



Integrated assessment of habitat quality and environmental risks for natural ecosystem protection

(Case study; Savojbolagh and Chaharbagh Counties, Alborz Province)

Masoumeh Jorat¹ | Korous Khoshbakht^{2✉} | Seyedeh Fatemeh Aghamir³ | Naghmeh Mobarghei Dinan⁴

1. Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: mjorat@yahoo.com

2. Corresponding Author, Department of Agroecology, Environmental Sciences Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: k_khoshbakht@sbu.ac.ir

3. Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: f.aghamir@sbu.ac.ir

4. Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: n_mobarghaee@sbu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 29 October 2025

Received in revised form 02

December 2025

Accepted 21 December 2025

Keywords:

Risk assessment,

Priority conservation,

Landuse change,

Habitat quality,

InVEST,

ABSTRACT

Modeling habitat quality and identifying risks in order to identify priority conservation areas is an essential tool for managers to implement conservation planning. For this purpose, this study uses InVEST and GIS software in four steps to achieve its objective: 1) prepare land cover and land use (LULC) maps, 2) modeling habitat quality, 3) habitat risk assessment, and 4) identify priority conservation areas in Savajbolagh and Chaharbagh counties (Alborz Province) between 2004 and 2024. The results showed that LULC change has severely impacted over the past two decades, especially the conversion of pasture and agricultural lands into orchard, residential, and industrial zones. Also, the results of habitat quality modeling showed that habitat quality decreased by 4.8%, while risks to it rose by 37.5%. In 2004, conservation priorities were distributed among the first, second, and third categories at 0.4%, 53.5%, and 46.1%, respectively. By 2024, these distributions shifted to 3.5%, 56.1%, and 35% for the same categories. Conservation areas of first and second priority increased by 11.1% in the past 20 years, particularly in the northern rangelands and river valleys. It was also determined that the pasture and river valleys of the northern part, contains 3,498 hectares suitable for inclusion in existing protected areas. This study proves that decision-makers and land-use planners can combine spatial data and modeling tools to identify priority conservation areas to support their conservation and development plans.

Cite this article: Jorat, M., Khoshbakht, K., Aghamir, S.F., & Mobarghei Dinan, N. (2025). Ecohydrological analysis of black carbon effects on accelerated snowmelt in the Alborz highlands using remote sensing and statistical modeling. *Journal of Natural Environment*, 78 (4), 629-647.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.404158.2849>



ارزیابی یکپارچه کیفیت زیستگاه و مخاطرات محیط زیستی به منظور حفاظت از اکوسیستم های طبیعی

(مطالعه شهرستان های ساوجبلاغ و چهارباغ، استان البرز)

معصومه جورنت^۱ | کورس خوشبخت^۲ | سیده فاطمه آقامیر^۳ | نغمه مبرقی دینان^۴

۱. گروه آگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: mjorat@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه آگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: k_khoshbakht@sbu.ac.ir
۳. گروه آگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: f.aghmir@sbu.ac.ir
۴. گروه برنامه ریزی و طراحی محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: n_mobarghaee@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰ کلیدواژه ها: ارزیابی ریسک، اولویت بندی حفاظتی، تغییر کاربری اراضی، کیفیت زیستگاه، InVEST	مدل سازی کیفیت زیستگاه و شناسایی مخاطرات پیش روی آنها به منظور شناسایی مناطق اولویت دار حفاظتی یک ابزار ضروری در دست مدیران جهت اجرای برنامه های حفاظتی است. برای این منظور، این مطالعه با استفاده از نرم افزارهای InVEST و GIS در ۴ گام: (۱) تهیه نقشه های پوشش زمین و کاربری اراضی، (۲) مدل سازی کیفیت زیستگاه، (۳) ارزیابی ریسک زیستگاه و (۴) شناسایی مناطق اولویت دار حفاظتی در شهرستان های ساوجبلاغ و چهارباغ (استان البرز) بین سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۴ پرداخته است. نتایج نشان داد محدوده مطالعاتی طی دو دهه گذشته به شدت تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی به ویژه تبدیل مرتع و اراضی زراعی به باغ-ویلا، مسکونی و صنعتی قرار گرفته است. نتایج مدل سازی نیز نشان داد که کیفیت زیستگاه و مخاطرات پیش روی آن به ترتیب ۴/۸ درصد کاهش و ۳۷/۵ درصد افزایش داشته است. اولویت بندی حفاظتی نیز نشان داد در سال ۱۳۸۳، ۰/۴٪، ۵۳/۵٪ و ۴۶/۱٪ و در سال ۱۴۰۳، ۳/۵٪، ۶۱/۵٪ و ۳۵٪ به ترتیب در اولویت های اول، دوم و سوم حفاظتی قرار داشتند. نتایج نشان دهنده افزایش وسعت طبقات اولویت اول و دوم حفاظتی (۱۱/۱٪) نسبت به ۲۰ سال گذشته است. همچنین مشخص شد که ۳۴۹۸ هکتار از اراضی مرتعی و رود دره های بخش شمالی از کیفیت لازم جهت الحاق به مناطق حفاظت شده فعلی را دارا است. این مطالعه ثابت می کند که تصمیم گیرندگان و برنامه ریزان کاربری زمین می توانند داده های مکانی و ابزارهای مدل سازی را برای شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی ترکیب کنند تا از برنامه های حفاظتی و توسعه ای خود پشتیبانی کنند.

