

## Habitat Risk Assessment of the Persian Leopard in Golestan National Park Using InVEST Model

Sedighe Abdollahi<sup>1</sup>, Maryam Morovati<sup>2\*</sup> 

1. Postdoctoral fellow, department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

2. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Environmental Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, P.O. Box 184, Ardakan, Iran & Water, Energy and Environment Research Institute, Ardakan University, P.O.Box184, Ardakan, Iran  
 Email: [Mymorovati@ardakan.ac.ir](mailto:Mymorovati@ardakan.ac.ir) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2225-0823>

Article Info	ABSTRACT
<p><b>Article type:</b>  <b>Research Article</b></p> <p><b>Article history:</b>  <b>Received:</b> 23 December 2024  <b>Revised:</b> 19 April 2025  <b>Accepted:</b> 29 April 2025  <b>Published:</b> 21 March 2026</p> <p><b>Keywords:</b>            Habitat Risk Assessment,            Golestan National Park, Persian Leopard, Human Threats, InVEST Model.</p>	<p>The Persian Leopard (<i>Panthera pardus saxicolor</i>) is a key carnivore species in Iran's ecosystems, playing a crucial role in maintaining ecological balance. This species faces numerous threats, including habitat destruction, poaching, declining natural prey populations, and pressure from human development. Golestan National Park, one of the leopard's key habitats, has recently been affected by human activities such as the expansion of agricultural lands, increased livestock grazing, road construction, and the growth of nearby villages. This study aims to identify and analyze sensitive habitat areas for the Persian leopard in Golestan National Park and to examine the impact of human factors on its habitat using the InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) model. In this research, four major human-induced threats were identified: agricultural lands, proximity to villages, livestock grazing, and roads. The results indicated that roads and access routes have the most significant negative impact on leopard habitats, with a cumulative risk percentage of 15.8% and a high consequence score (2.26). These factors are considered a major cause of habitat fragmentation, breaking up continuous habitats into isolated patches and limiting the safe movement of leopards. Furthermore, excessive livestock grazing, with a risk percentage of 12.56%, leads to vegetation degradation and reduces the food sources for the leopard's natural prey, such as wild goats and sheep. Agricultural lands, through the destruction of natural habitats and increasing human-wildlife interaction, have serious consequences for the habitat. Meanwhile, village proximity, with a 6.41% risk, escalates human-wildlife conflicts and increases the likelihood of leopards being killed by local communities in defence of their livestock. The results of this study not only emphasize the importance of preserving natural habitats but also provide a solid foundation for developing effective management strategies and planning for the conservation of endangered species.</p>

**How to Cite:** Abdollahi, S. and Morovati, M. (2026). Habitat Risk Assessment of the Persian Leopard in Golestan National Park Using InVEST Model. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 15(47), 23-44.



© The Ahutor/Ahutors

DOI: 10.22111/jneh.2025.50586.2090

**Publisher:** University of Sistan and Baluchestan

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **INTRODUCTION**

Natural habitats, as the foundation of biodiversity, are threatened by human activities and climate change. The Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor*), as one of Iran's iconic carnivore species, plays an indispensable role in maintaining the stability of natural ecosystems. This species, which is listed as endangered by the International Union for Conservation of Nature (IUCN), faces various threats including habitat destruction, illegal hunting, depletion of natural prey, and the expansion of human activities. Golestan National Park, due to its unique ecological features and high biodiversity, is recognized as one of the key habitats for the Persian leopard. This region, with its diverse vegetation and extensive biodiversity, is home to various plant and animal species. However, human pressures such as agricultural development, road construction, and overgrazing by livestock have significantly affected the quality of habitats in this area. In this context, habitat risk assessment serves as an effective tool for evaluating the consequences of these interventions and other habitat degradation factors. Therefore, in this study, habitat risks for the Persian leopard in Golestan National Park were assessed using the InVEST risk assessment model, and the threat factors were identified.

### **DATA AND METHODS**

To assess the habitat risk for the Persian leopard, spatial data related to land use, water resources distribution, road networks, and village locations were collected. Data on leopard presence, including 120 recorded points of tracks and scat, along with vegetation and slope maps, were entered into the analysis. The suitability map of the leopard's habitat was prepared using ecological factor analysis. The InVEST model was then used as a tool for evaluating the cumulative effects of human threats. This model employs two main indices—"exposure" and "consequence"—to assess habitat risk. Using this model, the cumulative effects of four major threat factors on the leopard's habitat—agricultural lands, proximity to villages, roads, and livestock grazing—were evaluated.

### **RESULTS AND DISCUSSION**

Data analysis revealed that roads and access routes, with a cumulative risk of 15.8%, have the most negative consequences on the leopard's habitat and are the primary cause of habitat fragmentation. Roads passing through the park fragment habitats and limit the safe movement of the leopard. Excessive livestock grazing, with a cumulative risk of 12.56%, severely degrades vegetation, reduces prey resources, and increases competition between domestic livestock and natural prey species such as wild goats and sheep, significantly reducing habitat quality. Agricultural lands, with a cumulative risk of 9.23%, were identified as a serious threat due to habitat destruction and increased human-wildlife interaction. The proximity of villages to the leopard's habitat also increases human-wildlife conflicts and raises the likelihood of poaching by local communities to protect livestock.

The study showed that the central areas of Golestan National Park, which have rich vegetation, adequate water resources, and limited human access, represent the best habitats for the Persian leopard. These findings align with similar studies in Iran and other parts of the world. For example, studies conducted in the Caucasus and Central Asia have shown that leopards prefer habitats with dense vegetation and limited human access. In this study, excessive livestock grazing was identified as the biggest threat, which, in addition to degrading vegetation, reduces prey resources and disrupts the food chain. The consequence of roads on the leopard's habitat was also significant. Roads not only increase traffic accidents but also divide habitats into separate patches, limiting safe movement for the leopard. Human interactions through agriculture and the proximity of villages also significantly affect the habitat, as they increase human-wildlife conflicts and exacerbate the risk of illegal hunting.

## CONCLUSION

To protect the Persian leopard's habitat in Golestan National Park, effective management measures are essential. Grazing management should include limiting the number of livestock in sensitive areas, designating areas with minimal consequence for grazing, and establishing cooperative programs with local communities to control grazing and provide economic incentives. Moreover, controlling agricultural development by limiting the expansion of agricultural lands around the park and promoting sustainable agriculture could reduce the negative effects on habitats. The construction of wildlife corridors along road routes and limiting vehicle traffic during specific hours are other proposed solutions. Increasing public awareness and educating local communities about the importance of leopard and habitat conservation is also crucial. Finally, continued research using advanced technologies such as satellite data and camera traps is recommended to improve the accuracy of analyses and identify long-term changes in habitat threats.

## REFERENCES

### References (in Persian)


- Abdollahi, S. (2024). Habitat quality assessment of wildlife to identify key habitat patches using landscape ecology approach, *Journal of Natural Environment*, 76(Special Issue Protected Areas), 147- 162. [In Persian].
- Abdollahi, S., Salman Mahini, A. (2016). Survey the Effect of Scale on Leopard (*Panthera Pardus Saxicolor*) Habitat Modeling in Golestan National Park, *Environmental Researches*. 6(11): 173-180. [In Persian].
- Abdollahi, S., Salman Mahini, A. (2019). Survey different scales for Identification of the habitats' parameters case study: Leopard of Golestan National Park, *Environmental Researches*. 9(18): 181-188. [In Persian].
- Kamyab, H., Bagheri, A., Shahbazi, A. (2020). Applying Electrical Circuit Theory to Optimizing Habitat Corridors for *Panthera Pardus Saxicolor* sp. in Golestan National Park. *Environmental Researches*, 10(20), 209-218. [In Persian].

### References (in English)

- 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(1), 358–371.
- 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(2), 2051-2061.
- Nematollahi, S., Fakheran, S., Kienast, F., Jafari, A. (2020). 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(8), 1–17.
- Rezazadeh, S., Jahani, A., Makhdoum, M., Meigooni, H. G. (2017). Evaluation of the strategic factors of the management of protected areas using SWOT analysis—Case study: Bashgol Protected Area-Qazvin Province. *Open Journal of Ecology*, 7(01), 55-68.
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., ChaplinKramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Grifn, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M., Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D., Douglass, J. (2020). InVEST 3.7.0 user's guide. The Natural Capital Project. Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. [https:// invest-userguide.readthedocs.io/en/3.5.0/](https://invest-userguide.readthedocs.io/en/3.5.0/).

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۵، شماره ۴۷، شماره پیاپی ۱، فروردین ۱۴۰۵

## ارزیابی ریسک زیستگاهی پلنگ ایرانی در پارک ملی گلستان با استفاده از مدل InVEST

صدیقه عبداللهی<sup>۱</sup>، مریم مروتی<sup>۲\*</sup> 

۱. پژوهشگر پسا دکتری، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران  
 ۲. دانشیار علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران و عضو پژوهشکده آب، انرژی و محیط زیست، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران (نویسنده مسئول)

ایمیل: [Mymorovati@ardakan.ac.ir](mailto:Mymorovati@ardakan.ac.ir) / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2225-0823>

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>پلنگ ایرانی (<i>Panthera pardus saxicolor</i>) به‌عنوان یکی از گونه‌های کلیدی گوشتخوار در اکوسیستم‌های ایران، نقش مهمی در حفظ تعادل اکوسیستم‌ها ایفا می‌کند. این گونه با تهدیدات متعددی از جمله تخریب زیستگاه، شکار غیرمجاز، کاهش طعمه‌های طبیعی و فشار ناشی از توسعه انسانی مواجه است. پارک ملی گلستان، به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های کلیدی پلنگ، در سال‌های اخیر تحت تأثیر عوامل انسانی مانند گسترش زمین‌های کشاورزی، افزایش دامداری، عبور جاده‌ها و گسترش روستاها قرار گرفته است. این پژوهش با هدف شناسایی و تحلیل مناطق حساس زیستگاهی پلنگ ایرانی در پارک ملی گلستان و بررسی تأثیر عوامل انسانی بر زیستگاه این گونه، از مدل اینوست (InVEST) بهره گرفته است. در این مطالعه، چهار تهدید انسانی کلیدی از قبیل زمین‌های کشاورزی، نزدیکی روستاها، چرای دام و جاده‌ها شناسایی شد. نتایج نشان داد که جاده‌ها و مسیرهای دسترسی با درصد ریسک تجمعی ۱۵/۸ درصد و پیامد بالا (۲/۲۶)، بیشترین اثر منفی را بر زیستگاه دارند و به‌عنوان یکی از عوامل اصلی گسست زیستگاهی شناخته می‌شوند. این گسست، زیستگاه‌های پیوسته را به قطعات جداگانه تبدیل کرده و جابه‌جایی ایمن پلنگ را محدود می‌کند. همچنین، چرای بیش‌ازحد دام با ۱۲/۵۶ درصد ریسک منجر به تخریب پوشش گیاهی و کاهش منابع غذایی طعمه‌های طبیعی پلنگ، نظیر کل و بز می‌شود. زمین‌های کشاورزی با تخریب زیستگاه طبیعی و افزایش تعامل انسان و حیات وحش، پیامدهای جدی بر زیستگاه دارند. درحالی که نزدیکی روستاها با ۶/۴۱ درصد ریسک، تعارضات انسان و حیات وحش را افزایش داده و خطر شکار پلنگ توسط جوامع محلی برای محافظت از دام‌ها را بیشتر می‌کند. نتایج این پژوهش نه تنها بر اهمیت حفظ زیستگاه‌های طبیعی تأکید دارد، بلکه زمینه‌ای مستحکم برای تدوین راهکارهای مدیریتی و برنامه‌ریزی مؤثر در جهت حفاظت از گونه‌های در معرض خطر انقراض فراهم می‌آورد.</p>	<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳                      تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰                      تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹                      تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱</p> <p>واژه‌های کلیدی:                      ارزیابی ریسک زیستگاهی، پارک ملی گلستان، پلنگ ایرانی، تهدیدات انسانی، مدل InVEST.</p>

