Geography and Environmental Sustainability
Homepage: http://ges.razi.ac.ir/

Prioritization of Hotspots for Biodiversity Conservation in Yazd Province

Fatemeh Jamshidi saedi[1]| Maryam Morovati[2]| Sedighe Abdollahi[3]| Mahdi Elahi[4]

1. Department of Environmental Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran. E-mail: Mymorovati@ardakan.ac.ir.ac.ir
3. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
4. Department of Environmental Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 04 Dec 2024
Received in revised form: 26 Dec 2024
Accepted: 31 Dec 2024
Available online: 21 Mar 2025

Keywords:
Sustainable biodiversity management,
Habitat hotspots,
InVEST model,
Landscape analysis.

ABSTRACT

Conservation of biodiversity and sustainable management of habitats are among the most important environmental challenges in arid and semi-arid regions. This study aimed to identify and prioritize biodiversity hotspots in Yazd province, evaluating the habitats of four species with conservation value, including the wild goat (Capra aegagrus), wild sheep (Ovis orientalis), gazelle (Gazella bennettii), and leopard (Panthera pardus), using the InVEST habitat quality model. Spatial statistical analyses such as Getis-Ord Gi and Local Moran's I were used to identify the habitat hotspots, which were then assessed using the receiver operating characteristic (ROC) curve. Additionally, landscape metrics and Principal Component Analysis (PCA) were employed to analyze the sustainability of the habitat hotspots. The results revealed that the suitable habitats for the species were located in areas far from residential and agricultural zones. The area of hotspots with high conservation value for the species was 11182.18 km² for Wild Goat, 8929.29 km² for Indian Gazelle, 12708.12 km² for wild sheep, and 6595.68 km² for Leopard. Landscape metrics, including connectivity, compactness, and complexity, significantly influenced the conservation value of the hotspots. Furthermore, PCA revealed that the first three components explained 94% of the data variance. The findings emphasize the importance of reducing human pressures and conserving habitat hotspots with favorable ecological characteristics.

Cite this article: Jamshidi saedi, F., Morovati, M., Abdollahi, S., & Elahi, M. (2025). Prioritization of Hotspots for Biodiversity Conservation in Yazd Province. *Geography and Environmental Sustainability*, *15* (1), 63-81. https://doi.org/10.22126/GES.2024.11465.2808

© The Author (s).
DOI: https://doi.org/10.22126/GES.2024.11465.2808
Publisher: Razi University

جغرافیا و پایداری محیط
وبگاه نشریه: http://ges.razi.ac.ir/

اولویت‌بندی حفاظتی لکه‌های داغ تنوع زیستی استان یزد

فاطمه جمشیدی ساعدی[۱]| مریم مروتی[۲]| صدیقه عبداللهی[۳]| مهدی الهی[۴]

۱. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: Mymorovati@ardakan.ac.ir.ac.ir
۳. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۴. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
مدیریت پایدار تنوع زیستی،
لکه‌های زیستگاهی،
مدل InVEST،
تحلیل سیمای سرزمین.

چکیده

حفاظت از تنوع زیستی و مدیریت پایدار زیستگاه‌ها از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌روند. این پژوهش باهدف شناسایی و اولویت‌بندی لکه‌های داغ تنوع زیستی استان یزد، زیستگاه چهارگونه باارزش حفاظتی شامل کل و بز (*Capra aegagrus*)، قوچ و میش (*Ovis orientalis*)، جبیر (*Gazella bennettii*) و پلنگ (*Panthera pardus*) را با استفاده از مدل کیفیت زیستگاه اینوست (InVEST) ارزیابی کرد. به کمک تحلیل‌های آماری فضایی مانند گتیس-ارد جی و موران محلی، لکه‌های داغ زیستگاهی شناسایی و با نمودار مشخصه عملکرد ارزیابی شدند. همچنین، برای تحلیل پایداری لکه‌های زیستگاهی از سنجه‌های سیمای سرزمین و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. نتایج نشان داد که زیستگاه‌های مطلوب گونه‌ها در مناطق دور از نواحی مسکونی و کشاورزی متمرکز بوده و مساحت لکه‌های با اهمیت حفاظتی بالا برای گونه‌ها به ترتیب شامل ۱۱۱۸۲/۱۸ کیلومترمربع برای کل و بز، ۸۹۲۹/۲۹ کیلومترمربع برای جبیر، ۱۲۷۰۸/۱۲ کیلومترمربع برای قوچ و میش و ۶۵۹۵/۶۸ کیلومترمربع برای پلنگ است. شاخص‌های سیمای سرزمین از جمله پیوستگی، فشردگی و چین‌خوردگی تأثیر قابل‌توجهی بر ارزش حفاظتی لکه‌ها داشتند. همچنین تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که سه مؤلفه اول، ۹۴ درصد واریانس داده‌ها را تبیین می‌کنند. یافته‌ها بر اهمیت کاهش فشارهای انسانی و حفاظت از لکه‌های زیستگاهی با ویژگی‌های مطلوب بوم‌شناختی تأکید دارند.

استناد: جمشیدی ساعدی، فاطمه؛ مروتی، مریم؛ عبداللهی، صدیقه؛ الهی، مهدی (۱۴۰۴). اولویت‌بندی حفاظتی لکه‌های داغ تنوع زیستی استان یزد. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۵ (۱)، ۶۳-۸۱. https://doi.org/10.22126/GES.2024.11465.2808

© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22126/GES.2024.11465.2808
ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

پایداری محیط‌زیست، به‌عنوان یکی از اهداف کلیدی توسعه پایدار، مستلزم حفاظت از تنوع زیستی و زیستگاه‌های طبیعی است که از خدمات اکوسیستمی حیاتی پشتیبانی می‌کنند (عبداللهی، ۱۴۰۲). گونه‌های گیاهی و جانوری به صورت پیوسته و متقابل به بقای یکدیگر وابسته‌اند و کاهش در تنوع زیستی می‌تواند اثرات عمیق و غیرقابل جبرانی بر اکوسیستم‌ها و در نهایت رفاه انسان داشته باشد (Schaafsma, 2021). فعالیت‌های انسانی در دهه‌های اخیر، نظیر توسعه شهرنشینی، گسترش کشاورزی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی و تغییر کاربری اراضی، منجر به از بین رفتن زیستگاه‌ها و کاهش کیفیت زیستگاه‌های باقی‌مانده شده است (Prakash & Verma, 2022). در نتیجه، بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری در معرض خطر قرار گرفته‌اند، و این امر حفاظت از تنوع زیستی را به یک ضرورت جهانی تبدیل کرده است.

یکی از استراتژی‌های کلیدی برای حفظ تنوع زیستی، شناسایی و اولویت‌بندی مناطق با غنای زیستی بالا یا همان لکه‌های داغ تنوع زیستی است (Diao et al., 2021). لکه‌های داغ به مناطقی اطلاق می‌شود که دارای تنوع گونه‌ای بالا هستند و درعین‌حال به علت تغییرات اقلیمی و دخالت‌های انسانی، در معرض خطر تخریب قرار دارند (Weinzettel et al., 2018). اولویت‌بندی این مناطق برای برنامه‌های حفاظتی به دلیل محدودیت منابع مالی و زمانی بسیار حیاتی است. تمرکز بر مناطق دارای غنای بالای گونه‌ها می‌تواند اثرات حفاظتی بیشتری به همراه داشته باشد و از نابودی زیستگاه‌های حیاتی جلوگیری کند (Noss et al., 2015). از سوی دیگر، مطالعات پیشین (Ghayoumi et al., 2023). نشان داده‌اند که رویکردهای مشارکتی در حفاظت از تنوع زیستی، نظیر حفاظت جامعه‌محور، می‌توانند با تلفیق اقدامات بومی و سیاست‌های دولتی، به پایداری بوم‌شناختی کمک کند.

استان یزد، با داشتن اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و همچنین تنوع زیستی قابل‌توجه در میان گونه‌های جانوری و گیاهی، از جمله مناطق مهم ایران از لحاظ محیط‌زیستی است. این استان با گستره وسیعی از بیابان‌ها و مناطق کوهستانی، زیستگاه گونه‌های متنوعی از جمله کل و بز (*Capra aegagrus*)، قوچ و میش (*Ovis orientalis*)، جبیر (*Gazella bennettii*) و پلنگ (*Panthera pardus*) است. این‌گونه‌ها به دلیل ویژگی‌های خاص زیستگاهی و نقش مهمی که در اکوسیستم‌های منطقه ایفا می‌کنند، از ارزش حفاظتی بالایی برخوردارند (زارع بیدکی، ۱۳۹۲). بااین‌حال، افزایش فعالیت‌های انسانی در استان یزد، نظیر توسعه کشاورزی و گسترش شهرنشینی، باعث تخریب زیستگاه‌ها و تهدید تنوع زیستی شده است (صادقی روش، ۱۳۹۹). ازاین‌رو، شناسایی مناطقی که دارای بیشترین پتانسیل حفاظتی برای این‌گونه‌ها هستند و توسعه برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی برای آنها ضروری است. در این راستا، مدل‌های پراکنش گونه‌ها و ارزیابی کیفیت زیستگاه‌ها، ابزارهای بسیار کارآمدی برای شناسایی لکه‌های داغ تنوع زیستی هستند. مدل InVEST یکی از این ابزارهاست که برای تحلیل و ارزیابی کیفیت زیستگاه و شناسایی تأثیر تهدیدات محیطی استفاده می‌شود. این مدل امکان ترکیب داده‌های فضایی در مقیاس بزرگ را فراهم می‌آورد و به‌ویژه در محیط‌های دارای منابع اطلاعاتی محدود بسیار مفید است (نعمت الهی و همکاران، ۱۳۹۸).

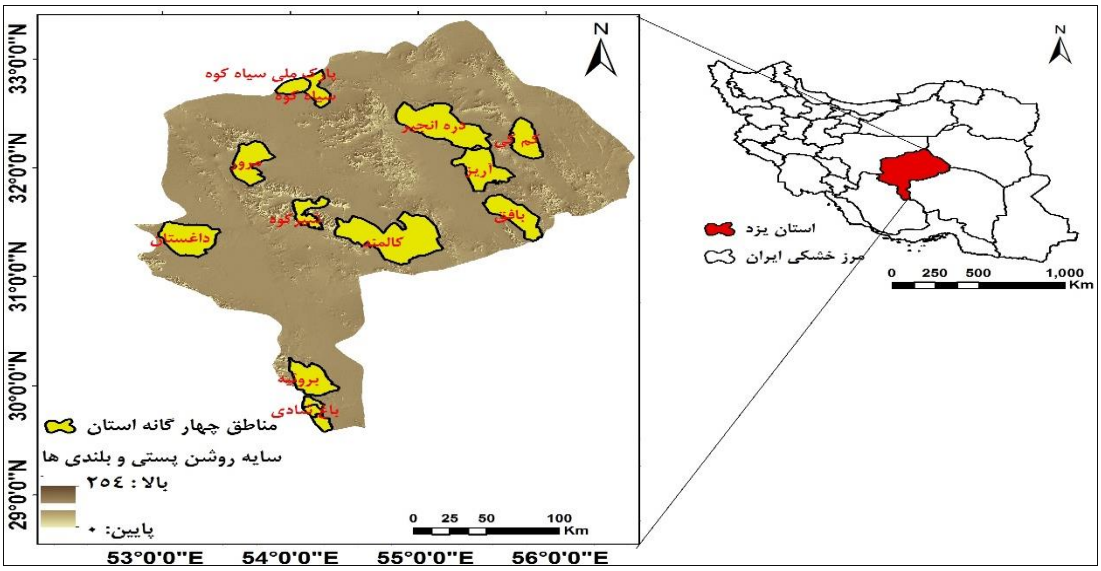
یکی از ابزارهای مدرن برای تحلیل و اولویت‌بندی حفاظتی، استفاده از مدل‌های مکانی و سنجه‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین است (Abdollahi et al., 2023; Newman et al., 2019). بوم‌شناسی سیمای سرزمین به بررسی الگوهای فضایی و ساختار زیستگاه‌ها و ارتباط آن‌ها با فرایندهای بوم‌شناختی می‌پردازد (انصاری، ۱۴۰۰؛ عبداللهی، ۱۴۰۲).