استاد: جورنت، معصومه؛ خوشبخت، کوروس؛ آقامیر، سیده فاطمه؛ و مبرقی دینان، نغمه (۱۴۰۴). ارزیابی یکپارچه کیفیت زیستگاه و مخاطرات محیط زیستی به منظور حفاظت از اکوسیستم های طبیعی (مطالعه شهرستان های ساوجبلاغ و چهارباغ، استان البرز). *محیط زیست طبیعی*، ۷۸ (۴)، ۶۴۷-۶۲۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.404158.2849>



مقدمه

امروزه مسائل محیط زیستی از قبیل تغییرات کاربری اراضی، تخریب زیستگاه‌ها و آلودگی محیط زیست چالش‌های بزرگی برای توسعه پایدار و حفاظت از زیستگاه‌ها و تنوع زیستی ایجاد کرده است که از این میان تغییر کاربری اراضی و به دنبال آن تکه تکه شدن زیستگاه‌ها بزرگترین عامل تهدید کننده تنوع زیستی و کاهش کیفیت زیستگاه به شمار می‌رود (Nematollahi et al., 2022; Jingyan et al., 2022; Hui et al., 2025). بنابراین، در برابر فشارهای فزاینده فعالیت‌های انسانی، حفاظت از کارکرد اکولوژیک این زیستگاه‌ها و تنوع زیستی آنها ضروری است. ارزیابی زیستگاه و شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی از مهمترین رویکردهای حفاظتی است که اجرای مؤثر آن، حفاظت از زیستگاه‌ها و تنوع زیستی را ممکن می‌سازد (Hui et al., 2025).

مطابق توافق نامه‌های بین‌المللی همچون چارچوب جهانی تنوع زیستی کونمینگ-مونترال (K-M GBF) تا سال ۲۰۳۰ در راستای کاهش تهدیدات تنوع زیستی، تأمین نیازهای مردم از طریق استفاده پایدار و تقسیم منافع و همچنین ارائه ابزارها و راه‌حل‌های اجرایی، می‌بایست حداقل ۳۰ درصد از مناطق خشکی و آب‌های جهان تحت عنوان مناطق حفاظت شده، حفاظت و مدیریت گردند. این چارچوب بر توقف و معکوس کردن روند نابودی تنوع زیستی تا سال ۲۰۳۰ و رسیدن به احیای کامل تا سال ۲۰۵۰ تمرکز دارد (Watson et al., 2023). ایران نیز از جمله کشورهای متعهد به این چارچوب جهانی است. طبق آمار رسمی سازمان حفاظت محیط زیست ایران تا سال ۱۴۰۳، وسعت مناطق حفاظت شده ایران تنها ۱۱/۸ درصد از کل مساحت کشور (۱۹/۵ میلیون هکتار) را شامل می‌شود. بنابراین برای جبران کمبود ۱۸/۲ درصدی حداقل وسعت مناطق حفاظتی، ایران باید مرزهای مناطق حفاظت شده فعلی را بازنگری و مناطق جدید با ارزش حفاظتی را شناسایی کند که این امر نیازمند ابزار و روش‌های نوین، علمی و در دسترس برای مدیران متولی حفاظت از محیط زیست کشور است. یک راه برون رفت از این مشکل، شناسایی عرصه‌های جدید دارای ارزش حفاظتی و الحاق آنها به مناطق حفاظت شده موجود است (Abolmaali et al., 2024).

امروزه روش‌های مدل سازی مبتنی بر خدمات اکوسیستمی همانند استفاده از نرم افزار InVEST به دلیل عملکرد ساده و سریع، دسترسی راحت به داده‌ها، نیاز به پارامترهای کمتر، قابلیت انجام در مقیاس مکانی وسیع، مقیاس زمانی درازمدت و بیان نتایج تجزیه و تحلیل در قالب یک نقشه موضوعی، از محبوبیت و کاربرد فراوانی برخوردار است (Admasu et al., 2023; Kim and Yoon, 2025). مدل‌های نرم افزاری InVEST که توسط دانشگاه استنفورد در چارچوب اجرای یک پروژه علمی بین‌المللی تحت عنوان پروژه سرمایه طبیعی (NCP) طراحی شده است، به خوبی توانایی بررسی تعاملات میان خدمات اکوسیستم و ارزیابی کیفی زیستگاه را دارا می‌باشند (Nematollahi et al., 2022). مطالعات مختلفی با محوریت شناسایی عرصه‌های دارای ارزش حفاظتی جهت پشتیبانی از تنوع زیستی با بررسی تغییرات مکانی-زمانی کیفیت زیستگاه و همچنین مد نظر قرار دادن مخاطرات پیش روی زیستگاه و گونه با استفاده از نرم افزار InVEST در سراسر جهان انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به Hui و همکاران (۲۰۲۵) در چین، Tang و همکاران (۲۰۲۴) در جنوب چین، Jeong و همکاران (۲۰۲۴) در کره جنوبی، Umprasoet و همکاران (۲۰۲۳) در تایلند، Zhang و همکاران (۲۰۲۲) در شرق چین، Li و Zhang (۲۰۲۰) در چین اشاره کرد. در ایران نیز مطالعات مختلفی با این هدف انجام شده است که از جمله مهمترین آنها می‌توان به Gharagozlou و همکاران (۲۰۲۵) در شهر قمصر استان کاشان، Abolmaali و همکاران (۲۰۲۴) در بخش مرکزی ایران، Shoja و همکاران (۲۰۲۴) در شهر خرم‌آباد استان لرستان، Erfani و همکاران (۲۰۲۳) در استان کرمان، Nematollahi و همکاران (۲۰۲۲) در استان چهارمحال بختیاری، Kheirkhah Ghehi و همکاران (۲۰۲۱) در منطقه حفاظت شده ورجین استان تهران و مطالعه سازمان حفاظت از محیط زیست ایران با همکاری آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (JICA) (۲۰۱۷) در مناطق ساحلی استان هرمزگان در جنوب ایران اشاره کرد. این مطالعات با هدف بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت زیستگاه، ارزیابی مخاطرات زیستگاه و یا بررسی کارایی مدل در نشان دادن تغییرات مکانی-زمانی کیفیت و تنوع زیستی به منظور شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی انجام شده‌اند. مطالعات کاربردی InVEST در اکوسیستم‌های مختلف خشکی، ساحلی و دریایی در نقاط مختلف جهان و ایران نشان‌دهنده توانمندی این نرم افزار در ارزیابی کیفیت زیستگاه و شناسایی مناطق پرخطر برای حفاظت است. بنابراین، نرم افزار InVEST ابزاری مؤثر و قابل اتکا برای شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی است که به مدیران و محققان کمک می‌کند تا