استناد: عبداللهی، صدیقه و مروتی، مریم. (۱۴۰۵). ارزیابی ریسک زیستگاهی پلنگ ایرانی در پارک ملی گلستان با استفاده از مدل

InVEST. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۵(۴۷)، ۲۳-۴۴

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© نویسنده/ نویسندگان

DOI: 10.22111/jneh.2025.50586.2090



## مقدمه

مدیریت زیستگاه‌های طبیعی، به‌ویژه زمانی که این زیستگاه‌ها با تهدیدهای روزافزونی همچون تخریب سرزمین، آلودگی‌های محیط‌زیستی، تغییرات اقلیمی، گسترش شهرنشینی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی و نیز مخاطرات طبیعی همچون سیلاب، خشکسالی و آتش‌سوزی مواجه‌اند، یکی از چالش‌های اساسی در مسیر حفاظت از محیط‌زیست و تحقق توسعه پایدار به‌شمار می‌آید (Abdollahi et al., 2024). زیستگاه‌ها به‌عنوان زیربنای بسیاری از خدمات اکوسیستمی، نقش کلیدی در حفظ تنوع زیستی، تنظیم اقلیم و تأمین منابع طبیعی دارند (عبداللهی، ۱۴۰۲). با این حال، افزایش فعالیت‌های انسانی نظیر توسعه شهری، کشاورزی و استخراج منابع همراه با تغییرات اقلیمی، تهدیدهای جدی برای زیستگاه‌های طبیعی به‌وجود آورده است (مهرخو و همکاران، ۱۴۰۲).

در این راستا، ارزیابی ریسک زیستگاه گونه‌های جانوری، به‌ویژه گونه‌های در معرض خطر مانند پلنگ ایرانی، یکی از گام‌های اساسی در مدیریت پایدار مناطق حفاظت‌شده است. پلنگ ایرانی<sup>۱</sup> به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و شاخص‌ترین گوشتخواران در ایران، نقش مهمی در تنظیم ساختار و پویایی زیست‌بوم دارد. این گونه ارزشمند در فهرست سرخ<sup>۲</sup> اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت<sup>۳</sup> به‌عنوان گونه‌ای آسیب‌پذیر معرفی شده و در خطر انقراض قرار دارد (عبداللهی و سلمان ماهینی، ۱۳۹۴). عواملی مانند تخریب زیستگاه، شکار غیرمجاز، کاهش طعمه‌های طبیعی و گسترش فعالیت‌های انسانی، تهدیدی جدی برای بقای این گونه به‌شمار می‌آید. از این‌رو، شناسایی مناطق حساس و تحلیل ریسک‌های زیستگاهی در محدوده‌های حفاظت‌شده، نظیر پارک ملی گلستان، امری ضروری است (حسینی و همکاران، ۱۴۰۲).

پارک ملی گلستان، قدیمی‌ترین پارک ملی در ایران، به‌دلیل تنوع زیستی بالا و شرایط اکولوژیکی منحصربه‌فرد، یکی از زیستگاه‌های کلیدی برای پلنگ ایرانی به‌شمار می‌رود. این منطقه با پوشش گیاهی متنوع و تنوع زیستی گسترده، زیستگاه گونه‌های مختلف جانوری و گیاهی است. اما فشارهای انسانی از جمله بهره‌برداری غیرمجاز منابع طبیعی، توسعه زیرساخت‌ها و تغییر کاربری اراضی باعث تخریب زیستگاه‌ها و افزایش رقابت برای منابع شده است. به همین دلیل، شناسایی و ارزیابی عوامل تنش‌زا برای زیستگاه پلنگ در این پارک ملی می‌تواند به تدوین راهکارهای مدیریتی مؤثر و پایدار کمک کند (کامیاب و همکاران، ۱۳۹۸).

روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک زیستگاه‌ها وجود دارد که هر یک نقاط قوت و محدودیت‌های خاص خود را دارند. یکی از ابزارهای پیشرفته در این زمینه، مدل ارزش‌گذاری یکپارچه خدمات اکوسیستمی و تضادهای آنها<sup>۴</sup> است. این مدل، یک رویکرد کمی برای ارزیابی اثرات تجمعی عوامل استرس‌زای مرتبط با فعالیت‌های انسانی بر روی زیستگاه‌ها و گونه‌ها است و از یک رویکرد ثابت برای ارزیابی ریسک استفاده می‌کند. بر این اساس، از دو جنبه ریسک‌های وارد بر زیستگاه و بوم‌سازگان را کمی‌سازی نموده و ارزیابی می‌کند. این دو جنبه عبارت از در معرض قرارگیری و پیامد در معرض قرارگیری در برابر ریسک است. در معرض ریسک قرارگیری، بیانگر درجه‌ای است که یک زیستگاه یا گونه به اثربخشی شیوه‌های مدیریتی، یک عامل استرس‌زا را تجربه می‌کند (Sharp et al., 2020). در سال‌های اخیر، بسیاری از پژوهش‌ها به بررسی رابطه میان انواع پوشش و کاربری زمین با تنوع زیستی و

<sup>1</sup> Panthera pardus saxicolor

<sup>2</sup> Red List

<sup>3</sup> International Union for Conservation of Nature (IUCN)

<sup>4</sup> Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST)

سایر خدمات اکوسیستمی پرداخته‌اند (Li et al., 2021; Nematollahi et al., 2020; Aneseyee et al., 2020). همچنین، رویکردهای متعددی برای شناسایی مکان‌های اولویت‌دار در حفاظت که جنبه‌های مختلف تنوع زیستی را در بر می‌گیرند، توسعه یافته‌اند (Kandziora et al., 2013; Baral et al., 2013). با این حال، تشدید مداخلات انسانی نظیر توسعه زیرساخت‌ها، تغییر کاربری اراضی، و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع، موجب کاهش یکپارچگی ساختاری و عملکردی زیستگاه‌هایی شده است که زمینه‌ساز پایداری تنوع زیستی هستند (Rezazadeh et al., 2017). در این میان، ارزیابی ریسک زیستگاه به‌عنوان رویکردی نوین و کارآمد، می‌تواند پیامدهای ناشی از این تهدیدات را بر سلامت و کارکرد زیستگاه‌ها بررسی کرده و مناطق حساس از نظر زیستی را شناسایی کند. مطالعه‌ای با هدف بهبود دقت و جامعیت در ارزیابی ریسک زیستگاه‌ها، به بررسی نقش خدمات اکوسیستمی به‌عنوان شاخصی برای تاب‌آوری با استفاده از مدل ارزیابی ریسک InVEST پیشنهاد می‌کند که کاربرد مدل‌های ارزیابی ریسک همراه با شاخص‌های خدمات اکوسیستمی می‌تواند ابزار مؤثری در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی، اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی و سیاست‌گذاری در حوزه محیط‌زیست باشد (Caro et al., 2020). همچنین، مطالعه‌ی دیگری برای ارزیابی ریسک آلودگی آب زیستگاه‌های ساحلی تأیید می‌کند که مدل ارزیابی ریسک InVEST در ترکیب با نظرات کارشناسان، رویکردی شفاف و قابل تکرار برای ساخت دانش مبتنی بر خدمات اکوسیستمی درباره خطرات زیستگاه‌ها در سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی ساحلی و مصبی است که تحت فشار شدید خطرات آلودگی آب با ریسک بالا قرار دارند (Bastos et al., 2023). در ایران، با وجود اهمیت بالای موضوع، مطالعات محدودی در زمینه ارزیابی ریسک زیستگاه‌ها انجام شده است. بیشتر پژوهش‌ها بر پایش جمعیت گونه‌ها یا تغییرات کاربری زمین متمرکز بوده‌اند (دانشی و همکاران، ۱۳۹۹؛ نعمت‌الهی و همکاران، ۱۳۹۸)، در حالی که ارزیابی ساختارمند ریسک و تأثیرات تجمعی تهدیدها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این خلأ، لزوم انجام مطالعات جامع‌تر و هدفمندتر در این زمینه را نشان می‌دهد. بر این اساس، هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی کمی و مکانی ریسک زیستگاه پلنگ ایرانی در پارک ملی گلستان با استفاده از مدل ارزیابی ریسک InVEST است که ابزاری کارآمد برای تحلیل پیامدهای ناشی از تهدیدات انسانی بر سلامت بوم‌سازگان‌ها به‌شمار می‌رود. این مدل با بهره‌گیری از یک رویکرد کمی، امکان ارزیابی اثرات تجمعی عوامل تنش‌زای مرتبط با فعالیت‌های انسانی بر زیستگاه‌ها و گونه‌های زیستی را فراهم می‌سازد.