این پژوهش باهدف شناسایی و اولویت‌بندی لکه‌های داغ تنوع زیستی استان یزد برای حفاظت از گونه‌های باارزش حفاظتی انجام شده است. استفاده از مدل InVEST و روش‌های تحلیل بوم‌شناسی سیمای سرزمین در این مطالعه به ما این امکان را می‌دهد که از طریق داده‌های مکانی و ارزیابی تهدیدات محیطی، مناطقی را که نیازمند توجه و برنامه‌ریزی فوری حفاظتی هستند شناسایی کنیم. به‌این‌ترتیب، این پژوهش به تدوین راهکارهای کارآمد برای مدیریت و حفاظت تنوع زیستی در استان یزد کمک می‌کند و الگویی برای مطالعات حفاظتی پایدار در دیگر مناطق خشک و نیمه‌خشک فراهم می‌آورد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه موردمطالعه

منطقهٔ موردمطالعه، استان یزد در مرکز ایران با گستره‌ای بـه مسـاحت ۱۲۹۲۸۴ کیلـومتر مربـع بـین ´۱۵ °۳۰ تـا ´۲۰ °۳۲ عرض‌شمالی و ´۳۸ °۵۱ تا ´۳۹ °۵۷ طول شرقی واقع‌شده است (شکل ۱). میانگین دمای سالانه استان C ° ۱۸/۹ و متوسـط بارندگی منطقه ۶۰ میلی‌متر است. اغلب مناطق استان یزد دارای اقلیم خشک و بیابانی تا فرا خشک اسـت. اسـتان یـزد دارای چهار منطقه حفاظت شده کالمند بهادران، کوه بافق، سیاهکوه و جنگل شادی خاتم، پناهگاه‌های حیـات‌وحـش نایبنـدان، دره انجیر، بوروئیه خاتم، پارک ملی سیاهکوه و مناطق شکار ممنوع شیرکوه تفت، مرور میبد، آریز بافق، کفه تاغستان و بـاغ شـادی خاتم است. این استان به دلیل شرایط اقلیمی خشـک و نیمه‌خشـک، زیسـتگاه مهمـی بـرای گونـه‌های ارزشـمند جـانوری و گیاهی است. موقعیت جغرافیایی استان یزد و ویژگی‌های محیطزیستی آن از جمله کمبـود بـارش، خشـکی هـوا، توسـعه‌های گسترده انسانی مانند کشاورزی و سکونت‌گاه‌های جدید، تـأثیر قابـل‌تـوجهی بـر پـراکنش زیسـتگاه‌ها و کیفیـت آن‌هـا دارنـد (بدراق‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

روش کار

این پژوهش به لحاظ روش‌شناختی در برگیرنده سه‌گام اصلی است: (الـف) ارزیـابی کیفیـت زیسـتگاه گونـه‌هـای دارای ارزش حفاظتی استان (ب) تهیه نقشه لکه‌های داغ زیستگاهی و اعتبارسنجی آن‌ها (ج) ارزیـابی لکـه‌هـای زیسـتگاهی بـا اسـتفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین.

روش ارزیابی کیفیت زیستگاه

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی کیفیت زیستگاه و شناسایی مناطق حساس، از مـدل تنـوع زیسـتی نرم‌افـزار InVEST بـرای چهار گونه پستاندار ارزشـمند در اسـتان یـزد شـامل قـوچ و مـیش (*Ovis orientalis*)، کـل و بـز (*Capra aegagrus*)، جبیـر (*Gazella bennettii*) و پلنگ (*Panthera pardus*) استفاده گردید. این مدل زیستگاه‌محور امکان سنجش کمی و نقشـه‌سـازی کیفیت زیستگاه‌ها را فراهم کرده و به‌ویژه در ارزیابی حساسیت زیستگاه‌ها نسبت به تهدیدات انسانی مؤثر اسـت (Tallis et al., 2014). یکی از اساسی‌ترین داده‌های ورودی این مدل، نقشه کاربری اراضی است که در این مطالعه، نقشـه کـاربری اراضـی بـا استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتیل ۱ مربوط به ماه ژوئن (خردادماه) ۲۰۲۴ در محیط سامانه گوگل ارث انجـین در ۱۰ طبقـه کاربری اراضی شامل مراتع متراکم، مراتع نیمه متراکم، مراتع کم‌تراکم، تپه‌های شنی، زمین‌های کشاورزی، منـاطق مسـکونی،

کوه/صخره، جاده، آب و زمین‌های بدون پوشش تهیه شد.

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل InVEST، توانایی آن در شناسایی حساسیت زیستگاه‌ها نسبت به تهدیدهای مختلف تنوع زیستی است. با استفاده از این مدل، کاربر می‌تواند اثر نسبی هر تهدید را نسبت به سایر تهدیدها ارزیابی کند و به‌این‌ترتیب، زیستگاه‌های مختلف حساسیت متفاوتی به تهدیدات نشان می‌دهند. فرایند عملی پیاده‌سازی مدل تنوع زیستی برای منطقه موردمطالعه به شرح زیر انجام می‌شود:

الف) در گام نخست، پس از بررسی منابع (Asadolahi et al., 2018; Zarandian et al., 2017; Nematollahi et al., 2022) و بهره‌گیری از نظرات کارشناسان، انواع طبقات کاربری/پوشش زمین به‌تناسب ارزش بوم‌شناختی، از صفر (زیستگاه نامطلوب) تا یک (زیستگاه مطلوب) برای گونه‌های هدف امتیازدهی شدند. از چهار نفر از استادان گروه محیط‌زیست دانشگاه و چهار نفر از محیط‌بانان اداره حفاظت محیط‌زیست یزد خواسته شد تا بر اساس نوع زیستگاه‌های طبیعی استان و ترجیحات زیستگاهی گونه‌های مورد بررسی، امتیاز صفر تا یک را به طبقات مختلف کاربری/پوشش زمین اختصاص دهند. تمامی کاربری‌های انسان‌ساخت، نظیر مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و جاده‌ها، به‌عنوان زیستگاه‌های نامطلوب در نظر گرفته شدند و ارزش عددی صفر دریافت کردند. از طرف دیگر، برای پوشش‌های طبیعی مانند مراتع، کوه‌ها و صخره‌ها، ارزش عددی یک (به‌عنوان زیستگاه کاملاً مطلوب) و برای پوشش‌های با مطلوبیت متوسط، ارزش کمتر از یک اختصاص یافت. (جدول ۱) (Sallustio et al., 2017).

جدول ۱. امتیاز مربوط به هریک از انواع زیستگاه برای گونه‌های هدف بر اساس مرور منابع مطالعاتی و دانش کارشناسی منبطق بر رفتار انتخاب زیستگاه گونه‌ها

گونه‌های هدف	نوع زیستگاه				
	مراتع متراکم	مراتع نیمه متراکم	مراتع کم‌تراکم	کوه و صخره	بدنه‌های آبی
کل و بز	۰/۹۷	۰/۸۲	۰/۷۱	۱	۰/۵
جبیر	۱	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۶۲	۰/۳۹
قوچ و میش	۱	۰/۹۷	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۳۷
پلنگ	۰/۹۴	۰/۸۲	۰/۷۷	۱	۰/۳۵

ب) ازآنجایی‌که مدل به داده‌های مربوط به تهدیدات زیستگاه و شدت تأثیر آن‌ها بر زیستگاه‌ها نیاز دارد، در این مرحله، طبقات کاربری انسان‌ساخت که موجب تکه‌تکه‌شدن زیستگاه‌ها و افزایش اثرات حاشیه‌ای از جمله آلاینده‌ها و گونه‌های مهاجم می‌شوند، به‌عنوان عوامل تهدید در نظر گرفته شدند. در گام بعدی، تأثیر این تهدیدات با استفاده از سه عامل در یک شبکه رستری ارزیابی شد: ۱- اثر نسبی هر تهدید که شدت تهدیدات را نشان می‌دهد و بر اساس منابع (Abdollahi et al., 2023; Abdollahi et al., 2024) و نظر کارشناسان تعیین شد. (جدول ۲). ۲- فاصله بین زیستگاه و منابع تهدید که عامل کاهنده است؛ بدین معنا که هرچه فاصله از منبع تهدید بیشتر باشد، اثر آن کمتر خواهد بود. به همین دلیل، سلول‌های نزدیک‌تر به منابع تهدید بیشتر آسیب خواهند دید. بیشترین فاصله مؤثر از منابع تهدید بر زیستگاه‌های مجاور، بر اساس مرور منابع (Abdollahi et al., 2023; Abdollahi et al., 2024; Nematollahi et al., 2022) و نظر کارشناسی تعیین شد. ۳- حساسیت زیستگاه‌ها به تهدیدات، که با اختصاص امتیاز صفر برای حساسیت کم و یک برای حساسیت زیاد، بر اساس منابع (Abdollahi et al., 2023; Abdollahi et al., 2024; Nematollahi et al., 2020) و مشاوره کارشناسان تعیین گردید.

جدول ۲. ویژگی‌های هریک از منابع تهدید مورد استفاده در مدل‌سازی کیفیت زیستگاه نرم‌افزار InVEST

منبع تهدید	شدت نسبی منبع تهدید، دامنه (۰-۱)	بیشترین فاصله تأثیرگذار منبع تهدید بر روی زیستگاه‌های مجاور (کیلومتر)
زمین‌های کشاورزی	۰/۸	۵
مناطق مسکونی	۱	۳
جاده	۱	۴
زمین‌های بدون پوشش	۰/۲	۲

ارزیابی لکه‌های داغ زیستگاهی

روش‌های گتیس-اُرد جی و موران محلی به دلیل توانایی در شناسایی خوشه‌های مکانی و ارزیابی روابط فضایی بین نقاط داده، برای تحلیل لکه‌های زیستگاهی مناسب هستند. روش گتیس-اُرد جی نقاط داغ و سرد را با محاسبه Z-scores و P-values شناسایی کرده و بر شدت تجمعات در مقیاس مکانی تمرکز دارد. موران محلی علاوه بر شناسایی نقاط داغ، همبستگی فضایی و نواحی دورافتاده را تحلیل می‌کند. این دو روش در مقایسه با روش‌های ساده‌تر نظیر میانگین وزنی یا رویکردهای آماری غیرمکانی دقت و توانایی بیشتری در تحلیل فضایی دارند و پراکنش مکانی پدیده‌ها (لکه‌های زیستگاهی) را با دقت و صحت بیشتری مشخص می‌کنند.

Z-score شدت تفاوت یک نقطه از میانگین منطقه را نشان می‌دهد؛ مقادیر مثبت بالا نقاط داغ و مقادیر منفی نقاط سرد را مشخص می‌کنند. P-value احتمال تصادفی بودن الگوها را می‌سنجد و مقادیر پایین‌تر آن اطمینان بیشتری ایجاد می‌کند. سطح اطمینان ۹۵ درصد، رایج در پژوهش‌های علمی، تعادل خوبی بین دقت و پیچیدگی محاسبات برقرار کرده و ریسک خطای نوع اول را به ۵ درصد محدود می‌کند (Jana & Sar, 2016).