بر اساس داده‌های مکانی و تهدیدهای پیش‌رو، برنامه‌ریزی حفاظتی بهینه‌ای ارائه دهند (Rafieian and Mahmoudi, 2022; Erfani et al., 2023; Kharazmi et al., 2024). از سوی دیگر طی دو دهه گذشته استان البرز و به‌ویژه محدوده شهرستان‌های چهارباغ و ساوجبلاغ تحت تأثیر افزایش جمعیت و گسترش صنایع با تغییرات زیاد در کاربری اراضی مواجه بوده است که این امر تخریب زیستگاه‌های طبیعی و کاهش تنوع زیستی را به دنبال داشته است. این شرایط حفاظت از عرصه‌های طبیعی این استان برای حفظ پایداری اکوسیستم و بهره‌مندی نسل‌های آتی از آن را از اهمیت زیادی برخوردار می‌کند. از سوی دیگر مطالعات پیشین نشان داد که انتخاب مرز مناطق حفاظت شده موجود در ایران اغلب بر مبنای حفاظت از گونه‌های شکاری انجام گرفته است و چندان از مبنای سیستماتیک و علمی برخوردار نبوده است. ضمن اینکه مرزهای فعلی مناطق حفاظت شده در ایران نیز از نظر دستیابی به اهداف حفاظتی کارآمد نیست و اصلاح مرزهای فعلی این مناطق و انتخاب عرصه‌های جدید و الحاق آن به مناطق حفاظت شده موجود یک ضرورت است. از این‌رو مطالعه حاضر سعی دارد تا با محوریت تلفیق دو رویکرد مدل‌سازی کیفیت زیستگاه و ارزیابی مخاطرات پیش روی زیستگاه با استفاده از نرم‌افزار InVEST، برای نخستین بار رابطه بین تهدیدهای انسانی و سلامت اکولوژیک اکوسیستم را درک نموده و بر مبنای آن به شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی در شهرستان‌های چهارباغ و ساوجبلاغ طی سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۴۰۳ بپردازد.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه: محدوده مطالعاتی این تحقیق با تمرکز بر مرز شهرستان‌های ساوجبلاغ و چهارباغ با مساحت ۱۱۰۳۰۰ هکتار در ۵ کیلومتری غرب شهر کرج در استان البرز و در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۰۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. شهر هشتگرد (مرکز شهرستان ساوجبلاغ) و چهارباغ (مرکز شهرستان چهارباغ) از جمله مهمترین مراکز جمعیتی محدوده مطالعاتی به‌شمار می‌روند و طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ به ترتیب ۲۵۹۹۷۳ و ۴۸۸۲۸ نفر جمعیت را در خود جای داده‌اند. محدوده مطالعاتی دارای ارتفاع ۱۱۶۰ تا ۳۷۰۰ متر از سطح دریا است و از نظر توپوگرافی بخش شمالی شامل کوه، دره و تپه ماهور، بخش مرکزی شامل دشت و بخش جنوبی شامل اراضی پست شوره‌زار می‌باشد. در محدوده مطالعاتی میانگین دمای سالیانه ۱۴ تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر است. علی‌رغم بارندگی کم و به دلیل وجود رودخانه دائمی کردان بخش‌های مرکزی و جنوبی محدوده مطالعاتی از پتانسیل خوبی برای زراعت و باغداری برخوردار است به طوری که شهرستان‌های ساوجبلاغ و چهارباغ با دارا بودن بیش از ۲۷۰۰۰ هکتار اراضی زراعی و گلخانه‌ای و باغ‌های متنوع میوه، قطب گل و گیاه استان البرز محسوب می‌شوند. موقعیت محدوده مطالعاتی در استان البرز در شکل ۱ نشان داده شده است.

روش مطالعه: این پژوهش در چهار مرحله کلی (۱) تهیه نقشه پوشش زمین و کاربری اراضی، (۲) مدل‌سازی کیفیت زیستگاه، (۳) ارزیابی ریسک زیستگاه و (۴) شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی انجام شد.

مرحله ۱: تهیه نقشه پوشش زمین و کاربری اراضی

در این پژوهش نقشه پوشش زمین و کاربری اراضی (LULC)^۲ محدوده مطالعاتی طی سه گام برای سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۴۰۳ تهیه شد. در گام نخست از تکنیک سنجش از دور^۳، کد نویسی در پلتفرم گوگل ارث انجین^۴ استفاده گردید. به این صورت که ابتدا شیب فایل محدوده مطالعاتی به همراه کدهای مربوط به استخراج مجموعه تصاویر ماهواره‌های لندست^۵ (به دلیل دسترسی رایگان، تداوم سری زمانی، تفکیک فضایی ۳۰ متری و قابلیت مقایسه پذیری بالا) و مادیس^۶ (به دلیل دسترسی رایگان، پوشش جهانی سالانه، تصویربرداری روزانه و دقت بالا در شناسایی مناطق شهری و بزرگ مقیاس) وارد پلتفرم گوگل ارث انجین شد. سپس، مجموعه تصاویر ماهواره لندست ۵ (LANDSAT/LC05/C02/T1_TOA) برای سال ۱۳۸۳ با فیلتر زمانی (-2004-01-01)