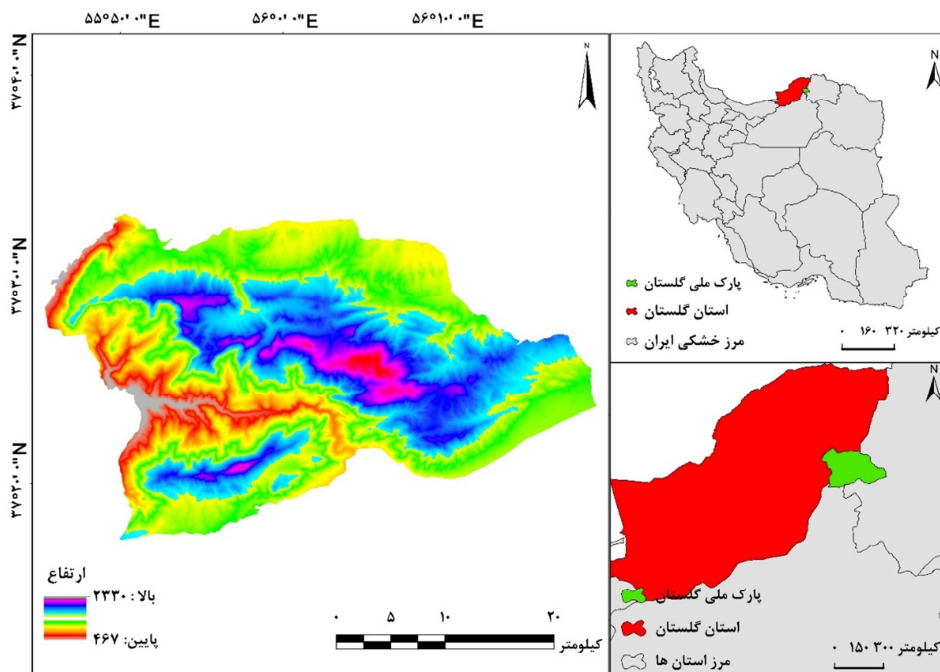
## داده‌ها و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

پارک ملی گلستان منطقه‌ای کوهستانی به وسعت ۳۱،۸۳۵ هکتار است که در شمال شرقی ایران، در مرز میان استان‌های خراسان، گلستان و سمنان واقع شده است (شکل ۱). این پارک شامل محدوده جغرافیایی بین عرض‌های شمالی ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۱ دقیقه و طول‌های شرقی ۵۵ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۱ دقیقه می‌باشد. پارک ملی گلستان، به‌عنوان شرقی‌ترین محدوده بیوم هیرکانی در ایران شناخته می‌شود (دانه‌کار و همکاران، ۱۴۰۳).

به‌دلیل تنوع بالای اجتماعات گیاهی در این منطقه، زیستگاه‌های متنوعی برای گونه‌های مختلف حیات وحش شکل گرفته است. تنوع زیستی غنی پارک شامل یک‌سوم از کل گونه‌های پرنندگان کشور، ۵۱ درصد از گونه‌های پستانداران و بیش از ۱،۳۵۰ گونه گیاهی است (تیموری، ۱۴۰۲). اهمیت بین‌المللی این منطقه نیز با ثبت آن در سال ۱۳۷۷ در

فهرست ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره جهانی تأیید شده است. با این حال، پارک گلستان با چالش‌های محیطی جدی همچون گسترش زمین‌های کشاورزی، مجاورت با روستاها، عبور جاده اصلی از میان آن و چرای بیش از حد دام مواجه است. این چالش‌ها، زیستگاه طبیعی گونه‌های کلیدی مانند پلنگ را به شدت تحت تأثیر قرار داده و تهدیدات قابل توجهی را متوجه پایداری اکوسیستم کرده است (عبداللهی و سلمان ماهینی، ۱۳۹۷).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی پارک ملی گلستان

### ارزیابی مطلوبیت زیستگاه پلنگ

در این پژوهش، برای تعیین زیستگاه‌های مناسب برای پلنگ، از روش تحلیل آشیان بوم‌شناختی با استفاده از نرم‌افزار بیومپر<sup>۱</sup> بهره گرفته شد. همچنین، نرم‌افزار ترست<sup>۲</sup> برای تحلیل حساسیت و تولید لایه‌های اطلاعاتی به منظور انتقال به نرم‌افزار به کار رفت. بررسی خصوصیت‌های بوم‌شناختی و رفتارشناسی گونه، یکی از عناصر کلیدی برای گردآوری داده‌های لازم در روش تحلیل آشیان بوم‌شناختی محسوب می‌شود (پلاشی، ۱۳۹۵). مطالعه ویژگی‌های بوم‌شناختی و رفتارشناسی گونه، به‌عنوان ارکان مهم در جمع‌آوری داده‌ها برای تحلیل آشیان بوم‌شناختی به‌شمار می‌رود. در این روش، نقشه‌هایی تحت عنوان عوامل مستقل محیطی به تحلیل وارد می‌شوند. این عوامل، بر اساس خصوصیت‌های گونه هدف و شرایط منطقه انتخاب می‌شوند (دهجی و همکاران، ۱۴۰۱؛ حسین‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۸). عوامل محیطی مستقل در این پژوهش، شامل توزیع طعمه‌های اصلی پلنگ همچون کل و بز، قوچ و میش، گراز، نقشه‌های شیب، جهت، مدل رقومی ارتفاعی<sup>۳</sup>، جاده‌ها، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی<sup>۱</sup> استخراج شده از ترکیب

<sup>۱</sup>Biomapper

<sup>۲</sup>TerrSet

<sup>۳</sup>Digital Elevation Model (DEM)

باند‌های ۴ و ۵ تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به ماه ژوئن ۲۰۲۴ (خردادماه، ۱۴۰۳) و منابع آبی مانند چشمه‌ها، آبشخورها و رودخانه‌ها هستند.

همچنین در این پژوهش، نقشه حضور پلنگ بر اساس ۱۲۰ نقطه حضور ثبت‌شده که با استفاده از شواهدی نظیر ردپا و سرگین شناسایی شده بود، به‌عنوان متغیر وابسته در تحلیل استفاده شد.

برای تحلیل عوامل مؤثر بر آشیان بوم‌شناختی در نرم‌افزار بیومپر، وجود متغیرهای مستقل و فاقد همبستگی ضروری است. به‌طور معمول پیشنهاد می‌شود که اگر میزان همبستگی بین دو یا چند متغیر بیش از ۰/۹ باشد، لازم است یکی از آن‌ها از لیست متغیرهای ورودی حذف گردد.

در این پژوهش، ماتریس همبستگی نقشه‌ها با استفاده از تحلیل باکس-کاکس<sup>۲</sup> در نرم‌افزار محاسبه شد. در این پژوهش، مقدار همبستگی کمتر از ۰/۹ به‌دست آمد و بنابراین، تمام متغیرها در تحلیل باقی ماندند.

تحلیل آشیان بوم‌شناختی خروجی‌های متعددی تولید می‌کند، از جمله ماتریس امتیازات که به استخراج معیارهایی مانند حاشیه‌گرایی، تخصص‌گرایی و تحمل‌گونه در برابر شرایط زیستگاهی کمک می‌کند. عامل حاشیه‌گرایی نشان می‌دهد که آیا گونه مورد نظر زیستگاه‌های خاصی را ترجیح می‌دهد یا در طیف گسترده‌تری از منابع زیستی زندگی می‌کند. این معیار از طریق فرمولی در نرم‌افزار بیومپر محاسبه می‌شود. عدد بزرگ‌تر از صفر و نزدیک به یک، بیانگر زیستگاهی متفاوت و محدودتر برای گونه است (Naqibzadeh et al., 2021).

عامل تخصص‌گرایی نیز نشان‌دهنده دامنه وضعیت‌های زیستی قابل‌تحمل برای گونه است و با انحراف معیار پراکندگی محیطی محاسبه می‌شود. گونه‌های متخصص معمولاً دامنه زیستی باریکی دارند و به زیستن در شرایط محدودتری گرایش دارند. به‌طور معکوس، تحمل‌پذیری نشان‌دهنده توانایی گونه برای زندگی در شرایط زیستگاهی متنوع‌تر است (Oca and Reyes, 2023).

برای تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه، از الگوریتم‌های نرم‌افزار بیومپر استفاده شد. این نقشه‌ها با شاخص پیوسته بویس طبقه‌بندی شدند. در نسخه چهارم نرم‌افزار بیومپر، این شاخص به انتخاب الگوریتم مناسب برای تهیه نقشه مطلوبیت کمک می‌کند؛ به‌طوری‌که شاخص بالاتر بویس و انحراف معیار کمتر، بیانگر الگوریتم بهینه‌تر است.

### ارزیابی ریسک زیستگاه<sup>۳</sup>

در این مطالعه، به‌منظور ارزیابی ریسک زیستگاه پلنگ، از مدل ارزیابی ریسک زیستگاه موجود در مجموعه ابزارهای InVEST استفاده شده است. این مدل با بهره‌گیری از دو مؤلفه اصلی، یعنی مواجهه<sup>۴</sup> و پیامدها<sup>۵</sup> به ارزیابی و پیش‌بینی میزان ریسک ناشی از فعالیت‌های انسانی مختلف بر زیستگاه‌ها و گونه‌های وابسته به آن‌ها می‌پردازد. هر یک از این توابع، بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای از پیش تعریف‌شده امتیازدهی می‌شوند. تابع مواجهه، نشان‌دهنده میزان تماس یا مواجهه یک زیستگاه با منابع تهدیدزا است. برای برآورد این مواجهه، معیارهایی نظیر شدت بهره‌برداری از زیستگاه، نوع استراتژی مدیریتی (نظیر مناطق حفاظت‌شده یا آزاد) و فاصله تا منبع ریسک مورد توجه قرار می‌گیرند. این معیارها در یک مقیاس سه‌تایی، از ۱ (پایین‌ترین میزان تأثیر) تا ۳ (بیشترین میزان تأثیر)،

<sup>1</sup> Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

<sup>2</sup> Box-Cox

<sup>3</sup> Habitat Risk Assessment

<sup>4</sup> Exposure (E)

<sup>5</sup> Consequence (C)

امتیازدهی می‌شوند. تابع پیامدها به بررسی واکنش زیستگاه یا گونه به مواجهه با عوامل تهدیدزا می‌پردازد. این تابع میزان حساسیت زیستگاه و توانایی آن در تحمل یا جبران آسیب‌ها را می‌سنجد. در این راستا، معیارهای پیامد به دو دسته تقسیم می‌شوند: (۱) میزان انعطاف‌پذیری گونه مورد نظر در برابر تنش‌های محیطی و (۲) توانایی احیاء آن پس از آسیب. هر یک از این معیارها نیز در مقیاسی از ۱ تا ۳ امتیازدهی می‌شوند.

انتخاب و تعیین معیارهای امتیازدهی در مدل با بهره‌گیری از دستورالعمل‌های ارائه‌شده در راهنمای کاربری مدل و بر مبنای منابع علمی معتبر، داده‌های بوم‌شناختی منطقه و نظرات کارشناسان حوزه‌های مرتبط صورت می‌گیرد. این راهنما چارچوبی استاندارد برای انتخاب عوامل تنش‌زا، ویژگی‌های زیستگاه‌ها و نحوه امتیازدهی به معیارهای توابع مواجهه و پیامدها فراهم می‌سازد و به پژوهشگران اجازه می‌دهد ارزیابی خود را بر پایه اصول علمی و قابل تکرار انجام دهند. مقیاس امتیازدهی ۱ تا ۳ به‌گونه‌ای طراحی شده است که درجه‌بندی ساده اما معناداری از شدت یا حساسیت هر معیار ارائه دهد. امتیاز ۱ نشان‌دهنده کمترین سطح تأثیر یا حساسیت، امتیاز ۲ سطح متوسط و امتیاز ۳ بیشترین سطح تأثیر یا حساسیت را بازتاب می‌دهد. این طبقه‌بندی امکان مقایسه‌ی نسبی میان عوامل مختلف و ارزیابی مکانی ریسک در سطح سیمای سرزمین را فراهم می‌سازد.