برای ارزیابی لکه‌های داغ زیستگاهی گونه‌های هدف با این روش‌ها، نقشه‌های رستری مطلوبیت زیستگاه که قبلاً تهیه شده بود، در محیط نرم‌افزار ArcGIS به فرمت چندضلعی تبدیل شد. سپس با استفاده از ابزار آماری "Zonal Statistics" مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. یکی از اصول پایه‌ای در به‌کارگیری روش‌های آماری فضایی، مفهوم همسایگی پدیده‌ها است. برای تعیین همسایگی، روش‌های مختلفی توسعه‌یافته که از میان آن‌ها، روش‌های «فاصله معکوس» و «همسایگی بر اساس حاشیه» بیشترین کاربرد را دارند (عبداللهی و همکاران، ۱۴۰۰). در این پژوهش، با توجه به ماهیت لکه‌های زیستگاهی، از روش همسایگی بر اساس حاشیه استفاده شد؛ به این معنا که تنها پدیده‌هایی که دارای مرز مشترک بودند، در تحلیل همسایگی وارد شدند و روش‌های داده‌کاوی مکانی روی آن‌ها اعمال شد.

در نهایت، برای ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از این رویکردها، از نمودار مشخصه عملکرد در نرم‌افزار Idrisi Selva استفاده گردید. جهت ارزیابی دقت مکانی، نیاز به یک نقشه مرجع و نقشه‌های حاصل از تحلیل‌های آماری فضایی در این نرم‌افزار بود. در این مطالعه، داده‌های حضور گونه‌های مورد بررسی به‌عنوان نقشه مرجع به کار گرفته شدند.

ارزیابی لکه‌های زیستگاهی بر اساس معیارهای سیمای سرزمین

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی و مقایسه پایداری و پیوستگی لکه‌های زیستگاهی گونه‌های مورد بررسی، تعدادی از سنجه‌های سیمای سرزمین انتخاب و محاسبه شدند. بر اساس مرور منابع (Gustafson, 1998؛ McGarigal et al., 2012)، سنجه‌هایی مانند تعداد و تراکم لکه‌ها، میانگین مساحت، اندازه مؤثر شبکه، نمایه میانگین چین‌خوردگی لکه، نمایه شکل سیمای سرزمین، میانگین محیط لکه‌ها، نمایه دیوار به دیواری، فاصله اقلیدسی از نزدیک‌ترین همسایه، شاخص بزرگ‌ترین لکه، مساحت کلاس لکه، درصد سیمای سرزمین، شاخص تجمع و شاخص جداشدگی انتخاب شدند. نقشه‌های تحلیل گتیس ارد جی برای گونه‌های هدف به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار فرگستس (Fragstats 4.2) وارد شدند. مقادیر کمی‌شده سنجه‌ها سپس در نرم‌افزار پست (PAST) تحلیل و پس از استانداردسازی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)[1] بر اساس شاخص‌های کمی‌شده سیمای سرزمین انجام شد. ابتدا داده‌ها استانداردسازی شدند تا مقیاس شاخص‌ها یکسان شود و از تأثیرگذاری نامتوازن متغیرها جلوگیری گردد. استانداردسازی با تنظیم داده‌ها به میانگین صفر و انحراف معیار یک صورت گرفت.

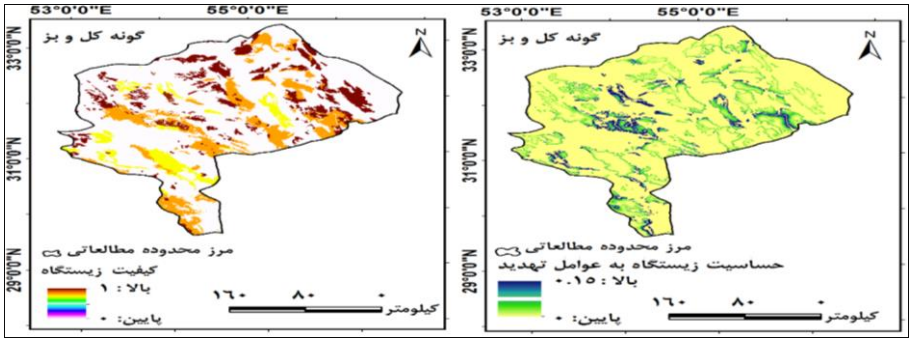
در گام دوم، ماتریس همبستگی میان شاخص‌ها محاسبه شد تا میزان وابستگی متقابل متغیرها شناسایی شود. این ماتریس مبنای انجام تحلیل PCA قرار گرفت. برای تعیین تعداد مؤلفه‌های اصلی قابل‌توجه، از نمودار اسکری[2] استفاده شد. در این نمودار، مقادیر ویژه[3] هر مؤلفه در برابر شماره آن ترسیم گردید. نقطه‌ای که پس از آن شیب نمودار به طور قابل‌توجهی

1. Principle Component Analysis (PCA)
2. Scree Plot
3. Eigenvalue

کاهش یافت به‌عنوان معیار انتخاب تعداد مؤلفه‌ها در نظر گرفته شد. در ادامه، بارهای عاملی[1] برای هر متغیر محاسبه شدند تا میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر مؤلفه‌های اصلی مشخص شود. برای ساده‌تر کردن تفسیر مؤلفه‌ها، از روش چرخش عاملی عمودی[2] استفاده شد. این روش بارهای عاملی را به‌گونه‌ای تعدیل می‌کند که هر متغیر در یک مؤلفه خاص وزن بیشتری داشته باشد و تفکیک مؤلفه‌ها به‌وضوح بیشتری انجام گیرد.

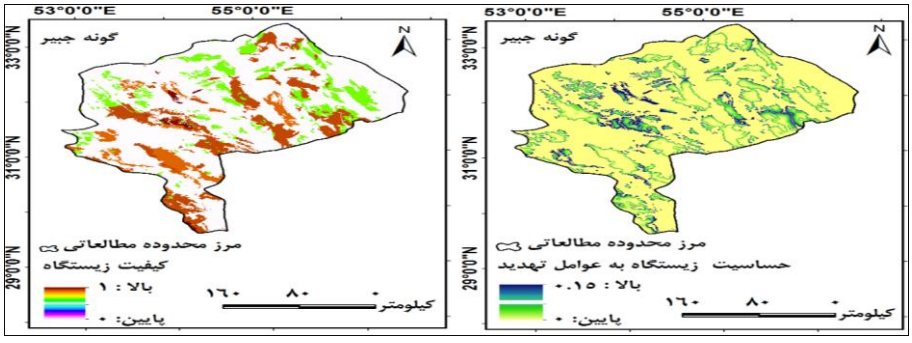
نتایج

نتایج مدل‌سازی کیفیت زیستگاه گونه‌های هدف شکل‌های ۲ تا ۵ آورده شده است. در نقشه‌های کیفیت زیستگاه این گونه‌ها، ارزش‌های کیفیت زیستگاه در دامنه صفر، زیستگاه نامطلوب تا ارزش یک، زیستگاه کاملا مطلوب قرار دارد. کم بودن سطح کیفیت زیستگاه بواسطهٔ وجود طبقاتی از کاربری/ پوشش زمین است که به عنوان غیرزیستگاه برای گونه‌های هدف در نظر گرفته شد.



شکل ۲. نقشه کیفیت زیستگاه گونه کل و بز (چپ) و حساسیت زیستگاه به عوامل بالقوه تهدید (راست)

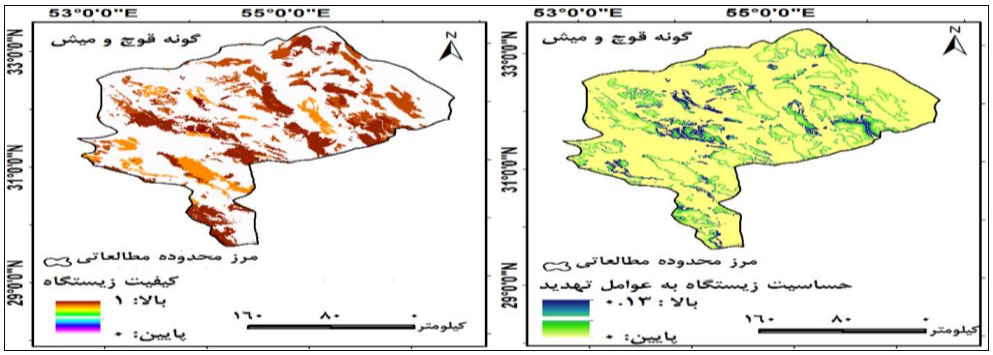
نقشه درجه حساسیت زیستگاه نسبت به عوامل بالقوهٔ تهدید بر اساس اثرات تجمعی تهدیدهای موجود در منطقه مطالعاتی به دست آمد. مقدار حساسیت زیستگاه نسبت به عوامل بالقوهٔ تهدید برای گونه‌های مورد بررسی در این مطالعه بین ۰/۱۳ تا ۰/۱۵ به‌دست آمد که بیشترین مقدار آن در اطراف مناطق مسکونی و کشاورزی منطقه‌ی مطالعاتی یافت شد. یکی از نتایج برجسته این پژوهش، حساسیت بیشتر گونه‌هایی همچون پلنگ و جبیر به تهدیدات محیطی است. این حساسیت ناشی از عوامل متعددی است که این گونه‌ها را در برابر تغییرات زیست‌محیطی آسیب‌پذیرتر می‌کند. پلنگ و جبیر به دلیل ویژگی‌های زیستی و نیاز مبرم به قلمروهای وسیع برای ادامه حیات، نسبت به تغییرات محیطی و کاهش کیفیت زیستگاه‌ها واکنش‌پذیری بیشتری نشان می‌دهند. علاوه بر این، فشارهای انسانی نیز نقش مهمی در افزایش آسیب‌پذیری این گونه‌ها ایفا می‌کند. برای مثال، جبیر به دلیل همپوشانی بالای زیستگاه‌هایش با مناطق فعالیت‌های انسانی، به‌طور مستقیم تحت تأثیر توسعه کشاورزی، تغییر کاربری زمین و سایر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد. این عوامل، در مجموع، بقای این گونه‌ها را در زیستگاه‌های طبیعی‌شان به خطر انداخته و ضرورت برنامه‌ریزی‌های حفاظتی مؤثر را دوچندان می‌کند.



شکل ۳. نقشه کیفیت زیستگاه گونه جبیر (چپ) و حساسیت زیستگاه به عوامل بالقوه تهدید (راست)

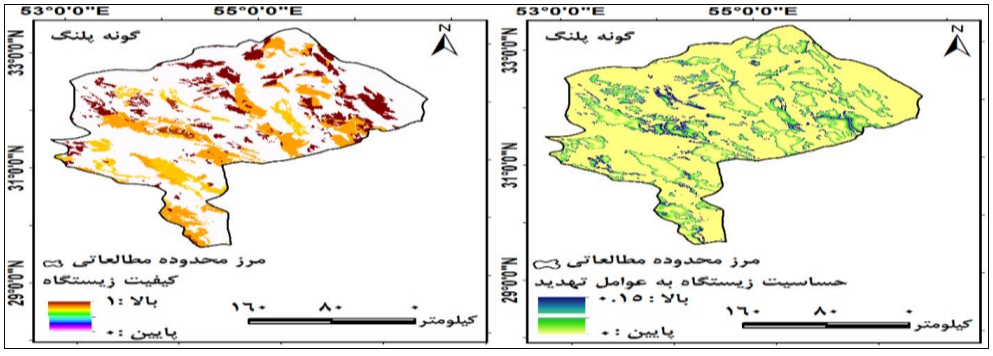
1. Factor Loadings
2. Varimax Rotation

باتوجه‌به نقشه‌های کیفیت زیستگاه گونه‌های هدف، زیستگاه مطلوب هریک از گونه‌ها باتوجه‌به رفتار ترجیح زیستگاه متفاوت است به‌طوری‌که برای گونه کل و بز، قوچ و میش و پلنگ نواحی شرقی و مرکزی منطقه مطالعاتی دارای زیستگاه‌هایی با بیشترین مطلوبیت است، درحالی‌که در مورد گونه جبیر نواحی جنوبی و مرکزی منطقه مطالعاتی از مطلوبیت بالایی برای گونه برخوردار است.