^۲Land Use Land Cover

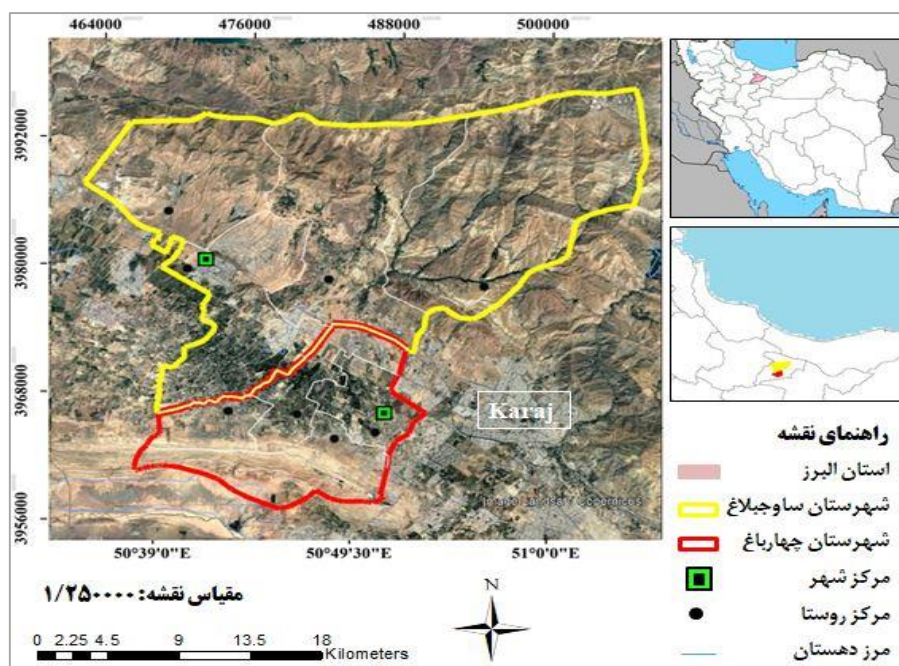
^۳Remote Sensing

^۴Google Earth Engine

^۵Landsat

^۶MODIS

01-01-2005) و لندست ۸ (LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA) برای سال ۱۴۰۳ با فیلتر زمانی (2024-01-01 تا 01-01-2025) و ماهواره مادیس (MODIS/061/MCD12Q1) بارگذاری و برای سال‌های مدنظر با فیلتر پوشش ابری کمتر از ۱۰ درصد انتخاب و پردازش شدند. در این پردازش، باندهای طیفی (B2 تا B7) و باند حرارتی (B10) مقیاس‌بندی شده و شاخص‌های NDVI (برای پوشش گیاهی) و NDWI (برای آب) محاسبه شدند. تصاویر پردازش‌شده به صورت میانه (median) ترکیب شده و به نقشه اضافه شدند. در ادامه، داده‌های مادیس برای همان بازه زمانی و محدوده مطالعاتی فیلتر شده و باند پوشش زمین (LC_Type2) انتخاب شدند. سپس، تصاویر لندست و مادیس با هم ترکیب شده و یک مجموعه داده واحد (stack) ایجاد شد. برای طبقه‌بندی، ۶۰۰ نمونه آموزشی به صورت تصادفی از داده‌های ترکیبی با استفاده از باند پوشش زمین مادیس تولید شد. سپس با استفاده از الگوریتم نظارت شده جنگل تصادفی^۷ با ۱۰۰ درخت و اعتبار سنجی متقابل ۱۰ تکه‌ای^۸، تصاویر براساس نمونه‌های آموزشی طبقه‌بندی شده و نقشه اولیه تولید و به صورت فایل رستری استخراج گردید. در گام دوم، تصاویر ماهواره‌ای اولیه در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 به مختصات مکانی (WGS-1984-UTM-Zone-39N) و اندازه پیکسل ۳۰ متر تبدیل شدند و سپس طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از ماژول تقسیم‌بندی^۹ در محیط نرم‌افزار TerrSet انجام شد. در گام سوم جهت ارزیابی صحت تصاویر پردازش شده، با استفاده از پیمایش میدانی ۱۶۳ نقطه کنترل زمینی برداشت شد و به دنبال آن ماتریس خطا^{۱۰} و ضریب کاپا^{۱۱} تهیه شد. سپس به منظور ارتقاء دقت نقشه کاربری اراضی تهیه شده از پیمایش میدانی، انطباق با اسناد و مطالعات مرتبط و همچنین تصاویر نرم‌افزار گوگل ارث پرو^{۱۲} بهره گرفته شد.



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی در استان البرز

مرحله ۲: مدل‌سازی کیفیت زیستگاه

زیستگاه شامل منابع و شرایط ضروری برای بقا و ادامه حیات افراد و جمعیت‌های زیستی است و کیفیت زیستگاه به معنای میزان مناسب بودن محیط برای پشتیبانی از مراحل مختلف زندگی جانداران از جمله تولیدمثل، پرورش نوزادان و مهاجرت بزرگ سالان است (Liu et al., 2022). در این مطالعه از مدل کیفیت زیستگاه نرم‌افزار InVEST 3.13.0 استفاده شد. این مدل کیفیت