ترکیب امتیازات حاصل از این دو تابع، سطح نهایی ریسک را برای هر بخش از زیستگاه مشخص می‌سازد. این اطلاعات می‌تواند به‌عنوان ابزاری تصمیم‌یار، برای اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی و مدیریتی در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گیرد (Pascal et al., 2016; Tolessa et al., 2017). در جدول ۱ لیست معیارهای مورد استفاده در این مدل آورده شده است.

جدول ۱: معیارهای مورد استفاده در مدل ارزیابی ریسک

شاخص	ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک زیاد
در معرض قرارگیری ریسک			
همپوشانی مکانی زیستگاه و عامل ریسک (%)	کمتر از ۱۰٪	بین ۱۰ تا ۳۰٪	بیشتر از ۳۰٪
مدت زمان قرارگیری زیستگاه در معرض ریسک در بازه یکساله	۴ ماه	۴ تا ۸ ماه	۸ تا ۱۲ ماه
شدت عامل تهدیدکننده زیستگاه	کم	متوسط	زیاد
اثرگذاری طرح مدیریت منطقه	تاثیرگذار	تاثیرگذاری متوسط	تاثیرگذاری کم
پیامد			
تغییرات در مساحت (%)	کمتر از ۲۰٪	بین ۲۰ تا ۵۰٪	۵۰ تا ۱۰۰٪
تغییرات در ساختار زیستگاه	کمتر از ۲۰٪	بین ۲۰ تا ۵۰٪	۵۰ تا ۱۰۰٪
تکرار دفعات اختلالات طبیعی	روزانه و یا هفتگی	چندین بار در سال	به ندرت

مجموع در معرض قرارگیری هرگونه (E) و مجموع پیامدهای حاصل از در معرض قرار گرفتن آن گونه (C) در برابر فعالیت آبی‌پروری از طریق رابطه های ۱ و ۲ به‌دست می‌آید:

$$E_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^N e_{ijk}}{N} \quad (1)$$

$$C_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^N c_{ijk}}{N} \quad (2)$$

که در رابطه ۱،  $E_{jk}$  امتیاز در معرض قرارگیری برای زیستگاه  $j$  ناشی از عامل تنش‌زای  $k$ ، مقدار معیار در معرض قرارگیری  $i$  برای زیستگاه  $j$  و تنش  $k$  است و  $N$  تعداد معیارهای مواجهه در تحلیل را شامل می‌شود.

در رابطه ۲، امتیاز پیامد برای زیستگاه  $z$  ناشی از عامل تنش‌زای  $k$ ، مقدار معیار پیامد  $i$  برای زیستگاه  $z$  و تنش  $k$  است و  $N$  تعداد معیارهای پیامد در تحلیل را شامل می‌شود.

آسیب‌پذیری ریسک متوسط نیز که یک محور از نمودار را تشکیل می‌دهد به همراه مقدار متوسط پیامدها از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_{jkl} = \sqrt{(E_{jkl} - 1)^2 + (C_{jkl} - 1)^2} \quad (۳)$$

از این‌رو، مدل در نقطه‌ای که زیستگاه و عامل استرس‌زا هم‌پوشانی دارند، ریسک را محاسبه می‌کند. بدین ترتیب ریسک‌های افزایشی از رابطه زیر حاصل می‌شوند:

$$R_{ijkl} = E_{ijkl} C_{ijkl} \quad (۴)$$

در گام سوم، مدل ریسک تجمعی ناشی از تمامی عوامل استرس‌زا را برای هر زیستگاه کمی‌سازی می‌کند. ریسک تجمعی برای زیستگاه  $z$  در پیکسل  $i$  مجموع امتیازات تمامی ریسک‌ها برای هر زیستگاه است:

$$R_{jl} = \sum_{k=1}^K R_{jkl} \quad (۵)$$

گام چهارم، شناسایی مناطق حساس زیستگاهی است. این مناطق، نواحی را شامل می‌شود که تاثیر فعالیت‌های انسانی زیاد است و ساختار و عملکرد بوم‌سازگان به شدت آسیب دیده است. هر پیکسل برای زیستگاه تحت درجه‌های کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی می‌شود که این امر یا به واسطه عوامل استرس‌زای منفرد و یا ریسک‌های تجمعی برآورد شده است.

در این پژوهش، چهار عامل استرس‌زای کلیدی که تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر زیستگاه پلنگ دارند، شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفتند. این عوامل بر اساس بررسی منابع علمی، داده‌های مکانی، بازدیدهای میدانی و همچنین مشورت با کارشناسان محیط‌زیست و حیات وحش منطقه انتخاب شدند. مدل InVEST این امکان را فراهم می‌سازد که با تمرکز بر مهم‌ترین تهدیدها، ارزیابی ریسک به صورت هدفمند و کارآمد انجام شود. انتخاب این چهار عامل بر مبنای شدت تأثیر، گستره جغرافیایی و تکرار وقوع و میزان هم‌پوشانی مکانی آن‌ها با زیستگاه پلنگ در محدوده مورد مطالعه انجام گرفت. سایر عوامل بالقوه، به دلیل نبود داده‌های کافی، تأثیرگذاری کمتر یا هم‌پوشانی با تهدیدهای انتخاب‌شده، در این مرحله از ارزیابی لحاظ نشدند. زمین‌های کشاورزی: توسعه اراضی زراعی در پیرامون محدوده پارک، به‌ویژه در نواحی حاشیه‌ای زیستگاه‌های طبیعی، منجر به کاهش وسعت زیستگاه‌های مناسب برای پلنگ شده است. این گسترش علاوه بر نابودی پوشش گیاهی طبیعی، با افزایش حضور انسان و ادوات کشاورزی در مجاورت مناطق بکر، احتمال تعارض انسان و حیات‌وحش را نیز افزایش می‌دهد. زمین‌های کشاورزی همچنین موجب مرزگذاری و محدودسازی جابه‌جایی گونه‌هایی چون پلنگ در فضای زیستگاه می‌شوند.

روستاهای اطراف پارک: حضور روستاها در حاشیه پارک ملی و افزایش تردد افراد، به‌ویژه دامداران و گردشگران محلی، احتمال بروز تعارض میان انسان و پلنگ را بالا برده است. نزدیکی سکونتگاه‌ها به مناطق حساس، باعث ورود مکرر انسان به زیستگاه شده و با ایجاد مزاحمت یا واکنش‌های دفاعی، امنیت رفتاری گونه را مختل می‌کند. علاوه بر این، وجود دام در این مناطق نیز می‌تواند زمینه‌ساز حملات شکار تلافی‌جویانه به پلنگ شود (ابراهیمی منفرد و همکاران، ۱۴۰۲).

جاده عبوری: عبور یک جاده مهم از درون پارک نه تنها باعث قطعه قطعه شدن زیستگاه و ایجاد موانع در مسیرهای حرکتی گونه‌ها شده، بلکه منجر به بروز تلفات جاده‌ای برای گونه‌های مختلف، از جمله طعمه‌های پلنگ و حتی خود پلنگ شده است. این جاده همچنین موجب افزایش دسترسی انسان به عمق زیستگاه‌ها و در نتیجه افزایش خطر شکار غیرمجاز و مزاحمت انسانی می‌گردد (همامی و همکاران، ۱۳۹۵).

چرای بیش‌ازحد دام: چرای بی‌رویه دام در داخل و پیرامون پارک، منجر به کاهش پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش منابع غذایی گونه‌های طعمه‌ی پلنگ شده است.

این اختلال در زنجیره غذایی، به‌صورت غیرمستقیم بقای حیات وحش را تهدید می‌کند. حضور مداوم دام و دامداران در زیستگاه نیز خود عاملی برای کاهش امنیت زیستی گونه‌های حیات وحش و ایجاد فشار مضاعف بر اکوسیستم است (Yang et al., 2021).

برای تحلیل دقیق این عوامل، داده‌های مکانی مربوط به کاربری اراضی، موقعیت روستاها و شبکه جاده‌ای جمع‌آوری شد. همچنین، اطلاعات شدت و گستره هر تنش به همراه نظرات کارشناسان محلی و محیط‌بانان پارک ملی گلستان، به‌عنوان منابع داده تکمیلی مورد استفاده قرار گرفت. این اطلاعات برای تعیین معیارهای در معرض قرارگیری و پیامد در چارچوب مدل ارزیابی ریسک زیستگاه تنظیم شدند.

### یافته‌های پژوهش

تجزیه و تحلیل عاملی بوم‌شناختی، به‌عنوان هسته مرکزی نرم‌افزار بیومپر شناخته می‌شود. این تحلیل شباهت بسیاری به روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دارد و به شناسایی عواملی می‌پردازد که بیشترین تأثیر را از متغیرهای مستقل محیطی بر گونه توضیح می‌دهند. ستون نخست نشان‌دهنده ویژگی حاشیه‌ای بودن گونه مورد بررسی است و مشخص می‌کند که وضعیت بهینه آن گونه تا چه حد از میانگین زیستگاه مورد مطالعه فاصله دارد. سایر عوامل به تحمل‌پذیری و ویژگی تخصصی گونه مربوط می‌شوند و به تدریج از حجم اطلاعاتی که ارائه می‌دهند کاسته می‌شود. این عوامل میزان تخصصی بودن گونه را در استفاده از منابع زیستگاه در دسترس نشان می‌دهند (جدول ۲).