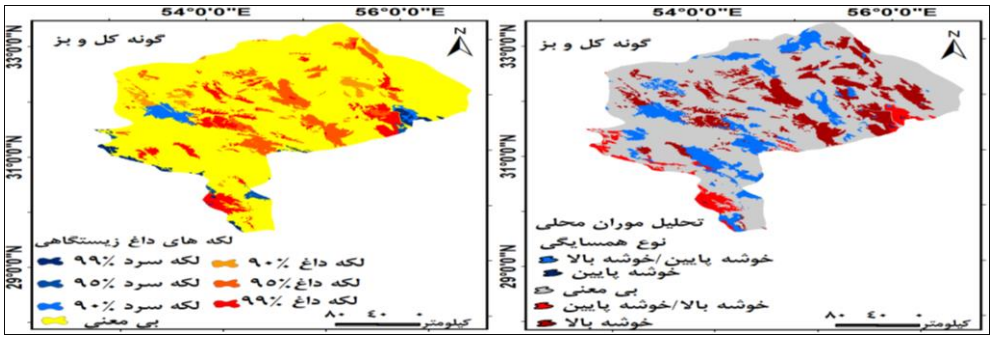


شکل ۴. نقشه کیفیت زیستگاه گونه های قوچ و میش (چپ) و حساسیت زیستگاه به عوامل بالقوه تهدید (راست)

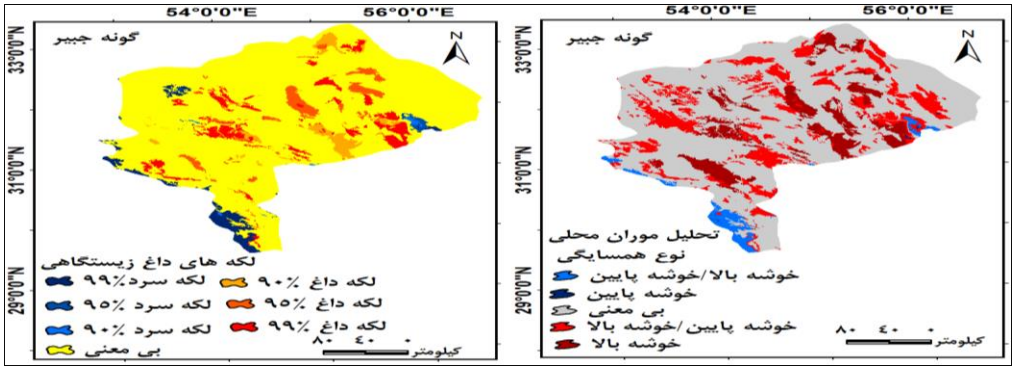
شکل‌های ۶ تا ۹ نتایج حاصل از تحلیل موران محلی و تحلیل گیتس ارد جی (تحلیل نقاط داغ) برای گونه‌های هدف در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. تحلیل نقاط داغ بیانگر میزان اهمیت زیستگاه‌های مختلف است. در مورد نقاط داغ زیستگاهی گونه ها نیز پراکنش مکانی لکه‌های داغ زیستگاهی و لکه‌هایی با الگوی خوشه‌ای بالا منطبق بر الگوی پراکنش زیستگاه‌های مطلوب است و لکه‌های داغ و مناطق زیستگاهی با الگوی خوشه‌ای بالا برای کل و بز در شرق و مرکز منطقه پراکندگی دارد. برای گونه جبیر درصد بالایی از لکه‌های داغ زیستگاهی و لکه‌هایی با الگوی خوشه‌ای بالا در مرکز منطقه مطالعاتی پراکنش دارد، برای گونه پلنگ، شرق و شمال منطقه درصد بالایی از لکه‌های داغ زیستگاهی و لکه‌های با الگوی خوشه‌ای بالا را به خود اختصاص داده است و لکه‌های داغ زیستگاهی و لکه‌های زیستگاهی با الگوی خوشه‌ای بالا برای قوچ و میش در قسمت مرکز و شرق منطقه بیشتر دیده می‌شوند.



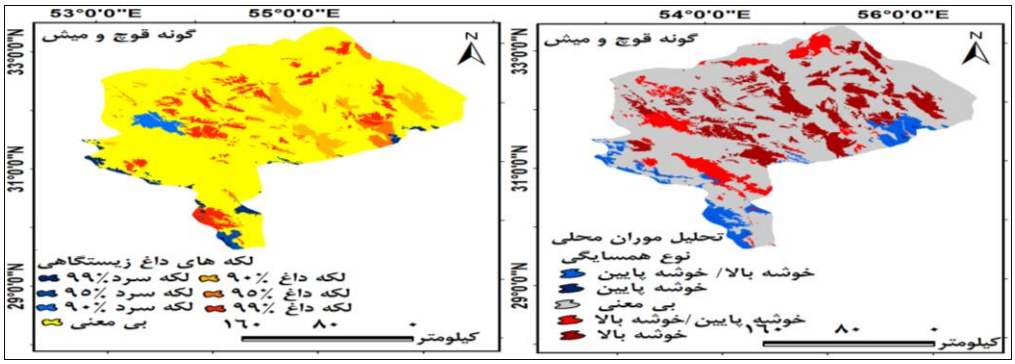
شکل ۵. نقشه کیفیت زیستگاه گونه پلنگ (چپ) و حساسیت زیستگاه به عوامل بالقوه تهدید (راست)



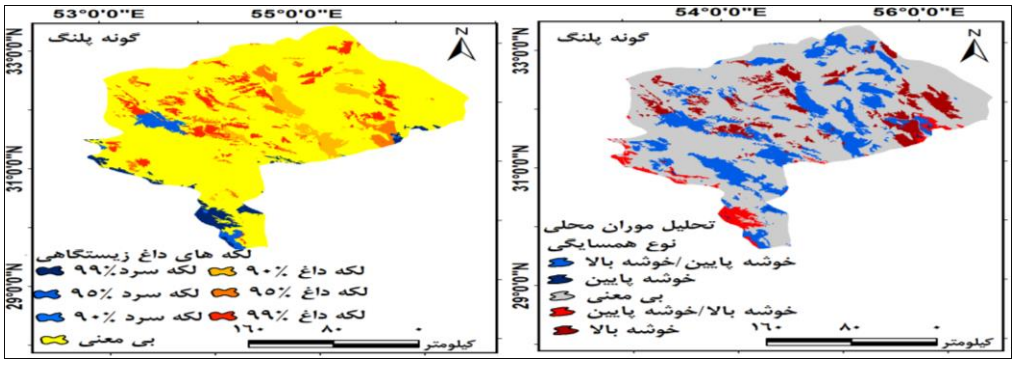
شکل ۶. نقشه تحلیل نقاط داغ برای گونه کل و بز (چپ) و تحلیل موران محلی (راست)



شکل ۷. نقشه تحلیل نقاط داغ برای گونه جبیر (چپ) و تحلیل موران محلی (راست)



شکل ۸. نقشه تحلیل نقاط داغ برای گونه قوچ و میش (چپ) و تحلیل موران محلی (راست)



شکل ۹. نقشه تحلیل نقاط داغ برای گونه پلنگ (چپ) و تحلیل موران محلی (راست)

پراکنش متفاوت لکه‌های داغ گونه‌ها نشان می‌دهد که هر گونه، نیازهای زیستگاهی خاص خود را دارد. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که رویکردهای حفاظتی باید بر اساس رفتار اکولوژیکی و نیازهای گونه‌ها طراحی شوند.

جدول‌های ۳ و ۴ به ترتیب مساحت الگوهای مختلف حاصل از تحلیل موران محلی و تحلیل گتیس اردجی را برای گونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

جدول ۳. مساحت زیر پوشش الگوی بدست آمده از تحلیل موران محلی

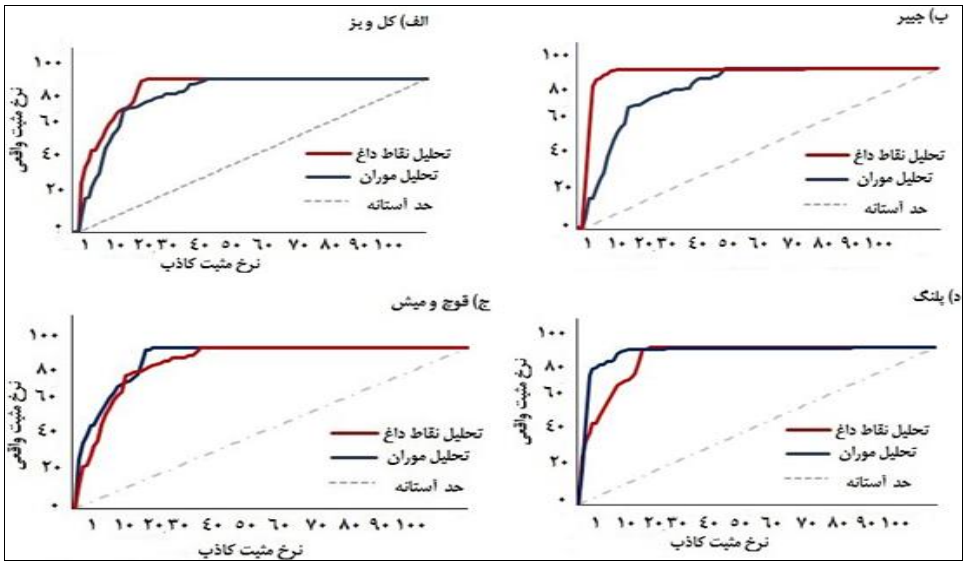
نوع الگوی همبستگی	مساحت لکه‌های زیستگاهی (KM^2)			
	کل و بز	جبیر	قوچ و میش	پلنگ
الگوی خوشه‌ای بالا (HH)	۱۱۱۸۲/۱۸	۸۹۲۹/۲۹۲	۱۲۷۰۸/۱۲	۶۵۹۵/۶۸
الگوی خوشه‌ای پایین (LL)	۷۲/۵۲۵	۸۹/۹۹	۱۰۱/۴۵۲	۱۱۱/۸۳
الگوی خوشه‌ای بالا در کنار الگوی خوشه‌ای پایین (HL)	۲۹۳۵/۲۶۲	۲۰۵۴/۱۸	۴۵۱۲/۸۱	۲۳۰۲/۴۲
الگوی خوشه‌ای پایین در کنار الگوی خوشه‌ای بالا (LH)	۸۷۰۲/۳۸۱	۱۲۴۱۱/۲	۵۵۱۱/۱	۱۳۸۰۳/۵۷
بدون الگو	۵۰۸۵۴/۶۶۷	۵۰۹۶۹/۳۷۱	۵۰۹۲۰/۵۸	۵۰۹۴۰/۵۳

باتوجه‌به این دو جدول قسمت وسیعی از منطقه مطالعاتی از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. این قسمت‌ها در نقشه کاربری اراضی عمدتاً در برگیرنده مناطق بدون پوشش است.