⁷Random Forest

⁸10-Fold Cross-Validation

⁹Segmentation Classifiers

¹⁰Confusion Matrix

¹¹Kappa Coefficient

¹²Google Earth Pro

زیستگاه را براساس مطلوبیت زیستگاه و تأثیر عوامل تهدیدکننده روی زیستگاه در بازه عددی بین ۰ تا ۱ محاسبه می‌کند، هرچه این امتیاز به ۱ نزدیکتر باشد، کیفیت زیستگاه نیز بالاتر است (Sharp et al., 2022). اگر چه محدودیت‌های مانند عدم در نظر گرفتن تعاملات گونه‌ای و عدم دخالت فاکتورهای غیرمستقیم مانند سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریتی را در فرآیند مدل سازی دارد (Mohammadyari et al., 2025) ولی به دلیل قابلیت انجام در مقیاس مکانی وسیع، مقیاس زمانی دراز مدت، بیان نتایج تجزیه و تحلیل در قالب یک نقشه موضوعی، تعیین حساسیت هر یک از انواع زیستگاه‌ها نسبت به تهدیدهای گوناگون و تعیین اثر نسبی هر تهدید کاربرد فراوانی دارد (Sharp et al., 2022).

نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۴۰۳ به همراه نقشه محدوده مطالعاتی، جدول‌های امتیازدهی تهدیدها و میزان حساسیت هر یک از طبقات کاربری اراضی به عوامل تهدیدکننده (با فرمت CSV) از جمله داده‌های اولیه ورودی به مدل به شمار می‌روند. در این مطالعه، کاربری‌هایی مانند مراتع و رودخانه به عنوان زیستگاه (امتیاز مطلوبیت = ۱)، زمین‌های زراعی، باغ‌های میوه و زمین‌های بایر به عنوان نیمه زیستگاه (امتیاز مطلوبیت = ۰/۵)، و جاده‌ها، مناطق مسکونی و مناطق صنعتی به عنوان غیرزیستگاه (امتیاز مطلوبیت = ۰) در نظر گرفته شدند. همچنین عوامل تهدیدکننده کیفیت زیستگاه نیز با کمک مرور مطالعات پیشین، رویکرد دلفی و استفاده از پرسشنامه با نظر ۵ نفر کارشناس آگاه به هدف مطالعه (۲ نفر کارشناس محیط زیست، ۱ نفر کارشناس جهاد کشاورزی، ۲ نفر عضو هیأت علمی دانشگاه) و بازدید میدانی شناسایی شدند. این عوامل تهدیدکننده شامل مناطق صنعتی، مراکز مسکونی، بزرگراه‌ها (جاده اصلی)، جاده خاکی (فرعی)، راه آهن، معادن، مرکز دفن پسماند (لندفیل)، پهنه سیلابی، باغ‌های میوه، باغ-ویلا و اراضی زراعی بودند. نقشه‌های پراکنش و محدوده تأثیر هر یک از عوامل تهدیدکننده نیز در نرم افزار ArcMap 10.8 تهیه شدند.

میزان تأثیر هر یک از عوامل تهدیدکننده بر روی طبقات کاربری اراضی براساس چهار عامل (۱) تأثیر نسبی تهدید، (۲) حداکثر فاصله تأثیر تهدید، (۳) میزان در دسترس بودن تهدید و (۴) میزان حساسیت زیستگاه به عوامل تهدید تعیین شد. در جدول ۱ عوامل تهدیدکننده زیستگاه، میزان مطلوبیت زیستگاه و حساسیت هر یک از انواع کاربری اراضی به تهدیدها ارائه شده است. مبنای تعیین حداکثر فاصله تأثیر، وزن و نوع تابع تأثیر عوامل تهدیدکننده به همراه میزان حساسیت هر یک از طبقات کاربری اراضی نسبت به عوامل تهدیدکننده و همچنین امتیاز عددی میزان مطلوبیت طبقات کاربری اراضی به عنوان زیستگاه براساس نظرات متخصصان، راهنمای مدل و تعریف کاربر انجام شده است. در این مدل شاخص کیفیت زیستگاه براساس معادله ۱ محاسبه شد. در نهایت محدوده مطالعاتی از نظر کیفیت به سه طبقه زیاد (۱-۰/۷)، متوسط (۰/۷-۰/۳) و کم (۰/۳-۰) طبقه بندی شد (Sharp et al., 2022).

$$Q_{ij} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{ij}^z}{D_{ij}^z + K^z} \right) \right] \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، Q_{ij} کیفیت زیستگاه در پیکسل i در نوع کاربری اراضی (زیستگاه) j است که مقداری بین ۰ تا ۱ دارد، H_j میزان مناسب بودن هر یک از انواع کاربری به عنوان زیستگاه j است، D_{ij} سطح تنش وارد شده بر سلول i در کاربری j می‌باشد، K ثابت نیمه اشباع^{۱۳} است که معمولاً نصف بیشترین مقدار D_{ij} در نظر گرفته می‌شود و Z یک ثابت نرمال سازی است که به طور معمول برابر با ۲/۵ قرار داده می‌شود.

¹³Half-Saturation Constant

جدول ۱- عوامل تهدیدکننده زیستگاه، میزان مطلوبیت زیستگاه و حساسیت هر یک از انواع کاربری اراضی به تهدیدها

عوامل تهدیدکننده											
فاکتور تهدید	مناطق صنعتی	مراکز مسکونی	باغ-ویلا	جاده اصلی	جاده فرعی	معادن	لندفیل	پهنه سیلابی	راه آهن	باغ میوه	اراضی زراعی
حداکثر فاصله تاثیر (کیلومتر)	۵	۵	۱	۳	۲	۳	۳	۱	۲	۱	۲
وزن تاثیر	۱	۱	۰/۶	۱	۰/۷	۰/۷	۰/۸	۰/۴	۰/۶	۰/۴	۰/۵
تابع تاثیر	نمایی	نمایی	نمایی	خطی	خطی	نمایی	نمایی	خطی	خطی	خطی	خطی
نوع کاربری اراضی	امتیاز مطلوبیت زیستگاه	میزان حساسیت به تهدید									
باغ	۰/۵	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۵
جاده	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
رودخانه	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۸	۰/۴	۰/۸	۱	۰/۴	۰/۳	۰/۸
مسکونی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مرتع	۱	۱	۱	۰/۷	۱	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۶	۰/۵
صنعتی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
اراضی بایر	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۳	۰/۵	۰/۴
اراضی زراعی	۰/۵	۱	۱	۰/۶	۰/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۵