جدول ۲: نتایج حاصل از تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی

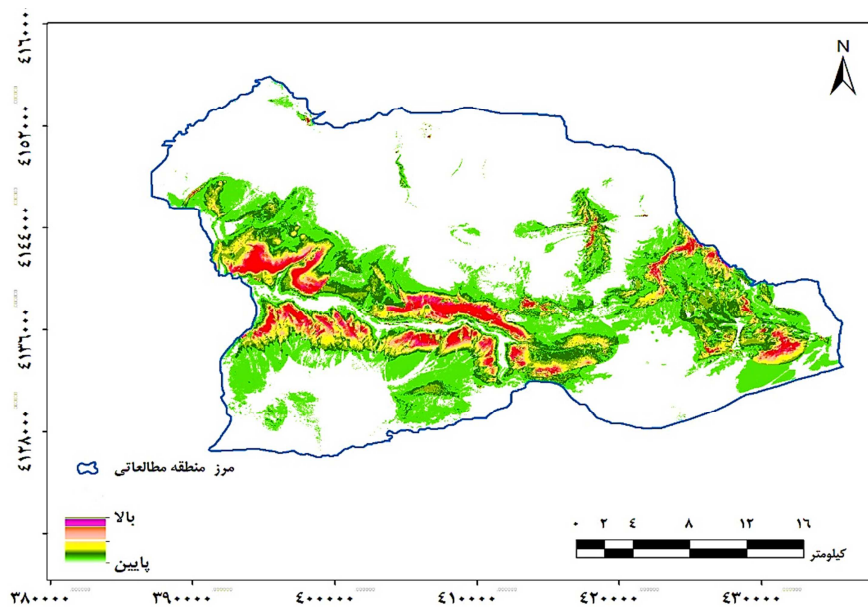
شاخص بویس الگوریتم انتخابی	الگوریتم انتخاب‌شده	تحمل‌پذیری کل	تخصص‌پذیری کل	حاشیه‌گرایی کل
۰/۴۲۱ ± ۰/۴۱۲	میانگین هندسی	۰/۵۵۹	۱/۷۹	۰/۸۱۶

یکی دیگر از نتایج این تحلیل، جدول ماتریس امتیازات است که اطلاعات بسیار ارزشمندی را در بر دارد. داده‌های این ماتریس نشان می‌دهد که هر عامل مستقل محیطی در تحلیل تا چه اندازه با سایر عوامل مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه همبستگی دارد (جدول ۳). ردیف‌های ماتریس سهم هر متغیر مستقل محیطی در تشکیل عوامل را مشخص می‌کنند. در این پژوهش ارتفاع، منابع آبی، جاده‌ها و شیب به‌عنوان اصلی‌ترین عوامل مؤثر در مطلوبیت زیستگاه پلنگ شناسایی شدند. ارزیابی دقت و صحت مدل با شاخص بویس انجام گرفت. نقشه تناسب زیستگاه (شکل ۲) نشان می‌دهد که بخش‌های مرکزی و کمتر دسترسی‌پذیر پارک دارای تناسب بالاتری برای زیست پلنگ هستند. این

مناطق ویژگی‌هایی مانند پوشش گیاهی غنی، فاصله از تهدیدات انسانی و شرایط مطلوب بوم‌شناختی را دارند. در مقابل، بخش‌هایی که در نزدیکی فعالیت‌های انسانی مانند زمین‌های کشاورزی، جاده‌ها و روستاها قرار دارند، تناسب کمتری برای زیستگاه پلنگ نشان می‌دهند.

جدول ۳: ماتریس امتیازهای متغیرهای محیطی برای زیستگاه پلنگ در پارک ملی گلستان

متغیرهای محیطی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
ارتفاع	٪۱۱	٪۱۹	٪۱۶	٪۱۲	٪۹	٪۷/۷	٪۷/۴	٪۵/۶	٪۳/۶	٪۲/۷
رودخانه	-۰/۳۹	-۰/۰۶	-۰/۰۶	-۰/۲۴	-۰/۰۳۴	-۰/۳۲	۰/۳۱	-۰/۲۶	-۰/۱۹	-۰/۰۴
چشمه	-۰/۳۵	-۰/۰۱۳	۰/۰۳۲	۰/۰۲۴	۰/۰۰۹	-۰/۰۶	۰/۰۱۷	-۰/۰۳۱	۰/۰۷	-۰/۱۸
جاده	-۰/۳۳	-۰/۰۶۵	۰/۲۰۱	-۰/۰۸۵	-۰/۲۶۴	۰/۰۶۲	-۰/۵۲۹	۰/۵۴۹	۰/۲۲	-۰/۵۷
کل و بز	-۰/۳۳	-۰/۰۰۹	-۰/۱۰۴	۰/۰۵۶	-۰/۵۷۱	-۰/۰۵۸	۰/۰۳۲	-۰/۳۰۷	-۰/۲۳	-۰/۱۶
گراز	-۰/۳۰	-۰/۰۵۵	۰/۱۱۳	۰/۰۲۹	۰/۱۲۷	۰/۰۲۵	۰/۰۸۲	۰/۱۴۸	-۰/۵۴	۰/۳
کشاورزی	-۰/۲۹	-۰/۰۷۵	۰/۳۰۳	-۰/۵۴۵	-۰/۳۵۹	-۰/۱۵۸	-۰/۱۸۳	۰/۴۴۴	۰/۲۶	-۰/۰۴
مرال	-۰/۲۸	۰/۷۱۵	۰/۴۰۸	۰/۳۴۴	۰/۰۵۳	۰/۴۰۵	-۰/۱۷۱	-۰/۱۴۹	۰/۳۶	-۰/۰۵
آهو	-۰/۲۷	-۰/۱۶۶	۰/۱۶۲	-۰/۶۰۸	-۰/۲۷۸	۰/۴۵۳	۰/۳۷۲	-۰/۱۶۴	-۰/۱۶	-۰/۰۶
شیب	-۰/۱۶	-۰/۰۲۱	۰/۱۱۴	۰/۰۶۲	۰/۰۳۳	-۰/۴۷۱	۰/۰۸۹	-۰/۲۳۴	-۰/۲۳	-۰/۱۸
قوچ و میش	۰/۱۳	-۰/۰۵۳	۰/۷۴۵	-۰/۱	-۰/۱۹	۰/۰۵۷	-۰/۰۴۲	۰/۲۵۶	۰/۲۶	-۰/۰۸
جهت	۰/۱۱	-۰/۰۵۷	۰/۲۲۱	۰/۱۹	-۰/۰۴۲	۰/۱	۰/۰۴۹	-۰/۱۱۱	-۰/۱۱	-۰/۰۵
تراکم پوشش گیاهی	۰/۰۵	۰/۰۲۸	۰/۰۸۶	۰/۲۰۵	-۰/۱۶۷	-۰/۳۲	-۰/۳۵۴	-۰/۰۶۳	-۰/۰۶۳	-۰/۳۷
روستا	-۰/۰۳	۰/۱۱۳	-۰/۱۴۵	۰/۲۳۲	-۰/۵۵۷	۰/۱۸۴	-۰/۰۰۶	۰/۱۰۱	۰/۱۹	-۰/۰۵

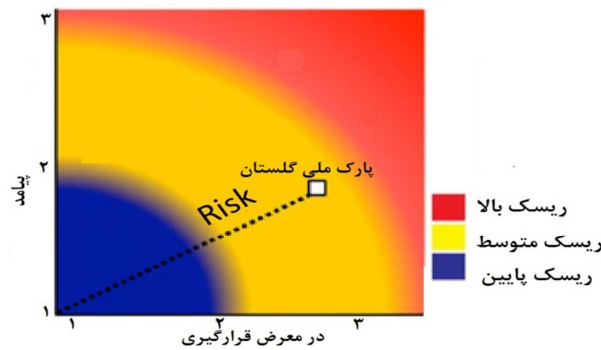


شکل ۲: نقشه تناسب زیستگاه پلنگ در پارک ملی گلستان

شکل ۳، نمودار مقادیر تجمعی ریسک زیستگاه حاصل از مدل InVEST در منطقه را به تصویر می‌کشد و نشان می‌دهد که این منطقه به‌طور کلی و با در نظر گرفتن ریسک تجمعی، در بازه ریسک متوسط قرار دارد. با توجه به این نمودار، در مناطق مختلف پارک، مقادیر ریسک تجمعی متفاوت است. بخش‌هایی که در نزدیکی فعالیت‌های انسانی مانند روستاها، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی قرار دارند، مقادیر بالاتری از ریسک تجمعی را نشان می‌دهند. جدول ۴ مقادیر ریسک به‌دست‌آمده از مدل InVEST را به تفکیک هر یک از عوامل تهدید انسانی نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقادیر ریسک به‌دست‌آمده به تفکیک هر تهدید انسانی در منطقه

زیستگاه	نام تهدید	در معرض قرارگیری	پیامد	ریسک	درصد ریسک
گلستان محدوده پارک رستم	زمین‌های کشاورزی	۱/۰۲	۰/۹۸۷	۰/۹۲۴	۹/۲۳
	روستاها و اطراف پارک	۰/۹۶۳	۰/۹۳۱	۰/۸۷۱	۶/۴۱
	چرای بیش‌ازحد دام	۱/۱۵	۱/۵۲	۱/۰۸	۱۲/۵۶
	جاده و مسیر دسترسی	۲/۲۵	۲/۱	۲/۲۶	۱۵/۸



شکل ۳: نمودار مقادیر ریسک تجمعی زیستگاه (پارک ملی گلستان)

زمین‌های کشاورزی از مهم‌ترین تهدیدات برای زیستگاه پلنگ به‌شمار می‌آیند. این تهدید با دارا بودن مقدار پیامد بالا (۰/۹۷۸)، نشان‌دهنده تأثیر مستقیم و قابل توجه آن بر کاهش کیفیت زیستگاه است. از سوی دیگر، شاخص مواجهه معادل ۱/۰۲، بیانگر آن است که سطح برهم‌کنش پلنگ با این عامل نسبتاً بالا بوده و بخش‌های وسیعی از زیستگاه در معرض تأثیر زمین‌های کشاورزی قرار دارند. هرچند درصد ریسک عددی برای این تهدید کمتر گزارش شده است، اما ترکیب شدت اثر (پیامد) و فراوانی مواجهه، اهمیت بالای آن را در ارزیابی‌های حفاظتی نشان می‌دهد.

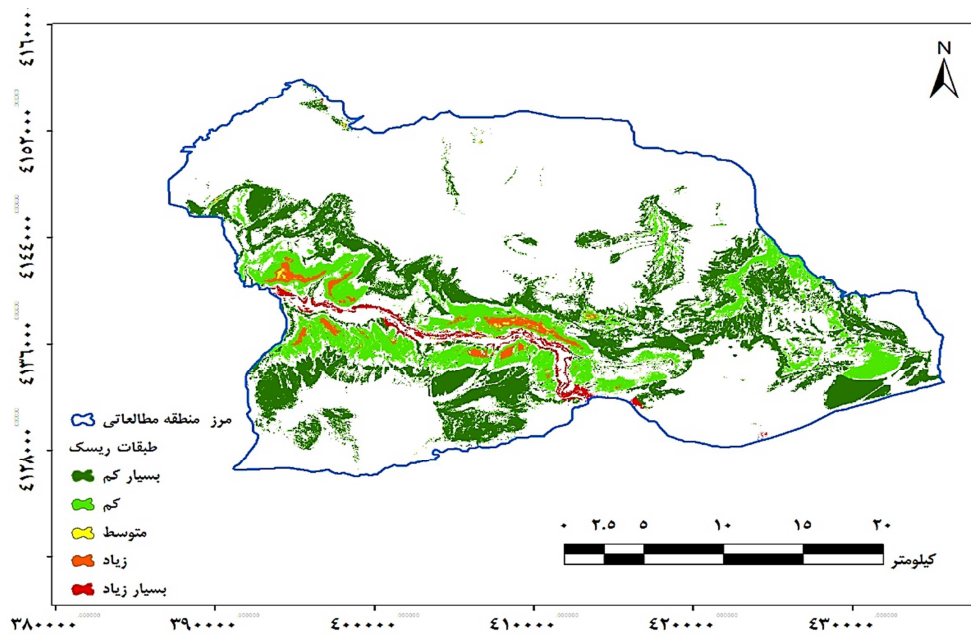
عامل دیگر، نزدیکی زیستگاه به روستاهاست که تهدیدی پیچیده و چندبعدی ایجاد می‌کند. رقابت بر سر منابع طبیعی، شکار تلافی‌جویانه از سوی دامداران و توسعه انسانی منجر به تخریب زیستگاه شده است. اگرچه پیامد این تهدید در مقایسه با سایر عوامل کمتر است و شاخص مواجهه نیز عدد بالایی ندارد، اما درصد ریسک نسبتاً بالا (۶/۴۱ درصد) نشان می‌دهد که اثر این عامل در کاهش کیفیت زیستگاه در مناطق نزدیک به سکونتگاه‌های انسانی چشمگیر است. در واقع، گرچه شدت تأثیر مستقیم پایین‌تر است، اما گسترش جغرافیایی این تهدید در محدوده‌های انسانی، آن را به یک عامل مداوم و پایدار در کاهش زیست‌پذیری تبدیل کرده است.