شکل ۱۰ نمودار مشخصه عملکرد را برای لکه‌های داغ زیستگاهی گونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. بر اساس این شکل برای دو گونه کل و بز و جبیر، تحلیل نقاط داغ دارای بیشترین فاصله از سطح آستانه است از این‌رو از با دقت و صحت بالاتری لکه‌های داغ زیستگاهی گونه‌های مورد نظر را شناسایی کرده است. در حالی‌که برای دو گونه قوچ و میش و پلنگ تحلیل موران محلی نسبت به تحلیل گتیس ارد جی فاصله بیشتری از سطح آستانه دارد و از دقت و صحت بالاتری برای شناسایی لکه‌های داغ ریستگاهی گونه‌های مورد نظر برخوردار است. بررسی مقادیر سطح زیر منحنی برای گونه‌های هدف نیز این مساله را تایید می‌کند (جدول ۵).

جدول ۴. مساحت زیر پوشش لکه‌های زیستگاهی حاصل از تحلیل گتیس ارد جی

نوع لکه‌های زیستگاهی	مساحت لکه‌های زیستگاهی (KM^2)			
	کل و بز	جبیر	قوچ و میش	پلنگ
لکه سرد ۹۹٪	۱۰۴۵/۷۶	۲۲۷۷/۴	۱۲۲۷/۷۵	۲۱۱۶/۸۶
لکه سرد ۹۵٪	۴۱۵/۸۳	۳۳۳/۸۴	۴۴۹/۶۲	۱۴۱۳
لکه سرد ۹۰٪	۱۲۸۲/۴۵	۱۸۱/۹۳۴	۱۰۲۴/۶۲	۵۶/۵۹
بی‌معنی	۵۸۷۱۲/۸۸	۶۱۹۹۲/۱۸۷	۵۹۹۵۳/۸۸	۵۹۸۰۹/۸۳
لکه داغ ۹۹٪	۵۲۷۲/۷۴	۴۲۵۴/۸۸۳	۵۵۸۲/۷	۴۶۵۹/۸۵
لکه داغ ۹۵٪	۵۴۸۱/۳۶۱	۲۶۲۴/۸۸۷	۱۹۹۸/۵	۲۶۶۶/۴۴
لکه داغ ۹۰٪	۱۵۴۳/۰۳۵	۲۰۸۸/۹۵۸	۳۵۱۶/۹۸	۲۹۸۵/۴۸



شکل ۱۰. نمودار مشخصه عملکرد لکه‌های زیستگاهی گونه‌های هدف، تطابق رویکردهای گتیس-ارد جی و موران محلی را با نقشه‌های مرجع نشان می‌دهد. این شکل نقش رویکردهای گتیس-ارد جی و موران محلی در شناسایی لکه‌های داغ زیستگاهی برجسته می‌کند.

جدول ۵. مقادیر سطح زیرمنحنی برای ارزیابی رویکردهای مورد بررسی

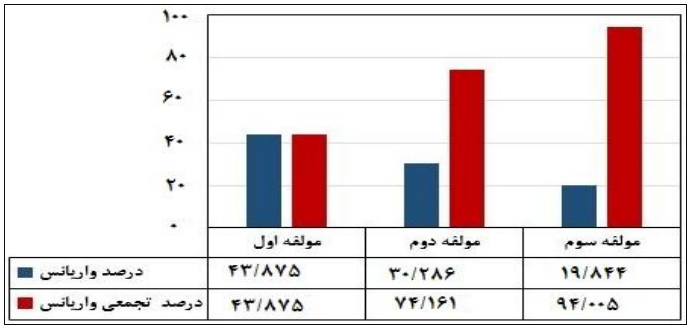
رویکرد مورد بررسی	مقادیر سطح زیر منحنی (AUC)			
	کل و بز	جبیر	قوچ و میش	پلنگ
تحلیل گتیس ارد جی	۰/۹۶۵	۰/۸۵۵	۰/۹۶۵	۰/۹۵۵
تحلیل موران محلی	۰/۶۴۵	۰/۵۸۵	۰/۹۷۵	۰/۹۹۵

تحلیل لکه‌های داغ زیستگاهی برای گونه‌های هدف با سنجه‌های سیمای سرزمین نشان داد که برای جبیر و پلنگ، میانگین مساحت کاهش‌یافته؛ اما برای کل و بز در کلاس دوم افزایش و سپس کاهش‌یافته است. نسبت محیط -مساحت

برای کل و بز و جبیر روند افزایشی و برای قوچ و میش و پلنگ روندی متغیر (افزایش سپس کاهش) داشته است. میانگین فاصله از نزدیک‌ترین همسایه برای جبیر و پلنگ کاهش و برای قوچ و میش و کل و بز ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است که نزدیکی لکه‌ها را در برخی طبقات نشان می‌دهد. لکه‌های زیستگاهی کل و بز بیشترین پیوستگی را دارند. به طور کلی، این شاخص در تمامی طبقات زیستگاهی بیش از ۰/۵ است. جبیر و قوچ و میش در کلاس‌های با اهمیت بیشتر، پیچیدگی بالاتری دارند، در حالی که پیچیدگی لکه‌های پلنگ در طبقه سوم کمتر است.

شاخص بعد فراکتال نشان داد که که لکه‌های زیستگاهی برای تمامی گونه‌ها سطح پیچیدگی تقریباً مشابهی دارند و سطح پیچیدگی لکه‌های زیستگاهی تمام گونه‌های مورد بررسی متوسط است. لکه‌های زیستگاهی گونه‌های هدف در طبقات مختلف مساحت متفاوتی دارند. با افزایش مساحت، تراکم کاهش و تکه‌تکه‌شدگی افزایش می‌یابد. اندازه مؤثر شبکه برای تمامی گونه‌ها روند کاهشی داشته که نشان‌دهنده افزایش تکه‌تکه‌شدگی است. شاخص بزرگ‌ترین لکه درصد مشابهی از سیمای سرزمین را برای گونه‌ها نشان می‌دهد، اما در کلاس دوم برای کل و بز و پلنگ کمترین مقدار را دارد. برای کل و بز در کلاس اول، برای جبیر در کلاس سوم، و برای قوچ و میش و پلنگ در کلاس دوم بیشترین فراوانی لکه‌های زیستگاهی ثبت شده است. شاخص جداشدگی لکه‌ها برای کل و بز، جبیر، و قوچ و میش روند افزایشی، و برای پلنگ ابتدا افزایش و سپس کاهش داشته است. شاخص تجمع برای گونه‌های هدف بالای ۹۶ درصد است و نشان‌دهنده پیوستگی مطلوب لکه‌ها در تمامی طبقات است.

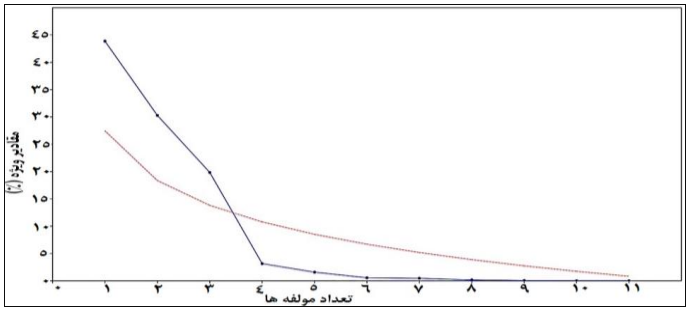
بر اساس نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی، سه مولفه اصلی استخراج شد که مولفه اول ۴۳/۸۷۵ درصد کل واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهد و هر سه مولفه با یکدیگر بیش از ۹۴ درصد واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند (شکل۱۱).



	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم
درصد واریانس	۴۳/۸۷۵	۳۰/۲۸۶	۱۹/۸۴۴
درصد تجمعی واریانس	۴۳/۸۷۵	۷۴/۱۶۱	۹۴/۰۰۵

شکل ۱۱. نمودار درصد واریانس کل و تجمعی مربوط به مؤلفه‌های اصلی معیارهای سیمای سرزمین. این نمودار بیانگر اهمیت ساختار و پیوستگی فضایی لکه‌های زیستگاهی بر پایداری محیط‌زیست است.

اگرچه می‌توان مؤلفه‌های اصلی را بر اساس مقادیر واریانس داده‌ها شناسایی کرد، اما تعیین آستانه حذف تنها بر پایه مفهوم ادراکی چندان دقیق نیست و نیازمند استفاده از آزمون‌های خاص است. در این پژوهش، برای تعیین دقیق تعداد مؤلفه‌ها از آزمون اسکری یا غربالگری استفاده شد. این آزمون با ترسیم مقادیر ویژه در برابر شماره مؤلفه‌ها انجام گرفت (شکل ۱۲). نتایج نشان داد که تنها سه مؤلفه اول دارای مقادیر ویژه بالاتر از پنج هستند، در حالی که برای سایر مؤلفه‌ها، شیب نمودار به روندی ثابت می‌رسد.



شکل ۱۲. نمودار اسکری برای تعیین تعداد مولفه‌های اصلی (محور افقی تعداد مولفه ها و محور عمودی مقادیر ویژه را نشان می‌دهد)

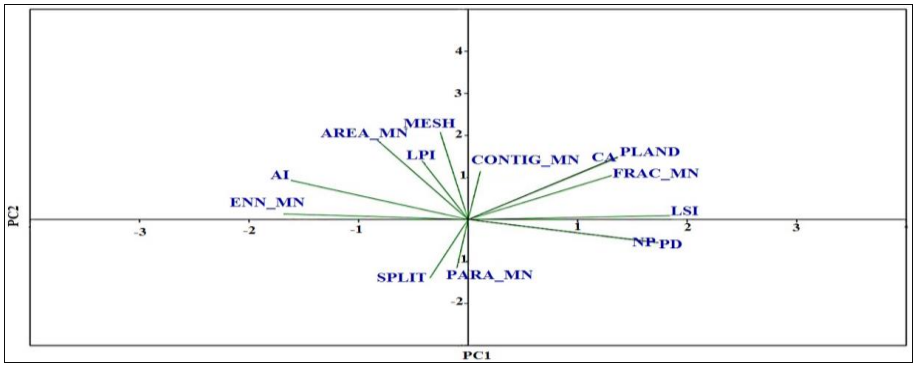
جدول ۶ بارهای عاملی مربوط به مولفه‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول مشخص است برای مولفه اول سه معیار شاخص شکل سیمای سرزمین، تعداد لکه و تراکم لکه، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند و در یک گروه قرار می‌گیرند. معیارهای اندازه موثر شبکه و میانگین مساحت لکه نیز در یک گروه و در زیر مجموعه مولفه دوم قرار می‌گیرند. در مولفه سوم دو شاخص پیوستگی و شاخص جداشدگی بیشترین مقدار را دارند و در یک گروه قرار می‌گیرند.