مرحله ۳: ارزیابی ریسک زیستگاه

ریسک زیستگاه به احتمال و شدت وقوع آسیب به یک زیستگاه طبیعی اشاره دارد که می‌تواند تهدیدکننده بقا و سلامت آن زیستگاه و گونه‌های آن باشد. این ریسک‌ها اغلب ناشی از فعالیت‌های توسعه‌ای انسان مانند تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین متوجه زیستگاه و گونه‌ها می‌شود. ارزیابی ریسک زیستگاه نیز فرآیندی برای شناسایی، تحلیل و رتبه‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی مؤثر بر زیستگاه است که به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کند (Arkema et al., 2014; He et al., 2025). در این مطالعه مدل ارزیابی ریسک زیستگاه نرم‌افزار InVEST برای محاسبه ریسک تجمعی زیستگاه به کار گرفته شد. نقشه‌های مکانی (مرز محدوده مطالعاتی، پراکنش زیستگاه‌ها و پراکنش عوامل تنش‌زا)، جدول‌ها (امتیازات معیارهای مواجهه، حساسیت و تاب‌آوری در فرمت CSV) و پارامترها (وضوح تحلیل (متر)، نوع معادله ریسک (اقلیدسی) و نوع تخریب (خطی یا تصاعدی) به عنوان داده‌های ورودی مدل به شمار می‌روند. در این پژوهش، همانند مدل کیفیت زیستگاه، مناطق صنعتی، مراکز مسکونی، بزرگراه‌ها (جاده اصلی)، جاده خاکی (فرعی)، راه آهن، معادن، مرکز دفن پسماند (لندفیل)، پهنه سیلابی، باغ‌های میوه، باغ-ویلا و اراضی زراعی به عنوان عوامل تنش‌زا شناسایی شدند.

کمی‌سازی معیار مواجهه در این مدل با امتیازدهی چهار شاخص (۱) همپوشانی مکانی، (۲) همپوشانی زمانی بین زیستگاه‌ها و عوامل تنش‌زا، (۳) شدت تنش و (۴) اثربخشی راهبردهای مدیریتی در کاهش مواجهه انجام شد. برای کمی‌سازی پیامد نیز هفت شاخص که شامل سه شاخص حساسیت (۱- تغییرات در مساحت، ۲- تغییرات در ساختار، ۳- تکرار دفعات اختلال طبیعی) و چهار شاخص تاب‌آوری (۱- نرخ مرگومیر طبیعی، ۲- زمان بازسازی، ۳- نرخ تجدید نسل، ۴- اتصال به زیستگاه) بود، امتیازدهی شد. توضیحات و امتیازهای اعمال شده برای این یازده شاخص در جدول ۱ پیوست‌ها ارائه شده است. حداکثر امتیاز هر شاخص ۳ بود؛ بنابراین تمام پارامترها از ریسک میانگین بین ۱ (کم‌ترین ریسک) تا ۳ (بیش‌ترین ریسک) برخوردار شدند (Genua-Olmedo et al., 2023; Arkema et al., 2014). مدل همچنین امکان وزن‌دهی به امتیازها را براساس کیفیت داده‌ها به ترتیب با امتیازهای ۱ (زیاد)، ۲ (متوسط) و ۳ (کم) و اهمیت داده‌ها با امتیازهای ۱ (مهم)، ۲ (متوسط) و ۳ (کم) فراهم می‌کند (Arkema et al., 2014). امتیازدهی به هر یک از معیارهای مواجهه و پیامد به همراه رتبه‌بندی برهمکنش‌ها، کیفیت داده‌ها و وزن معیارها با کمک راهنمای مدل، نظرات متخصصان و تعریف کاربر انجام پذیرفت که جزئیات بیشتر آن در جدول ۲ پیوست‌ها ارائه شده است. این مدل، ریسک تجمعی را برای هر برهمکنش زیستگاه-عامل تنش‌زا به صورت تابعی از

احتمال مواجهه E (۴) هر زیستگاه با هر عامل تنش‌زا و پیامدهای C (۵) ناشی از آن و براساس کیفیت داده‌ها و اهمیت هر معیار مطابق معادله ۲ محاسبه می‌کند (Arkema et al., 2014).

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{e_i}{d_i \cdot w_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i \cdot w_i}}, \quad C = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{c_i}{d_i \cdot w_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i \cdot w_i}}. \quad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله، e_i و c_i به ترتیب امتیاز معیارهای مواجهه و پیامد برای معیار i هستند، d_i نشان‌دهنده امتیاز کیفیت داده‌ها برای معیار i ، w_i وزن اهمیت اختصاص یافته به معیار i و N تعداد معیارهای مواجهه یا پیامد است که برای تعامل زیستگاه-عامل تنش‌زا در نظر گرفته شد.