چرای دام نیز از تهدیدات بسیار مهم محسوب می‌شود که نه تنها موجب نابودی پوشش گیاهی و تغییر در ساختار زیستگاه می‌شود، بلکه رقابت مستقیم با گونه‌هایی چون پلنگ برای منابع غذایی را افزایش می‌دهد. در این زمینه، پیامد بالا (۱/۵۲) تأکید دارد که شدت تأثیر این تهدید بر زیستگاه زیاد است. افزون بر این، شاخص مواجهه معادل ۱/۱۵ نشان می‌دهد که بخش وسیعی از زیستگاه پلنگ تحت تأثیر این عامل است. ترکیب این دو شاخص موجب شده که درصد ریسک کلی چرای دام (۱۲/۵۶ درصد) به‌عنوان یکی از بالاترین مقادیر در بین تهدیدات شناسایی شود. این نتایج گواهی بر آن است که مدیریت چرای دام و کنترل ورود دام‌ها به زیستگاه‌های حساس باید در اولویت اقدامات حفاظتی قرار گیرد.

در میان تمامی تهدیدات، جاده‌ها و مسیرهای دسترسی بیشترین تأثیر منفی را بر زیستگاه پلنگ دارند. پیامد این تهدید بسیار بالا (۲/۲۶) است که نشان‌دهنده شدت بالای تأثیر آن بر کیفیت زیستگاه است. همچنین، شاخص مواجهه برابر با ۲/۲۵ نشان می‌دهد که وجود جاده‌ها در زیستگاه پلنگ دائمی و پایدار است. این دو شاخص در کنار هم منجر به درصد ریسک ۱۵/۸ درصد شده‌اند که بالاترین رقم در بین تهدیدات موجود است. این داده‌ها به‌روشنی نقش تعیین‌کننده جاده‌ها در افت کیفیت زیستگاه و ضرورت بازنگری در توسعه زیرساخت‌ها را نمایان می‌سازد.

در نهایت، نقشه طبقات ریسک تجمعی زیستگاه (شکل ۴) به‌وضوح نشان می‌دهد که مناطق دارای ریسک بالا بیشتر در اطراف جاده‌ها، مسیرهای دسترسی و روستاها قرار گرفته‌اند. این الگو نشان‌دهنده پیوند مستقیم بین شدت تهدید، میزان برهمکنش گونه با تهدید و تأثیر تجمعی آن بر زیستگاه است. چنین تحلیلی، بر پایه شاخص‌های دقیق و مدل‌سازی فضایی، می‌تواند مبنای مناسبی برای طراحی اقدامات حفاظتی هدفمند در پارک ملی گلستان فراهم کند.

بررسی شاخص‌های مختلف تهدیدات زیستگاه پلنگ از جمله پیامد، مواجهه و درصد ریسک نشان می‌دهد که هر یک از عوامل انسانی بررسی‌شده به‌نحوی در کاهش کیفیت زیستگاه مؤثر هستند، اما شدت، گستردگی و سازوکار اثرگذاری آن‌ها متفاوت است. زمین‌های کشاورزی با اثر مستقیم بر ساختار زیستگاه، جاده‌ها با ایجاد گسست اکولوژیکی، چرای دام با تخریب منابع غذایی و پوشش گیاهی و روستاها با افزایش تعارض انسان و حیات‌وحش، هر یک به شکل متفاوتی پایداری زیستی گونه را تهدید می‌کنند.



شکل ۴: نقشه طبقات ریسک تجمعی زیستگاه در پارک ملی گلستان

## بحث

پارک ملی گلستان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های پلنگ ایرانی، در معرض تهدیدات گسترده انسانی و تغییرات محیطی قرار دارد. تحلیل‌های صورت‌گرفته در این مطالعه نشان داد که عوامل محیطی همچون ارتفاع، منابع آبی، جاده‌ها و شیب تأثیر چشمگیری بر پراکنش و کیفیت زیستگاه پلنگ دارند. همچنین، تهدیدات انسانی نظیر کشاورزی، چرای دام و ساخت جاده از جمله مهم‌ترین عوامل تخریب و تکه‌تکه شدن زیستگاه شناخته شدند.

برای ارزیابی دقت و کارایی مدل زیستگاه، از شاخص بویس استفاده شد. این شاخص که یکی از معیارهای متداول در اعتبارسنجی مدل‌های اکولوژیکی است، بر اساس مقایسه‌ی توزیع پیش‌بینی‌شده زیستگاه با توزیع واقعی آن در نقاط حضور گونه محاسبه می‌شود. مقدار این شاخص بین -۱ تا +۱ متغیر است و مقادیر مثبت و نزدیک به ۱ نشان‌دهنده عملکرد مطلوب مدل در تمایز میان مناطق مطلوب و نامطلوب است. در این مطالعه، مقدار شاخص بویس برابر با  $0/412 \pm 0/421$  به‌دست آمد که حاکی از دقت مناسب مدل در شناسایی زیستگاه‌های بهینه برای پلنگ است. استفاده از این شاخص به‌ویژه در مدل‌هایی با داده‌های حضور صرف، مناسب است و ارزیابی عینی‌تری از صحت مدل فراهم می‌آورد.

در روند مدل‌سازی، از الگوریتم میانگین هندسی برای ترکیب لایه‌های اطلاعاتی استفاده شد. انتخاب این الگوریتم بر مبنای ویژگی‌های داده‌ها و ساختار هدف مدل‌سازی انجام گرفت. میانگین هندسی نسبت به میانگین حسابی حساسیت بیشتری به مقادیر پایین دارد و این ویژگی باعث می‌شود که در حضور یک متغیر نامطلوب، امتیاز نهایی برای آن مکان به‌درستی کاهش یابد. این ویژگی در مدل‌سازی زیستگاه، که اغلب با شرایط حدی و حساس سر و کار دارد، دقت و واقع‌گرایی نتایج را افزایش می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر، اگر یک عامل محیطی در منطقه‌ای شرایط نامطلوب داشته باشد، حتی در صورت مطلوب بودن سایر عوامل، میانگین هندسی به‌درستی آن مکان را نامناسب تشخیص

می‌دهد. این رویکرد، انسجام بوم‌شناختی ارزیابی زیستگاه را تقویت کرده و با نیازهای زیستی دقیق پلنگ سازگار است.

نتایج همچنین نشان داد که مقدار حاشیه‌گرایی کل (۰/۸۱۶) بالاست، به این معنا که زیستگاه‌های مناسب برای پلنگ ایرانی در پارک ملی گلستان، به‌طور متوسط فاصله زیادی از شرایط معمول اکولوژیکی منطقه دارند. این یافته بیانگر آن است که پلنگ برای بقا، نیازمند زیستگاه‌هایی با شرایط خاص و منحصر به‌فرد مانند مناطق با پوشش گیاهی متراکم، دسترسی مناسب به منابع آبی و دوری از مزاحمت‌های انسانی است.

ارتفاع به‌دلیل تأثیر بر پوشش گیاهی و دسترسی به منابع غذایی - یکی از عوامل کلیدی محسوب می‌شود. نقش منابع آبی (رودخانه‌ها و چشمه‌ها) نیز به‌دلیل تأمین آب و جذب طعمه‌های پلنگ، بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر، جاده‌ها و مسیرهای دسترسی به‌عنوان عوامل تخریب زیستگاه و گسستگی زیستگاهی عمل می‌کنند. شیب نیز تأثیر دوگانه دارد؛ زیرا مناطق با شیب بالا معمولاً دسترسی انسان را محدود کرده و زیستگاه امن‌تری برای پلنگ فراهم می‌کنند.

ارتفاع به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی شناسایی شد؛ زیرا بر پراکنش پوشش گیاهی، نوع اقلیم محلی و منابع غذایی مؤثر است. از سوی دیگر، منابع آبی (مانند رودخانه‌ها و چشمه‌ها) نقش اساسی در تأمین آب و جذب طعمه‌های بالقوه برای پلنگ ایفا می‌کنند. جاده‌ها و مسیرهای دسترسی نیز نقش منفی شدیدی در گسستگی زیستگاه داشته و علاوه بر ایجاد مانع فیزیکی، زمینه‌ساز افزایش برخوردهای انسانی و مرگومیر مستقیم هستند. شیب زمین اثر دوگانه‌ای دارد. مناطق با شیب زیاد معمولاً برای انسان‌ها کمتر قابل دسترس هستند و به همین دلیل، پناهگاه‌های امن‌تری برای پلنگ فراهم می‌کنند. مطالعات متعددی در مناطق مختلف همچون منطقه گیلان استان بوشهر (پورسالم و همکاران، ۱۴۰۰)، منطقه قفقاز (Farhadnia et al., 2015) و آسیای مرکزی (Bai et al., 2018) نشان داده‌اند که پلنگ‌ها نواحی کوهستانی با دسترسی دشوار و پوشش گیاهی انبوه را به‌عنوان زیستگاه‌های مطلوب ترجیح می‌دهند.

