nabi Bidhendi, Gh., Hovidi, H., & Ardestani, M. (2016). Analysis of innovative environmental planning strategy by HSE approach in the petrochemical industry. *The Journal of Spatial Planning*, 6(2), 27-47. <http://ormr.modares.ac.ir/article-28-6325-fa.html>. [In Persian]
 - Pearce, J. L., Kirk, D. A., Lane, C. P., Mahr, M. H., Walmsley, J., Casey, D., Muir, J. E., Hannon, S., Hansen, A., & Jones, K. (2008). Prioritizing avian conservation areas for the Yellowstone to Yukon Region of North America. *Biological Conservation*, 141 (4), 908-924. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.12.033>
 - Pearson, R.G. 2007. Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. *Synthesis. American Museum of Natural History*, 50, 54-89.
 - Robati, M., & Ghazanchaei, E. (2019). Socioeconomic and Environmental Situation Analysis of Mazandaran Province with Conceptual Model Approach DPSIR. *Human & Environment*, 17(4), 81-100. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625532.1398.17.4.7.1> .[In Persian]
 - Rezaei, S., Naderi, S., & Karami, P. (2018). The habitat suitability study of hyaena hyaena in the Haftadgholeh protected area. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(2), 162-177. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832614.1397.31.2.5.3> .[In Persian]
 - Sofaer, H. R., Jarnevich, C. S., Pearse, I. S., Smyth, R. L., Auer, S., Cook, G. L., Hamilton, H. (2019). Development and Delivery of Species Distribution Models to Inform Decision-Making. *BioScience*, 69(7), 544-557. <https://doi.org/10.1093/BIOSCI%2FBIZ045>
 - Sundermann, E., & Lemahieu, I. L. (1995). PET image reconstruction using simulated annealing. Paper presented at the Medical Imaging 1995: Image Processing. <https://biblio.ugent.be/publication/254410>

- Svancara, L. K., Brannon, R., Scott, J. M., Groves, C. R., Noss, R. F., & Pressey, R. L. (2005). Policy-driven versus evidence-based conservation: a review of political targets and biological needs. *BioScience*, 55 (11), 989- 995. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0989:PVECAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0989:PVECAR]2.0.CO;2)
- Wiersma, Y. F., & Nudds, T. D. (2006). Conservation targets for viable species assemblages in Canada: are percentage targets appropriate? *Biodiversity and Conservation*, 15(14), 4555-4567.
- Zarabi, A., Divsalar, A., & Kanani, M. R. (2012). Spatial Analysis Of Urban Settlements Based On Environmental Abilities Of Mazandaran Province. *The Journal of Spatial Planning*, 16(12), 514–530. [In Persian]