ترکیب مقادیر مواجهه و پیامد، ریسک تجمعی را برای هر ترکیب عامل تنش‌زا-زیستگاه در هر پیکسل ایجاد می‌کند. در این پژوهش از معادله ریسک اقلیدسی^{۱۶} (معادله ۳) و تابع کاهش خطی برای محاسبه ریسک استفاده شد. زیرا فرض بر این است که اثر همپوشانی مکانی به صورت خطی با افزایش فاصله کاهش می‌یابد. همچنین، ریسک تجمعی تمام عوامل تنش‌زا در هر پیکسل با جمع تمام امتیازهای ریسک برای هر ترکیب زیستگاه و عامل تنش‌زا محاسبه شد (معادله ۴). خروجی این مدل نیز شامل نقشه‌های رستری با وضوح مکانی تعیین شده توسط کاربر است که نشان‌دهنده توزیع مکانی ریسک تجمعی زیستگاه است. در نهایت، نقشه نهایی براساس ریسک تجمعی به سه طبقه ریسک کم ($0-0.3$)، متوسط ($0.3-0.6$) و زیاد ($0.6-1$) تقسیم‌بندی شد (Arkema et al., 2014).

$$R_{ij} = \sqrt{(E - 1)^2 + (C - 1)^2} \quad \text{معادله (۳)} \quad R_i = \sum_{j=1}^J R_{ij}. \quad \text{معادله (۴)}$$

در معادلات فوق، R_{ij} ریسک زیستگاه i ناشی از عامل تنش‌زای j ، R_i ریسک تجمعی زیستگاه E و C به ترتیب امتیازهای مواجهه و پیامد هستند.

مرحله ۴: شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی

اتحادیه جهانی حفاظت (IUCN)^{۱۷} پهنه‌بندی را ابزاری مهم برای برنامه‌ریزی حفاظتی یک اکوسیستم می‌داند و معتقد است یک اکوسیستم حداقل باید دارای سه پهنه (۱) پهنه ویژه و یا با ارزش منحصر به فرد جهت حفاظت از زیستگاه‌ها و گونه‌ها، (۲) پهنه استفاده سنتی و بومی جهت حمایت از معیشت بومیان و (۳) پهنه با توسعه محدود باشد (Dudley, 2008). از این‌رو در این مطالعه در گام آخر به منظور شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی در محدوده مطالعاتی، از روش پهنه‌بندی براساس نتایج کیفیت و مخاطرات پیش‌رو زیستگاه مطابق معادله ۵ در نرم‌افزار ArcGIS بهره گرفته شد. به این صورت که مناطقی که از کیفیت زیاد و ریسک کم برخوردار بودند جهت حفاظت از زیستگاه‌ها و گونه‌ها به عنوان پهنه دارای اولویت اول حفاظتی، مناطقی که از کیفیت و ریسک متوسط برخوردار بودند جهت استفاده سنتی و بومی به عنوان پهنه دارای اولویت دوم حفاظتی و مناطقی که از کیفیت کم و ریسک زیاد برخوردار بودند جهت توسعه محدود به عنوان پهنه دارای اولویت سوم حفاظتی انتخاب شدند.

$$HZ = \sqrt[2]{HQ \times (1 - HR)}$$

در این معادله HZ پهنه‌بندی زیستگاه، HQ کیفیت زیستگاه و HR ریسک زیستگاه است.

^{۱۴}Exposure

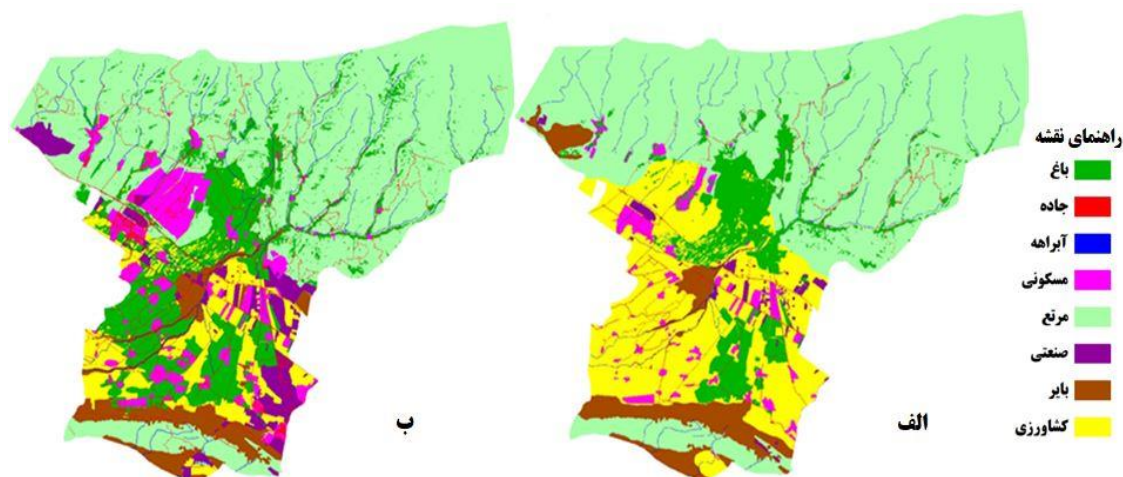
^{۱۵}Consequence

^{۱۶}Euclidean Risk Equation

^{۱۷}International Union for Conservation of Nature

یافته‌های پژوهش

واکاوی تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی: در این پژوهش، نقشه پوشش زمین و کاربری اراضی محدوده مطالعاتی برای سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۴۰۳ در ۸ طبقه کاربری مرتع، زمین بایر، رودخانه و آبراهه، اراضی کشاورزی، مناطق صنعتی و خدماتی، مناطق مسکونی، باغ و جاده با استفاده از روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای، بازدید میدانی، نرم‌افزار گوگل ارث و مرور اسناد و منابع مرتبط موجود تهیه شد (شکل ۲). دقت کلی طبقه‌بندی برای سال ۱۳۸۳ برابر ۸۸/۹٪ با ضریب کاپای ۰/۸۷ و برای سال ۱۴۰۳ برابر ۹۱/۴٪ با ضریب کاپای ۰/۹۰ به دست آمد که نشان‌دهنده کیفیت بالای نقشه‌های تولیدی است (جدول ۲). کاربری مرتع در دو دهه گذشته از سال ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۳ به ترتیب با ۵۶٪ و ۵۴/۷٪ بیشترین و کاربری‌های آبراهه (۹/۰٪) و مناطق صنعتی (۹۶/۰٪) در سال ۱۳۸۳ و کاربری‌های آبراهه (۱/۳٪) و جاده (۲/۹٪) در سال ۱۴۰۳ کمترین وسعت را دارا بودند.