یافته‌های این مطالعه هم‌راستا با مطالعات مشابه در سایر بخش‌های پراکنش پلنگ ایرانی بر ضرورت حفاظت فعال از زیستگاه‌های ویژه با شرایط اکولوژیکی خاص تأکید دارد. دقت مدل‌سازی، انتخاب الگوریتم مناسب و تفسیر درست از شاخص‌ها، در کنار شناخت دقیق ویژگی‌های محیطی و تهدیدات انسانی، می‌تواند راهنمای مؤثری برای برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات حفاظتی باشد.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که عوامل انسانی شامل توسعه زمین‌های کشاورزی، نزدیکی روستاها، چرای دام و عبور جاده‌ها از مهم‌ترین تهدیدات برای زیستگاه پلنگ ایرانی در پارک ملی گلستان هستند. مدل InVEST که برای ارزیابی ریسک زیستگاه استفاده شد، نشان داد که عبور جاده‌ها و مسیرهای دسترسی با درصد ریسک تجمعی ۱۵/۸ درصد و شاخص پیامد بالا (۲/۲۶)، بیشترین تأثیر مخرب را دارد و سبب گسستگی زیستگاه و کاهش امکان جابه‌جایی ایمن پلنگ شده است. چرای بیش‌ازحد دام با درصد ریسک تجمعی (۱۲/۵۶) در رتبه دوم قرار دارد. این موضوع بیشتر به‌دلیل رقابت منابع غذایی و تخریب پوشش گیاهی است که باعث کاهش کیفیت زیستگاه می‌شود. همچنین، زمین‌های کشاورزی با تخریب زیستگاه طبیعی و افزایش تعامل انسان و حیات وحش، پیامدهای جدی بر زیستگاه دارند (پیامد: ۰/۹۸۷). نزدیکی به روستاها ۶/۴۱ درصد نیز تهدیدی قابل‌توجه است که می‌تواند تعارضات انسان و حیات وحش را افزایش دهد. یافته‌ها نشان می‌دهد که بخش‌های مرکزی و دورافتاده پارک که دسترسی انسانی در آن‌ها محدودتر است، بهترین مناطق برای حفظ زیستگاه پلنگ هستند. نقشه‌های تهیه‌شده از طبقات

مختلف ریسک تجمعی به‌وضوح مناطقی را که نیازمند مدیریت ویژه هستند، شناسایی کردند. به‌عنوان مثال، مناطقی که در نزدیکی جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی قرار دارند، بالاترین ریسک را نشان می‌دهند.

مطالعات مشابه در ایران و سایر نقاط جهان نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند که اهمیت عوامل انسانی در کاهش کیفیت زیستگاه را تایید می‌کنند. مطالعه Rezazadeh et al. (2017) تأکید می‌کند که افزایش مداخلات انسانی، یکپارچگی زیستگاه‌ها را کاهش داده و تنوع زیستی را تهدید می‌کند. نتایج ما نیز نشان می‌دهد که گسست زیستگاهی ناشی از عبور جاده‌ها، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها برای بقای پلنگ ایرانی است. همچنین، مطالعات مشابه بین‌المللی در مناطق حفاظت‌شده آفریقا و آسیا (Li et al., 2020; Piet et al., 2019) نشان داده‌اند که توسعه زمین‌های کشاورزی و چرای دام، از عوامل اصلی تخریب زیستگاه‌های طبیعی هستند. یافته‌های این پژوهش نیز تایید می‌کند که فعالیت‌های کشاورزی در نزدیکی پارک ملی گلستان یکی از عوامل کلیدی تاثیرگذار بر زیستگاه پلنگ است. پژوهش‌های دیگر در ایران (Abdollahi et al., 2023; Nematollahi et al., 2020) نشان داده‌اند که چرای بیش‌ازحد دام نه تنها پوشش گیاهی را تخریب می‌کند، بلکه منابع غذایی طعمه‌های طبیعی پلنگ، نظیر کل و بز را کاهش می‌دهد. این موضوع در نتایج ما نیز به‌طور مشخص دیده می‌شود. مقایسه این نتایج نشان می‌دهد که تهدیدات انسانی بر زیستگاه‌ها نه تنها محدود به پارک ملی گلستان نیست، بلکه یک چالش جهانی است. از سوی دیگر، استفاده از مدل InVEST به‌عنوان ابزاری موثر برای شناسایی و تحلیل ریسک، در مطالعات جهانی نیز تایید شده است.

با وجود نتایج ارزشمند این پژوهش، چند محدودیت اصلی وجود دارد که باید به آن‌ها توجه شود. نخست، اطلاعات مربوط به شدت تهدیدات انسانی و تراکم جمعیت دام‌ها به‌طور کامل و دقیق در دسترس نبوده است. استفاده از داده‌های دقیق‌تر می‌تواند نتایج را بهبود بخشد.

علاوه بر این، یکی از محدودیت‌های اساسی مدل InVEST، فرض استقلال میان عوامل ریسک است؛ در حالی که در شرایط واقعی، بسیاری از تهدیدات محیط‌زیستی به‌صورت هم‌افزا و متقابل عمل می‌کنند. نادیده‌گرفتن تعاملات میان تهدیدات مختلف و پیامدهای تجمعی آن‌ها می‌تواند به برآوردهای ناقص یا انحراف در ارزیابی واقعی تأثیرات انسانی بر زیستگاه منجر شود. بنابراین، در مطالعات آتی، بهره‌گیری از رویکردهای مدل‌سازی که قادر به شناسایی و تحلیل اثرات هم‌زمان و ترکیبی تهدیدات باشند، ضروری به‌نظر می‌رسد.

علاوه بر این، نتایج این پژوهش ممکن است به‌طور کامل برای زیستگاه‌های دیگر ایران یا سایر گونه‌های حیات وحش قابل‌تعمیم نباشد؛ زیرا شرایط اکولوژیکی، ترکیب گونه‌ای، شدت و نوع تهدیدات انسانی و ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی در هر زیستگاه متفاوت است. به‌عنوان مثال، گونه‌های مختلف ممکن است واکنش‌های متفاوتی نسبت به یک عامل تهدید مشابه نشان دهند و یا یک تهدید خاص در منطقه‌ای دیگر ممکن است اثر کمتری داشته باشد. از این‌رو، الگوهای به‌دست‌آمده در این مطالعه باید با احتیاط و در بستر ویژگی‌های بوم‌شناختی هر منطقه مورد تفسیر قرار گیرند. همچنین، فقدان تحلیل زمانی یکی دیگر از محدودیت‌هاست که مانع از درک پویایی تغییرات زیستگاه و تهدیدات در طول زمان می‌شود و تحلیل‌های آتی را به سمت استفاده از داده‌های طولی و سنجش روندها هدایت می‌کند.

این مطالعه تأثیر تغییرات زمانی، نظیر روند افزایش یا کاهش تهدیدات انسانی در بلندمدت را مورد بررسی قرار نداده است. تحلیل زمانی از اهمیت بالایی برخوردار است؛ زیرا بسیاری از تهدیدات محیط‌زیستی ماهیت پویا دارند و در

گذر زمان دستخوش تغییر می‌شوند. عدم توجه به این پویایی ممکن است منجر به برداشت ایستا از شرایط فعلی زیستگاه شود و توانایی پیش‌بینی تغییرات آبی و طراحی راهبردهای مدیریتی بلندمدت را محدود کند. به‌ویژه در مورد گونه‌هایی مانند پلنگ ایرانی که نسبت به تغییرات محیطی حساس‌اند، شناخت روندهای زمانی در فشارهای انسانی می‌تواند در ارزیابی دقیق‌تر خطرات و تدوین سیاست‌های حفاظتی مؤثر نقش کلیدی ایفا کند.

در نهایت، اگرچه نرم‌افزار بیومپیر توانایی نسبتاً خوبی در مدل‌سازی توزیع زیستگاه دارد، اما تنها تا حدی قادر به شبیه‌سازی رفتار گونه‌های پیچیده و دارای دامنه پراکنش گسترده‌ای همچون پلنگ ایرانی است. رفتارهای جستجوی غذا، الگوهای پراکنش فصلی و تعاملات رفتاری درون‌گونه‌ای و میان‌گونه‌ای از جمله عواملی هستند که در این مدل‌سازی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند که این موضوع می‌تواند بر دقت نهایی پیش‌بینی‌ها تأثیرگذار باشد.

برای کاهش تهدیدات شناسایی شده و بهبود مدیریت زیستگاه پلنگ ایرانی، پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

مدیریت چرا و دام‌ها: این اقدام شامل محدود کردن تعداد دام‌ها در مناطق حساس پارک، تعیین مناطقی خاص برای چرا که کمترین تأثیر را بر زیستگاه‌های حیاتی دارند و توسعه همکاری‌های محلی با جوامع روستایی برای کنترل چرا و ایجاد مشوق‌های اقتصادی برای کاهش دامداری است.

کنترل توسعه کشاورزی: اعمال محدودیت بر گسترش زمین‌های کشاورزی در اطراف پارک و ترویج کشاورزی پایدار که با حفظ منابع طبیعی هماهنگ باشد، از اقدامات کلیدی است.

کاهش تأثیرات جاده‌ها: این کار می‌تواند از طریق احداث گذرگاه‌های حیات وحش در نقاط حیاتی، محدود کردن تردد وسایل نقلیه در ساعات خاص و ایجاد سیستم‌های نظارت و کنترل سرعت در جاده‌های عبوری از پارک امکان‌پذیر باشد.

اجرای برنامه‌های آموزشی: آموزش جوامع محلی درباره اهمیت پلنگ و زیستگاه آن و تقویت آگاهی عمومی نسبت به پیامدهای شکار غیرمجاز و تهدیدات دیگر باید در اولویت باشد.

توسعه پژوهش‌های آینده: استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌تر مانند دوربین‌های تله‌ای و داده‌های ماهواره‌ای برای بهبود دقت تحلیل، مطالعه اثرات بلندمدت تهدیدات و تغییرات اقلیمی بر زیستگاه و شبیه‌سازی تعاملی میان عوامل مختلف تهدیدزا برای درک بهتر تأثیرات تجمعی پیشنهاد می‌شود.

### نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی ریسک زیستگاه پلنگ در پارک ملی گلستان، با بهره‌گیری از مدل ارزیابی ریسک InVEST انجام شد. نتایج نشان داد که زیستگاه پلنگ در پارک ملی گلستان به‌شدت تحت فشار ترکیبی عوامل محیطی و تهدیدات انسانی قرار دارد. تحلیل مدل‌های مکانی و ارزیابی ریسک نشان داد که فاکتورهای محیطی مانند ارتفاع، نزدیکی به منابع آبی، شیب زمین و تراکم جاده‌ها نقشی تعیین‌کننده در کیفیت و کارایی زیستگاه پلنگ دارند. در کنار این عوامل طبیعی، تهدیدات انسانی از جمله گسترش زمین‌های کشاورزی، چرای بی‌رویه دام، عبور جاده از مناطق حساس و توسعه سکونتگاه‌های روستایی از جمله فشارهای مستقیم و غیرمستقیمی هستند که پایداری این زیستگاه را با خطر مواجه کرده‌اند.

این یافته‌ها حاکی از آن است که تهدیدات، علاوه بر تأثیرات موضعی، باعث تضعیف کلی عملکرد اکولوژیکی زیستگاه شده و قابلیت پشتیبانی از جمعیت پایدار پلنگ را به مرور کاهش می‌دهند. تداوم چنین فشارهایی می‌تواند منجر به کاهش قلمرو حرکتی، تغییر در رفتار گونه، کاهش منابع غذایی، افزایش تنش‌های انسانی - حیات وحش و درنهایت، کاهش نرخ بقا و تولیدمثل شود. از این رو، نتایج این پژوهش تنها به توصیف وضعیت کنونی بسنده نمی‌کند.