جدول ۶. بارهای عاملی چرخش یافته

معیارها	مولفه‌ها		
	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم
مساحت کلاس	۰/۷۳۰۸۸	۰/۶۶۲۱۱	-۰/۰۰۰۵۳۶۸۸
درصد سیمای سرزمین	۰/۷۳۳۹۲	۰/۶۵۷۷۴	-۰/۰۰۰۲۵۶۷۴
تعداد لکه[1]	۰/۹۲۸۷	-۰/۲۴۷۶۸	-۰/۱۸۷۴۶
تراکم لکه[2]	۰/۹۳۳۲۶	-۰/۲۴۶۱۳	-۰/۱۷۹۱۶
شاخص بزرگ‌ترین لکه	-۰/۲۲۶۰۳	۰/۶۲۲۲۲	-۰/۶۵۳۲۱
شاخص شکل سیمای سرزمین[3]	۰/۹۸۸۴۷	۰/۰۴۰۲۶۸	۰/۱۲۴۵۸
میانگین مساحت لکه	-۰/۴۴۵۰۱	۰/۸۴۱۳۱	۰/۱۵۷۹۲
میانگین بعد فراکتال	۰/۷۰۲۵۴	۰/۴۶۵۱۴	۰/۲۷۵۸۷
میانگین نسبت محیط به مساحت	-۰/۰۵۵۳۱	-۰/۵۱۳۰۹	-۰/۸۴۳۰۳
شاخص پیوستگی	۰/۰۵۹۸۴۲	۰/۵۱۰۴۹	۰/۸۴۷۳۵
میانگین فاصله نزدیکترین همسایه	-۰/۹۰۳۲۷	۰/۰۵۹۷۹	۰/۲۵۰۹۴
اندازه موثر شبکه	-۰/۱۳۶۶۲	۰/۹۲۴۲۳	-۰/۳۱۹۷۸
شاخص جداشدگی	-۰/۱۸۶۸۷	-۰/۶۱۹۹۲	۰/۷۳۱۳۱
شاخص تجمع	-۰/۸۶۰۴۷	۰/۴۱۰۲۱	-۰/۱۹۷۴

شکل ۱۲ نمودار دو بعدی مربوط به دو مولفه اول، تحلیل معیارهای سیمای سرزمین را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، متغیرهای مساحت کلاس (CA)[4]، درصد سیمای سرزمین (PLAND)[5] و میانگین بعد فراکتال (FRAC_MN)[6] دارای همبستگی مثبت هستند. این معیارها برای توجیه واریانس در طول مولفه اول دارای اهمیت یکسان هستند. درصورتی‌که معیارهای شاخص تجمع (AI)[7] و فاصله اقلیدسی نزدیکترین همسایه[8] (ENN_MN) با معیارهای بیان شده در بالا دارای همبستگی منفی هستند و برای توجیه واریانس در مولفه دوم، از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. معیارهای اندازه موثر شبکه[9] (MESH)، میانگین مساحت لکه (AREA_MN)[10]، شاخص یزرگترین لکه (LPI)[11]، و شاخص پیوستگی (CONTG_MN)[12] دارای همبستگی مثبت با یکدیگر هستند و با سایر معیارها همچون PLAND همبستگی منفی دارند و برای توجیه واریانس در هر دو مولفه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. معیارهای شاخص جداشدگی (SPLIT)[13]، نسبت محیط به مساحت لکه (PARA_MN)[14] با سایر معیارها دارای همبستگی منفی هستند.

1. Number of Patches (NP)
2. Patch Density (PD)
3. Landscape Shape Index (LSI)
4. Class Area (CA)
5. Percentage of Landscape (PLAND)
6. Mean of Fractal Deminition (FRAC_MN)
7. Aggregation Index (AI)
8. Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN_MN)
9. Effective Mesh Size (MESH)
10. Mean Patch Area (AREA_MN)
11. Largest Patch Index (LPI)
12. Mean Contiguity Index (CONTG_MN)
13. Splitting Index (SPLIT)
14. Mean Perimeter-Area Ratio (PARA_MN)



شکل ۱۲. نمودار دوبعدی تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به طور واضح روابط میان متغیرهای سیمای سرزمین را نشان می‌دهد. این نمودار به شناسایی معیارهایی که بیشترین اثر را بر ارتباط فضایی لکه‌ها دارند، کمک می‌کند و می‌تواند در طراحی کریدورهای حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد.

بحث

مدل‌سازی کیفیت زیستگاه‌ها برای گونه‌های هدف در استان یزد، نتایج مهم و قابل تأملی را به همراه دارد. این مدل‌ها نشان می‌دهند که توزیع کیفیت زیستگاه‌ها به شدت تحت تأثیر عوامل انسانی و محیطی است. زیستگاه‌های مطلوب گونه‌های مورد مطالعه در مناطقی قرار دارند که فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، توسعه مسکونی و صنعتی در آن‌ها کمتر است. این امر نشان‌دهنده تأثیرات منفی فعالیت‌های انسانی بر کیفیت زیستگاه‌های طبیعی است. مدل‌سازی کیفیت زیستگاه و تحلیل تأثیرات فعالیت‌های انسانی بر آن، موضوعی است که در بسیاری از مطالعات محیط‌زیستی به آن پرداخته شده است. در مطالعات مشابه، نتایج معمولاً نشان می‌دهند که فعالیت‌های انسانی نظیر توسعه کشاورزی، صنعتی و مسکونی به کاهش کیفیت زیستگاه‌های طبیعی منجر می‌شوند. مطالعات عبداللهی (۱۴۰۲) و نعمت‌الهی و همکاران (۱۳۹۸) نیز زیستگاه مطلوب گونه‌های مورد بررسی را را در مناطقی دور از مناطق انسان‌ساخت ارزیابی نمودند.

این یافته‌ها، اهمیت مدیریت دقیق این مناطق را در برنامه‌های حفاظتی و محیط‌زیستی برجسته می‌کند. توسعه ناپایدار در مناطق کشاورزی و مسکونی می‌تواند به تخریب بیشتر زیستگاه‌ها و کاهش کیفیت زندگی گونه‌های حیات وحش منجر شود (Brain& Anderson, 2020). همچنین هم‌پوشانی نقشه‌های کیفیت زیستگاه و مناطق حفاظت شده استان نشان می‌دهد که زیستگاه‌های مطلوب گونه‌های مورد بررسی کاملا بر مناطق حفاظت شده منطبق است. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که گونه‌هایی مانند کل و بز، قوچ و میش، و پلنگ ترجیح می‌دهند در مناطقی که فشارهای انسانی کمتر است، زیست کنند. این الگوهای زیستگاهی نشان می‌دهد که این گونه‌ها نیازمند زیستگاه‌های وسیع و کم‌تراکم با فعالیت‌های انسانی هستند. این موضوع بر اهمیت حفاظت از مناطق بکر و دست‌نخورده تأکید دارد.

یکی از نکات کلیدی در مدل‌سازی کیفیت زیستگاه، توجه به تأثیرات تجمعی فعالیت‌های انسانی است. حتی در مناطقی که فعالیت‌های انسانی پراکنده است، تجمع این فعالیت‌ها می‌تواند به کاهش کیفیت زیستگاه‌ها منجر شود (Bodo et al., 2021). این تأثیرات تجمعی در مناطق نزدیک به شهرها و روستاها بیشتر مشاهده می‌شود؛ بنابراین، مدل‌سازی کیفیت زیستگاه‌ها باید به طور هم‌زمان تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم فعالیت‌های انسانی را در نظر بگیرد. یکی دیگر از کاربردهای مهم مدل‌سازی کیفیت زیستگاه، ارزیابی تأثیرات طرح‌های توسعه‌ای و زیرساختی است. با استفاده از این مدل‌ها، می‌توان پیش از اجرای طرح‌های عمرانی، اثرات احتمالی آن‌ها بر زیستگاه‌ها را ارزیابی و در صورت نیاز، تغییرات لازم در طراحی‌ها اعمال کرد تا کمترین آسیب به محیط‌زیست وارد شود (Hack et al., 2020).

شناسایی لکه‌های داغ زیستگاهی، یکی از مراحل کلیدی در این مطالعه است که به شناسایی مناطق بااهمیت بالا برای حفاظت از تنوع زیستی کمک می‌کند. این لکه‌های داغ مناطقی هستند که زیستگاه‌های مطلوب گونه‌های هدف در آن‌ها متمرکز شده و معمولاً تحت‌تأثیر عوامل تهدید زای محیطی و انسانی قرار دارند.

تحلیل‌های مکانی لکه‌های داغ نشان می‌دهد که مناطق با اهمیت زیستی بالا نیازمند اقدامات حفاظتی فوری و مؤثر

هستند. این اقدامات می‌تواند شامل ایجاد مناطق حفاظت‌شده جدید، تقویت قوانین حفاظت از محیط‌زیست، و کاهش فشارهای انسانی از طریق محدودکردن توسعه در این مناطق باشد. همچنین، این نتایج می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تخصیص منابع حفاظتی و مالی در برنامه‌های حفاظت از تنوع زیستی استفاده شود (شیخی ئیلانلو، ۱۳۹۵).

شناسایی لکه‌های داغ زیستگاهی می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای اولویت‌بندی مناطق حفاظت‌شده جدید استفاده شود. مناطقی که به‌عنوان لکه‌های داغ زیستگاهی شناسایی شده‌اند، باید در اولویت برنامه‌های حفاظتی قرار گیرند تا از تخریب بیشتر آن‌ها جلوگیری شود. این مناطق می‌توانند به‌عنوان کانون‌هایی برای تلاش‌های حفاظتی در سطح ملی و محلی در نظر گرفته شوند (وزیری نهاد و همکاران، ۱۴۰۰). از سوی دیگر، تحلیل لکه‌های داغ زیستگاهی می‌تواند به برنامه‌ریزی توسعه پایدار کمک کند. با شناسایی مناطق حساس از نظر محیط‌زیستی، می‌توان از توسعه ناپایدار و تخریب زیستگاه‌های طبیعی جلوگیری کرد. این امر به‌ویژه در مناطقی که توسعه سریع اقتصادی و جمعیتی در حال رخ دادن است، اهمیت بیشتری دارد (محمدپور و همکاران، ۱۴۰۲). یکی دیگر از کاربردهای این تحلیل، ارزیابی تأثیرات فعالیت‌های انسانی بر زیستگاه‌ها و ارائه راهکارهایی برای کاهش این تأثیرات است. بر طبق منحنی مشخصه عملکرد مربوط به این دو رویکرد، میزان تطابق این رویکردها با واقعیت زمینی بسیار بالا است که در مطالعات دیگر و در زمینه سایر پدیده‌های محیطزیستی نیز این موضوع تایید شده است (عبداللهی و همکاران، ۱۴۰۰؛ Saeidi et al., 2017).

افزایش تعداد و تراکم لکه‌ها با افزایش اهمیت زیستگاهی نشان‌دهنده تکه‌تکه‌شدن بیشتر زیستگاه‌ها در مناطق با اهمیت بالاتر است. تکه‌تکه‌شدن زیستگاه‌ها می‌تواند تأثیرات منفی گسترده‌ای بر پایداری اکوسیستم‌ها و بقای گونه‌های حیات‌وحش داشته باشد. تکه‌تکه‌شدن زیستگاه‌ها ممکن است منجر به کاهش ارتباطات بین جمعیت‌های مختلف یک‌گونه شود که این امر می‌تواند به کاهش تنوع ژنتیکی و افزایش خطر انقراض منجر شود (Lino et al., 2019).

تحلیل لکه‌های داغ زیستگاهی برای گونه‌های هدف با نرم‌افزار فرگستس نشان داد که سنجه‌های سیمای سرزمین ارتباط مهمی با تکه‌تکه شدگی و پیوستگی زیستگاه‌ها دارند. با افزایش اهمیت لکه‌های داغ، تعداد و تراکم آن‌ها برای تمامی گونه‌ها افزایش‌یافته است که نشانه پراکندگی بیشتر لکه‌های زیستگاهی است.