کاربرد مدل ارزیابی ریسک InVEST در این مطالعه نشان داد که این ابزار قابلیت مناسبی برای شناسایی نواحی پرریسک، اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی و پیش‌بینی پیامدهای فعالیت‌های انسانی دارد. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای علمی برای تدوین راهبردهای حفاظتی هدفمند، طراحی سناریوهای مدیریتی سازگار با شرایط محلی و اجرای برنامه‌های مشارکتی با جوامع بومی مورد استفاده قرار گیرد.

در نهایت، یافته‌های این پژوهش می‌تواند به‌عنوان الگوی قابل‌تعمیم برای حفاظت از زیستگاه گونه‌های در خطر در سایر پارک‌های ملی و مناطق حفاظت‌شده کشور نیز مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

ابراهیمی منفرد، زهرا؛ میرکریمی، سید حامد؛ محمدی کنگرانی، حنا؛ صوفی، محمود. (۱۴۰۲). استفاده از رویکرد تحلیل شبکه اجتماعی در مدیریت تعارضات انسان و گوشتخواران بزرگ‌جثه در پارک ملی گلستان (با تأکید بر شبکه اطلاع‌رسانی). محیط زیست طبیعی، ۷۶ (ویژه‌نامه)، صص: ۲۹-۴۳.

بهادری امجز، فاطمه؛ مروتی، مریم؛ بهنود، مینا؛ سیدی، نادر. (۱۴۰۰). بررسی میزان همپوشانی زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) طعمه‌های آن (مطالعه موردی: منطقه حفاظت‌شده سنگ مس)، فصلنامه محیط زیست جانوری، ۱۳(۲)، صص: ۹-۱۶.

پلاشی، فاطمه. (۱۳۹۵). مقایسه عملکرد پیش‌بینی روش‌های تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی و آنترپوی حداکثر در تهیه نقشه بالقوه پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی (مطالعه موردی: مراتع شهرستان جیرفت). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مرتع‌داری، استاد راهنما: حسین پیری صحراگرد، زابل، دانشگاه زابل، دانشکده خاک و آب، گروه مرتع و آبخیزداری.

پورسالیم، صادق؛ امینی نسب، سیدمهدی؛ مددی، حسین؛ دلشوب، حسین. (۱۴۰۰). ارزیابی و مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) در منطقه گیسکان استان بوشهر. نشریه محیط زیست طبیعی، ۷۴(۲)، صص: ۲۶۴-۲۷۷.

تیموری، مهدی. (۱۴۰۲). سیمای طبیعی پارک ملی گلستان. نقش مانا، تهران، ایران. صص: ۱۶۲.

حسین‌نژاد، زینب؛ شیخی، علی؛ گشتاسب، حمید؛ نظامی، باقر؛ جهانی، علی. (۱۳۹۸). ارزیابی زیستگاه کبک (*Alectoris Chukar*) به روش تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی (ENFA)، (مطالعه موردی: منطقه شکار ممنوع اشکورات). پژوهش‌های محیط زیست، ۱۰(۱۹)، صص: ۱۷۹-۱۸۶.

حسینی، سیده بهاره؛ فراشی، آریتا؛ جهانی شکیب، فاطمه. (۱۴۰۲). ارزیابی زیستگاه گونه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) (Pocock 1927) در شمال شرق ایران. فصلنامه علمی زیست‌شناسی جانوری تجربی، ۱۱(۴)، صص: ۸۱-۹۴.

دانشی، علیرضا؛ نجفی‌نژاد، علی؛ پناهی، مصطفی؛ زرندیان، اردوان. (۱۳۹۹). پیش‌بینی اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت زیستگاه حوزه سد نرمام در استان گلستان، تخریب احياء اراضی طبیعی، ۱۱(۱)، صص: ۱۲۰-۱۳۱.

دانه‌کار، افشین؛ سبحانی، پروانه؛ البرزی‌منش، میترا؛ قلیچی‌پور، زهرا. (۱۴۰۳). زون‌بندی پارک ملی گلستان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. آمایش سرزمین، ۱۱(۱)، صص: ۱۶۱-۱۸۵.

دهجی، فاطمه؛ مروتی، مریم؛ زارع خورمیزی، مهدی. (۱۴۰۱). شناسایی اتصالات بین لکه‌های زیستگاهی و مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) در استان یزد. مجله پژوهش‌های جانوری (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۳۵(3)، صص: ۱۶۰-۱۷۷.

عبداللهی، صدیقه. (۱۴۰۲). ارزیابی کیفیت زیستگاه حیات وحش به منظور شناسایی لکه‌های زیستگاهی کلیدی با رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین. نشریه محیط‌زیست طبیعی (ویژه‌نامه مناطق حفاظت‌شده)، ۷۶، صص: ۱۴۷-۱۶۲.

- عبداللهی، صدیقه؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول. (۱۳۹۴). بررسی تاثیر مقیاس بر مدل سازی زیستگاه پلنگ در پارک ملی گلستان، پژوهش های محیط زیست، ۶ (۱۱)، صص: ۱۷۳-۱۸۰.
- عبداللهی، صدیقه؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول. (۱۳۹۷). بررسی مقیاس های مختلف به منظور تعیین پارامترهای زیستگاهی (مطالعه موردی: پلنگ پارک ملی گلستان)، پژوهش های محیط زیست، ۹ (۱۸)، صص: ۱۸۱-۱۸۸.
- کامیاب، حمیدرضا؛ باقری، عاطفه؛ شهبازی، علی. (۱۳۹۸). به گزینی کریدور زیستگاهی گونه پلنگ ایرانی در پارک ملی گلستان با استفاده از روش تئوری مدار الکتریکی. پژوهش های محیط زیست، ۱۰ (۲۰)، صص: ۲۰۹-۲۱۸.
- مهرخو، ستاره؛ رضانی، مهدی؛ فرشچی، پروین؛ پناهی، مصطفی؛ منوری، مسعود. (۱۴۰۲). پیش بینی تغییرات عرضه خدمات اکوسیستمی مرتبط با تنوع زیستی تحت تاثیر تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز شفارود استان گیلان. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۵ (۷)، صص: ۱۰۹-۱۲۴.
- نعمت الهی، شکوفه؛ فاخران، سیما؛ جعفری، علی؛ رئیسی، تورج؛ پورمنافی، سعید. (۱۳۹۸). برنامه ریزی سیمای سرزمین برای حفاظت بر مبنای مدل کیفیت زیستگاه InVEST و اثرات بوم شناختی شبکه جادهای در استان چهارمحال و بختیاری. بوم شناسی کاربردی، ۸ (۴)، صص: ۶۷-۸۱.
- همامی، محمودرضا؛ سلباری، جواد؛ اسمعیلی، سعیده. (۱۳۹۵). بررسی تنوع و الگوی تلفات جاده ای حیات وحش در پارک ملی گلستان. پژوهش های محیط زیست، ۷ (۱۴)، صص: ۲۱۵-۲۲۴.
- 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(1), 358-371.
- 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(2), 2051-2061.
- Bai, D. F., Chen, P. J., Atzeni, L., Cering, L., Li, Q., Shi, K. (2018). Assessment of habitat suitability of the snow leopard (*Panthera uncia*) in Qomolangma National Nature Reserve based on MaxEnt modelling. *Zoological Research*, 39(6), 373-386.
- Baral, H., Keenan, R. J., Fox, J. C., Stork, N. E., Kasel, S. (2013). Spatial assessment of ecosystem goods and services in complex production landscapes: A case study from south-eastern Australia. *Ecological Complexity*, 13, 35-45.
- Bastos, M. I., Roebeling, P. C., Alves, F. L., Villasante, S., Magalhães Filho, L. (2023). High-risk water pollution hazards affecting Aveiro coastal lagoon (Portugal)—A habitat risk assessment using InVEST. *Ecological Informatics*, 76, 102144.
- Caro, C., Marques, J. C., Cunha, P. P., Teixeira, Z. (2020). Ecosystem services as a resilience descriptor in habitat risk assessment using the InVEST model. *Ecological Indicators*, 115, 106426. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106426>
- Farhadinia, M. S., Ahmadi, M., Sharbafi, E., Khosravi, S., Alinezhad, H., Macdonald, D. W. (2015). Leveraging transboundary conservation partnerships: Persistence of Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor*) in the Iranian Caucasus. *Biological Conservation*, 191, 770-778.
- Kandziora, M., Burkhard, B., Müller, F. (2013). Interactions of ecosystem properties, ecosystem integrity and ecosystem service indicators—A theoretical matrix exercise. *Ecological indicators*, 28, 54-78.
- Laurans, Y., Pascal, N., Binet, T., Brander, L., Clua, E., David, G., Rojat, D. and Seidl, A. (2013). Economic valuation of ecosystem services from coral reefs in the South Pacific: Taking stock of recent experience. *Journal of Environmental Management*, 116, 135-144.
- Li, S., Zhang, H., Zhou, X., Yu, H., Li, W. (2020). Enhancing protected areas for biodiversity and ecosystem services in the Qinghai-Tibet Plateau. *Ecosystem Services*, 43, 101090. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101090>
- Nematollahi, S., Fakheran, S., Kienast, F., Jafari, A. (2020). 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(8), 1-17.
- Oca, G., Reyes, T. (2023). Predicting the habitat suitability of the Philippine Cockatoo (*Cacatua haematuropygia* S. Muller) using ecological niche factor analysis. *Ecosystems and Development Journal*, 13(1), 58-67.
- Pascal, N., Allenbach, M., Brathwaite, A., Burke, L., Le Port, G., Clua, E. (2016). Economic valuation of coral reef ecosystem service of coastal protection: A pragmatic approach. *Ecosystem Services*, 21, 72-80.
- Piet, G., Culhane, F., Jongbloed, R., Robinson, L., Rumes, B., Tamis, J. (2019). An integrated risk-based assessment of the North Sea to guide ecosystem-based management. *Science of the Total Environment*, 654, 694-704.
- Rezazadeh, S., Jahani, A., Makhdom, M., Meigooni, H. G. (2017). Evaluation of the strategic factors of the management of protected areas using SWOT analysis—Case study: Bashgol Protected Area-Qazvin Province. *Open Journal of Ecology*, 7(01), 55-68.
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., ChaplinKramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Grifn, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M., Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W.,

Denu, D., Douglass, J. (2020). InVEST 3.7.0 user's guide. The Natural Capital Project. Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. <https://invest-userguide.readthedocs.io/en/3.5.0/>

Tolessa, T., Senbeta, F., Kidane, M. (2017). The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. *Ecosystem services*, 23, 47-54.

Yang, C., Zhang, P., Wu, Y., Dai, Q., Luo, G., Zhou, H., Zhao, D. and Ran, J. (2021). Livestock limits snow leopard's space use by suppressing its prey, blue sheep, at Gongga Mountain, China. *Global Ecology and Conservation*, 29, e01728. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01728>.