لکه‌های زیستگاهی با اهمیت بالاتر، معمولاً دارای پیچیدگی بیشتر و فشردگی کمتری هستند. این امر می‌تواند نشان‌دهنده حفظ زیستگاه‌های با کیفیت بالا در مقابل فشارهای انسانی و محیطی باشد (عبداللهی، ۱۴۰۲). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که لکه‌های زیستگاهی با اهمیت بالاتر، معمولاً دارای پیوستگی بیشتری هستند که این امر می‌تواند به بقای گونه‌ها و پایداری زیستگاه‌ها کمک کند. براین‌اساس، حفظ تنوع زیستی مستلزم بررسی همه‌جانبه و متعادل سود و هزینه برای لکه‌های زیستگاهی است. سارکار و همکاران (۲۰۱۸) و نتیوکی و همکاران (۲۰۲۲) نیز در مطالعات خود به ترتیب در هند (Sarkar et al., 2018) و غرب آفریقا (Ntukey et al., 2022)، بر اهمیت مناطق با فشار انسانی کمتر و پیوستگی بالای زیستگاهی برای حفاظت از تنوع زیستی تأکید کرده‌اند. بااین‌حال، سارکار و همکاران (۲۰۱۸) از روش چند مقیاسی برای تحلیل استفاده کرده‌اند (Sarkar et al., 2018)، درحالی‌که در مطالعه حاضر از تحلیل مؤلفه‌های اصلی بهره گرفته شده است. همچنین در مقایسه با مطالعه نتیوکی و همکاران (۲۰۲۲)، تمرکز مطالعه حاضر بیشتر بر کاربرد سنجه‌های سیمای سرزمین برای شناسایی لکه‌های داغ زیستگاهی بوده، درحالی‌که مطالعه غرب آفریقا (Ntukey et al., 2022) بر ارزیابی عملکرد خود سنجه‌ها متمرکز است و سیماهای سرزمین تکه‌تکه شده را به‌عنوان متغیر اصلی تحلیل کرده، درحالی‌که این مطالعه، به تحلیل تأثیرات انسانی بر زیستگاه‌های وسیع نیز پرداخته شده است.

نتایج نشان می‌دهد که لکه‌های زیستگاهی با اهمیت بالاتر معمولاً دارای جداشدگی کمتری هستند که این امر به معنای ارتباطات قوی‌تر بین این لکه‌ها است. این ارتباطات قوی می‌تواند به حفظ تنوع زیستی و کاهش اثرات منفی تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها کمک کند (Fahrig et al., 2019). اینکوم و همکاران (۲۰۱۸) نیز بر اهمیت ارتباطات زیستگاهی و جلوگیری از تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها را برای حفظ گونه‌های بزرگ‌جثه مانند فیل‌ها تاکید کرده‌اند (Inkoom et al., 2018). با این وجود، آن‌ها در مطالعه خود، تغییرات کاربری زمین و اثرات آن در مسیرهای مهاجرت فیل را بررسی کرده‌اند در حالی‌که مطالعه حاضر بر تحلیل لکه‌های زیستگاهی و تأثیر تجمعی فعالیت‌های انسانی متمرکز است. به طور کلی مقایسه نتایج این مطالعه با

سایر مطالعات بیانگر این است که روش‌های ترکیبی و چندمقیاسی می‌توانند به درک عمیق‌تر الگوهای زیستگاهی و تدوین سیاست‌های حفاظتی کمک کنند.

مناطقی که دارای لکه‌های زیستگاهی با اهمیت بالا و پیوستگی بیشتر هستند، باید در اولویت برنامه‌های حفاظتی قرار گیرند. همچنین، این نتایج می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی اثربخشی برنامه‌های حفاظتی و شناسایی مناطق نیازمند توجه بیشتر استفاده شود.

شاخص‌های سیمای سرزمین مانند پیوستگی و تراکم لکه‌ها، نقش کلیدی در تعیین کیفیت و پایداری زیستگاه‌ها ایفا می‌کنند. افزایش تراکم لکه‌ها در برخی مناطق، نشان‌دهنده تکه‌تکه‌شدن زیستگاه و کاهش ارتباطات اکولوژیکی است (Lin et al., 2017). این موضوع می‌تواند تأثیرات منفی بر پویایی جمعیت‌ها و کاهش تنوع زیستی داشته باشد. به همین دلیل، برنامه‌های حفاظتی باید بر حفظ و تقویت پیوستگی زیستگاه‌ها تمرکز کنند.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی معیارهای سیمای سرزمین یک ابزار آماری مؤثر برای کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی الگوهای اصلی در آن‌ها است. این تحلیل به شناسایی مؤلفه‌هایی که بیشترین واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند، کمک می‌کند و به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که با تمرکز بر مؤلفه‌های کلیدی، درک بهتری از ساختار داده‌ها به دست آورند.

نتایج تحلیل نشان می‌دهد که معیارهای پیچیدگی و پراکندگی لکه‌های زیستگاهی در مؤلفه اول بیشترین اهمیت را دارند. این موضوع حاکی از اهمیت مدیریت این معیارها در برنامه‌های حفاظتی است، زیرا افزایش تعداد و تراکم لکه‌ها، می‌تواند منجر به تکه‌تکه‌شدن زیستگاه‌ها و کاهش پیوستگی آن‌ها شود که این امر خطر انقراض گونه‌ها و کاهش تنوع زیستی را افزایش می‌دهد.

بر اساس این نتایج، یکی از پیشنهادهای عملی استفاده ازمؤلفه‌های اصلی در طراحی و ارزیابی برنامه‌های حفاظتی است. با تمرکز بر مولفه‌های کلیدی، می‌توان برنامه‌های مدیریتی را به‌گونه‌ای طراحی کرد که بر حفظ پیچیدگی و پیوستگی زیستگاه‌ها تأکید داشته باشند. همچنین این مؤلفه‌ها می‌توانند برای ارزیابی اثربخشی برنامه‌ها و شناسایی مناطق نیازمند توجه بیشتر به کار روند.

نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌تواند به بهبود سیاست‌های حفاظتی و مدیریتی کمک کند. مناطقی که مؤلفه‌های کلیدی با اهمیت بالا دارند باید در اولویت برنامه‌های حفاظتی قرار گیرند. این نتایج همچنین می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در زمینه حفاظت از زیستگاه‌ها و تنوع زیستی باشد.

در نهایت، تحلیل مؤلفه‌های اصلی معیارهای سیمای سرزمین باید به طور مستمر انجام شود تا تغییرات در الگوهای مکانی زیستگاه‌ها پایش و برنامه‌های حفاظتی بر اساس آن‌ها به‌روزرسانی شود. این رویکرد می‌تواند به حفظ تنوع زیستی و کاهش اثرات منفی فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی کمک کند.

نتیجه‌گیری

استان یزد، به‌عنوان یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، با چالش‌های جدی در حفاظت از زیستگاه‌های طبیعی و تنوع زیستی مواجه است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی، نظیر کشاورزی، ساخت جاده‌ها و گسترش سکونتگاه‌ها، کاهش کیفیت زیستگاه‌ها و ازدست‌رفتن پیوستگی آن‌ها را به دنبال داشته است. این عوامل به‌ویژه گونه‌هایی مانند پلنگ ایرانی و جبیر را که به زیستگاه‌های وسیع و ایمن نیاز دارند، در معرض خطر قرار داده‌اند. استفاده از ابزارهایی مانند مدل InVEST و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) در این پژوهش به شناسایی ارتباط پیچیده بین عوامل زیستگاهی و تهدیدات محیطی کمک کرده است. همچنین، این رویکرد چندگونه‌ای، درکی جامع‌تر نسبت به مطالعات متمرکز بر یک‌گونه ارائه می‌دهد. بر اساس نتایج، حفاظت از زیستگاه‌های بکر و کاهش فشارهای انسانی از طریق برنامه‌های هدفمند، نظیر ایجاد کریدورهای زیستگاهی برای پیوستگی جمعیت‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گونه‌های شکارچی بزرگ مانند پلنگ نیازمند زیستگاه‌های گسترده با منابع پایدار هستند، درحالی‌که علف‌خوارانی مانند جبیر به مراتع ایمن و غنی وابسته‌اند.

مدل InVEST علی‌رغم کارآمدی، محدودیت‌هایی دارد، از جمله عدم لحاظ تغییرات زمانی تهدیدها و وابستگی شدید به

کیفیت نقشه‌های کاربری اراضی که می‌تواند بر دقت ارزیابی‌ها تأثیرگذار باشد. برای بهبود این مدل، جمع‌آوری داده‌های دقیق‌تر و توسعه ابزارهای پویا با درنظرگرفتن تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت و تحولات اقتصادی - اجتماعی ضروری است. این پژوهش، الگویی کاربردی برای مناطق مشابه فراهم می‌کند و بر همکاری مؤثر بین محققان، جوامع محلی و سازمان‌های مرتبط برای حفاظت از تنوع زیستی و گونه‌های در خطر انقراض تأکید دارد.

منابع

انصاری، امیر (۱۴۰۰). ارزیابی توسعه شبکه مناطق حفاظتی استان مرکزی با استفاده از سنجه های سیمای سرزمین. *مجله بوم‌شناسی کاربردی*، *۱۰* (۳)، ۶۵-۸۰. doi: 10.47176/ijae.10.3.9365

بدراق‌نژاد، ایوب؛ سجادی، سعید؛ پیره، مهین (۱۳۹۹). سنجش دمای روی زمین در ارتباط با مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از زمین‌آمار در محیط (GIS) موردمطالعه: استان یزد. *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۴ (۲)، ۲۷۵-۲۹۴. doi: JGET-2002-1148(R1)

زارع بیدکی، قاسم (۱۳۹۲). بررسی کانون‌های تنوع زیستی در استان یزد. در: اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، (ص ۱۱۶۲۷). تهران. https://civilica.com/doc/257506

شیخی ئیلانلو، صیاد (۱۳۹۵). اهمیت نقاط داغ تنوع زیستی با تاکید بر جامعه پرندگان و معرفی مناطق موجود در ایران. نشریه دانشجویی زیست‌سپهر، ۱۱ (۴)، ۲۴- ۳۲. https://biosepehrsj. t.ac.ir/article_64665.html

صادقی‌روش، محمدحسن (۱۳۹۹). تحلیل سطوح توسعه‌یافتگی عملکردهای بیابان‌زدایی شهرستان‌های استان یزد با کاربرد مدل اسکالوگرام. *فصلنامه پایداری، توسعه و محیط‌زیست*، *۱* (۱)، ۱۵- ۲۸. dor: 20.1001.1.24233846.1399.1.1.2.6

عبداللهی، صدیقه (۱۴۰۲). ارزیابی کیفیت زیستگاه حیات وحش به‌منظور شناسایی لکه‌های زیستگاهی کلیدی با رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین. محیط‌زیست طبیعی، ۷۶ (ویژه‌نامه)، ۱۴۷-۱۶۲. doi: 10.2059/jne.2023.355036.2525

عبداللهی، صدیقه؛ ایلدرمی، علیرضا؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ فاخران، سیما (۱۴۰۰). ارزیابی الگوهای مکانی خدمات اکوسیستمی بر مبنای رویکرد تطبیقی مبتنی بر آمار فضایی در قسمت مرکزی استان اصفهان. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۱ (۱)، ۴۱-۵۴. doi: 10.22126/ges.2021.5957.2326

محمدپور، ندا؛ جهانی شکیب، فاطمه؛ اسداللهی، زهرا (۱۴۰۲). مدل‌سازی عرضه خدمت زیستگاهی و داده کاوی فضایی نقاط داغ در اکوسیستم های مناطق خشک. محیط‌شناسی، ۴۹ (۱)، ۳۳-۴۹. doi: 10.22059/jes.2023.343520.1008322

نعمت‌الهی، شکوفه؛ فاخران، سیما؛ جعفری، علی؛ رئیسی، تورج؛ پورمنافی، سعید (۱۳۹۸). برنامه‌ریزی سیمای سرزمین برای حفاظت بر مبنای مدل کیفیت زیستگاه InVEST و اثرات بوم‌شناختی شبکه جاده‌ای در استان چهارمحال‌وبختیاری. *بوم‌شناسی کاربردی*، *۸* (۴)، ۶۷-۸۱. doi: 10.47176/ijae.8.4.8912

وزیری نهاد، آزاده؛ جوزی، سیدعلی؛ حجازی، رخشاد؛ شکری، محمدرض؛ ملماسی، سعید (۱۴۰۰). اولویت‌بندی لکه‌های حفاظتی در منطقه‌های ساحلی زیرحوضه کل-مهران استان هرمزگان با استفاده از ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری. علوم محیطی، ۱۹ (۱)، ۱۶۱-۱۷۶. doi: 10. 2547/envs.33616

References

Abdollahi, S. (2024). Habitat quality assessment of wild life to identify key habitat patches using landscape ecology approach. *Journal of Natural Environment*, *76* (Special Issue Protected Areas), 147-162. doi: 10.22059/jne.2023.355036.2525. (In Persian)

Abdollahi, S., Ildoromi, A., Salmanmahini, A., & Fakheran, S. (2021). Evaluating Spatial Patterns of Ecosystem Services based on a Comparative Approach on Spatial Statistics in the Central Part of Isfahan Province. *Geography and Environmental Sustainability*, *11*(1), 41- 54. doi: 10.22126/ges.2021. 5957.2326. (In Persian)

Abdollahi, S., Khalilzadeh, P., Zeilabi, E., & Lesbarrères, D. (2024). Spatial assessment of biodiversity and conservation priorities in Hamedan Province, Iran, using a landscape ecology approach. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, *14*, 358–371. https://doi.org/10.1007/s13412-024-00890-9

Abdollahi, S., Zeilabi, E., & Xu, C.C.Y. (2023). Habitat quality assessment based on local expert knowledge and landscape patterns for bird of prey species in Hamadan, Iran, *Modeling Earth Systems and Environment*, *10*, 2051–2061. doi: 10.1007/s40808-023-01896-y

Ansari, A. (2022). Assessment of the Conservation Area Network Development in Markazi Province Using Landscape Metrics. *Iranian Journal of Applied Ecology, 10*(3), 65-80. doi: 10.47176/ijae.10.3.9365. (In Persian)

Asadolahi, Z., Salmanmahini, A., Sakieh, Y., Mirkarimi, S.H., Baral, H., & Azimi, M. (2018). Dynamic trade-off analysis of multiple ecosystem services under land use change scenarios: Towards putting ecosystem services into planning in Iran. *Ecological Complexity*, *36*(4), 250-260. doi: 10.1016/j.ecocom.2018.09.003

Badraghnejad, A., Sajadi, S., & Pireh, M. (2021). Measuring the temperature of the Earth in relation to the DEM using geo statistics in (GIS) (Case Study: Yazd Province). *Geographical Engineering of Territory*, *4*(2), 275-294. doi: JGET-2002-1148(R1). (In Persian)

Bodo, T., Gimah, B. G., & Seomoni, K. J. (2021). Deforestation and habitat loss: Human causes, consequences and possible solutions. *Journal of Geographical Research*, *4*(2), 22-30. doi: 10.30564/jgr.v4i2.3059

Brain, R. A., & Anderson, J. C. (2020). Anthropogenic factors affecting wildlife species status outcomes: why the fixation on pesticides? *Environmental Science and Pollution Research*, 1-24. doi: 10.1007/s11356-020-08980-1

Diao, Y., Wang, J., Yang, F., Wu, W., Zhou, J. & Wu, R. (2021). Identifying optimized on-the-ground priority areas for species conservation in a global biodiversity hotspot. *Journal of Environmental Management*, 290, 112630. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112630

Fahrig, L., Arroyo-Rodríguez, V., Bennett, J.R., Boucher-Lalonde, V., Cazetta, E., Currie, D.J., Eigenbrod, F., Ford, A.T., Harrison, S.P., Jaeger, J.A., & Koper, N., (2019). Is habitat fragmentation bad for biodiversity? *Biological Conservation*, 230, 179-186. doi: 10.1016/j.biocon.2018.12.026

Ghayoumi, R., Charles, A.& Mousavi, S. M. (2023). A multi-level analysis of links between government institutions and communitybased conservation: insights from Iran. *Ecology and Society*, *28*(2),33. doi: 10.5751/ES-14217-280233

Gustafson, E.J. (1998). Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art*? Ecosystems*, *1* (2), 143–156. doi: 10.1007/s100219900011

Hack, J., Molewijk, D., & Beißler, M. R. (2020). A conceptual approach to modeling the geospatial impact of typical urban threats on the habitat quality of river corridors. *Remote Sensing*, *12*(8), 1345. doi: 10.3390/rs12081345

Inkoom, J. N., Frank, S., Greve, K., Walz, U., & Fürst, C. (2018). Suitability of different landscape metrics for the assessments of patchy landscapes in West Africa. *Ecological Indicators*, 85, 117-127. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.10.031

Jana, M., & Sar, N. (2016). Modeling of hotspot detection using cluster outlier analysis and Getis-Ord Gi* statistic of educational development in upper-primary level, India. *Modeling Earth Systems and Environment* 2(2), 1– 10. doi: 10.1007/s40808-016-0122-x

Lin, Y. P., Lin, W. C., Wang, Y. C., Lien, W. Y., Huang, T., Hsu, C. C., Schmeller, D. S., & Crossman, N. D. (2017). Systematically designating conservation areas for protecting habitat quality and multiple ecosystem services. *Environmental Modelling & Software*, 90, 126- 146. doi: 10.1016/j.envsoft.2017.01.003

Lino, A., Fonseca, C., Rojas, D., Fischer, E., & Pereira, M. J. R. (2019). A meta-analysis of the effects of habitat loss and fragmentation on genetic diversity in mammals. *Mammalian Biology*, 94, 69-76. doi: 10.1016/j.mambio.2018.09.006

McGarigal, K., Cushman, S.A.& Ene, E. (2012). *FRAGSTATS v4: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst Available at http://www.umass. edu/landeco/research/fragstats/fragstats

Mohammadpour, N., Jahanishakib, F., & Asadolahi, Z. (2023). Modeling the Supply of Habitat Service and Spatial Data Mining of Hotspots in Arid Ecosystems. *Journal of Environmental Studies*, *49* (1), 33-49. doi: 10.22059/jes.2023.343520.1008322. (In Persian)

Nematollahi, S., Fakheran, S., Jafari, A., Pourmanaf, S., & Kienast, F. (2022). Applying a systematic conservation planning tool and ecological risk index for spatial prioritization and optimization of protected area networks in Iran. *Journal of Nature Conservation*, *66*,126144. doi: 10.1016/j.jnc.2022.12614

Nematollahi, S., Fakheran, S., Kienast, F., & Jafari, A. (2020b). Application of InVEST habitat quality module in spatially vulnerability assessment of natural habitats (Case Study: Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 192,1–17. doi: 10.1007/s10661-020-08460-6

Nematollahi, Sh., Fakheran, S., Jafari. A., Reisi, T., & Pourmanafi, S. (2020). Landscape Planning for Conservation, Based on the InVEST Model of Habitat Quality and Ecological Impact Assessment of Road Network in Chaharmahal & Bakhtiari Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 8(4), 67-81. doi: 10.47176/ijae.8.4.8912 . (In Persian)

Newman, E. A., Kennedy, M. C., Falk, D. A., & McKenzie, D. (2019). Scaling and complexity in landscape ecology. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 293. doi: 10.3389/fevo.2019.00293

Noss, R. F., Platt, W. J., Sorrie, B. A., Weakley, A. S., Means, D. B., Costanza, J., & Peet, R. K. (2015). How global biodiversity hotspots may go unrecognized: lessons from the North American Coastal Plain. *Diversity and Distributions*, *21*(2), 236-244. doi: 10.1111/ddi.12278

Ntukey, L. T., Munishi, L. K., Kohi, E., & Treydte, A. C. (2022). Land use/cover change reduces elephant habitat suitability in the wami mbiki–saadani wildlife corridor, Tanzania. *Land*, *11*(2), 307. doi: 10.3390/land11020307

Prakash, S., & Verma, A. K. (2022). Anthropogenic activities and Biodiversity threats. *International Journal of Biological Innovations*, *4*(1), 94-103. doi: 10.46505/IJBI.2022.4110

Sadeghi Ravesh, M.H. (2020). Analyzing the Development Levels of Combating Desertification Operations Using Scalogram Model (Case Studies: Cities of Yazd Province). *Journal of Sustainability, Development and Environment*, *1*(1), 15-28. dor: 20.1001.1.24233846.1399.1.1.2.6. (In Persian)

Saeidi, S., Mohammadzadeh, M., Salmanmahini, A.& Mirkarimi, S. H. (2017). Performance evaluation of multiple methods for landscape aesthetic suitability mapping: A comparative study between multi-criteria evaluation, logistic regression and multilayer perceptron neural network. *Land Use Policy*, *67*, 1–12. doi: 10.1016/j.landusepol.2017.05.014

Sallustio, L., De Toni, A., Strollo, A., Di Febbraro, M., Gissi, E., Casella, L., Geneletti, D., Munafò, M., Vizzarri, M., & Marchetti. M. (2017). Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. *environmental management*, *201*, 129- 137. doi: 10.1016/j.jenvman.2017. 06.031

Sarkar, M.S., Pandey, A., Singh, G., Lingwal, S., John, R., Hussain, A., Rawat, G.S., & Rawal, R.S. (2018). Multiscale statistical approach to assess habitat suitability and connectivity of common leopard (*Panthera pardus*) in Kailash Sacred Landscape, India. *Spatial statistics*, *28*, 304-318. doi: 10.1016/j. spasta.2018.07.006

Schaafsma, M. (2021). Natural environment and human well-Being. In: Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Lange Salvia, A., Wall, T. (eds) *Life on Land*. (688-699). Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-95981-8_104

Sheykhi Ilanloo, S. (2017). The importance of hotspots with an emphasis on the community of birds and the introduction of areas in Iran. *Zist Sepehr Student Magazine*, *11*(4), 24-32. https://biosepehrsj.ut.ac.ir/ article_64665.html. (In Persian)

Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A, Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., & Pennington, D. (2014). *Integrated valuation of environmental services and tradeofs (InVEST) 3.1. 0 user's guide*. Natural Capital Project. https://naturalcapitalproject.stanford.edu/ software/invest&ved

Vaziri Nahad, A., Jozi, S. A., Hejazi, R., Shokri, M. R.& Malmasi, S. (2021). Prioritizing conservation patches in the coastal areas of Kal-Mehran sub-basin in Hormozgan province using a decision support tool. *Environmental Sciences*, *19*(1), 161-176. doi: 10.52547/envs.33616. doi: 10.52547/envs.33616. (In Persian)

Weinzettel, J., Vačkář, D., & Medková, H. (2018). Human footprint in biodiversity hotspots. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *16*(8), 447-452. doi: 10.1002/fee.1825

Zarandian, A., Baral, H., Stork, N.E., Ling, M.A., Yavari, A.R., Jafari, H.R.& Amirnejad, H. (2017). Modeling of ecosystem services informs spatial planning in lands adjacent to the Sarvelat and Javaherdasht protected area in northern Iran. *Land use Policy*, *61*(12), 487-500. doi: 10.1016/j.landusepol.2016.12. 003

Zare Bidaki. Q. (2013). Survey of biodiversity hotspots in Yazd provinc. In: *The first national conference on agriculture and sustainable natural resources*, (P. 11627). Tehran. https://civilica.com/doc/257506. (In Persian)