شکل ۲- پوشش زمین و کاربری اراضی محدوده مطالعاتی. الف) سال ۱۳۸۳ و ب) سال ۱۴۰۳

جدول ۲- ماتریس خطا جهت ارزیابی صحت طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی

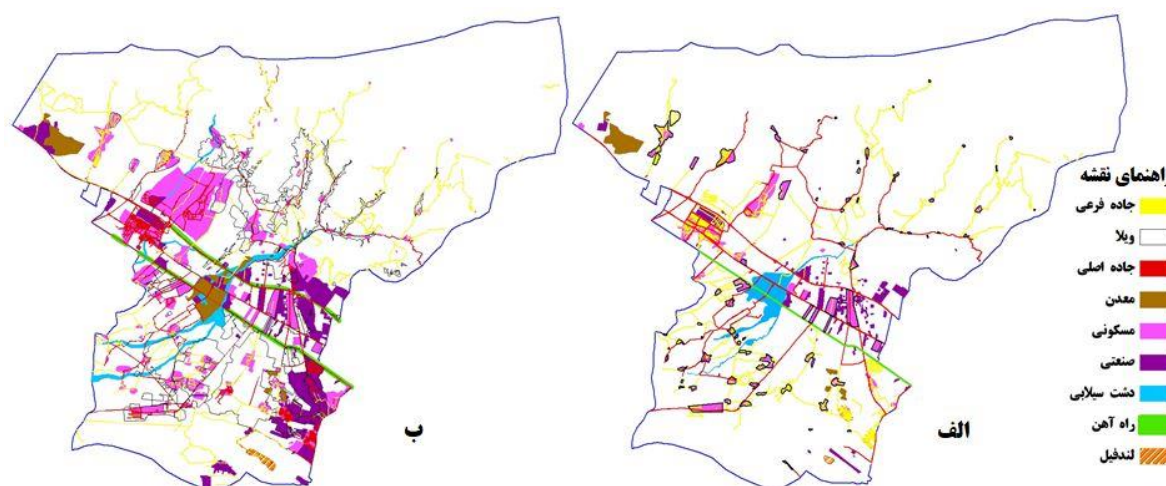
نوع سنجنده	طبقات کاربری	مرتع	زمین بایر	صنعتی	مسکونی	کشاورزی	باغ	آبراهه	جاده
۱۳۸۳	دقت استفاده کننده	۹۰/۶۲	۸۰/۹۵	۸۴/۶۱	۱۰۰	۹۳/۳۳	۷۳/۰۷	۱۰۰	۱۰۰
	دقت تولید کننده	۹۶/۶۶	۸۹/۴۷	۸۴/۶۱	۸۸/۲۳	۸۲/۳۵	۹۰/۴۷	۸۴/۶۱	۹۳/۷۵
	دقت کلی	۸۸/۹۵				ضریب کاپا	۰/۸۷		
۱۴۰۳	دقت استفاده کننده	۹۰/۶۲	۸۹/۴۷	۸۶/۶۶	۱۰۰	۹۲/۵۹	۷۹/۱۶	۱۰۰	۱۰۰
	دقت تولید کننده	۹۶/۶۶	۸۵	۹۰/۸۵	۹۰	۸۶/۲۰	۹۰/۴۷	۹۱/۶۶	۱۰۰
	دقت کلی	۹۱/۴۱				ضریب کاپا	۰/۹۰		

میزان تغییرات وسعت طبقات مختلف کاربری اراضی طی ۲۰ ساله گذشته در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در دو دهه گذشته، کاربری‌های کشاورزی، مرتع و اراضی بایر به ترتیب با ۱۵۸۹۶، ۱۴۳۳ و ۵۵۶ هکتار بیشترین کاهش و کاربری‌های باغ، مراکز مسکونی، مناطق صنعتی، جاده و آبراهه به ترتیب با ۷۳۴۳، ۴۱۵۳، ۳۸۹۲، ۲۰۲۴ و ۴۷۳ هکتار بیشترین افزایش را داشته‌اند. رشد جاده‌ها، مراکز مسکونی، مناطق صنعتی و باغ‌ها (که عمدتاً از نوع باغ-ویلا می‌باشند)، نشان‌دهنده رویکرد اقتصاد محور محدوده مطالعاتی ناشی از افزایش جمعیت است. همچنین کاهش پوشش‌های طبیعی زمین همچون مراتع و اراضی بایر موجبات کاهش کیفیت زیستگاه و تنوع زیستی خواهد شد. در مجموع از کل مساحت محدوده مطالعاتی (۱۱۰۳۰۰ هکتار)، مساحتی در حدود ۱۷۸۸۵ هکتار (۱۶/۲۲ درصد) طی دو دهه گذشته در معرض تغییر کاربری قرار گرفته است که بیشتر این تغییرات در بخش‌های مرکزی و جنوبی محدوده مطالعاتی پیرامون مناطق مسکونی، اراضی زراعی و صنعتی بوده است و در بخش شمالی به دلیل کوهستانی بودن منطقه کمترین تغییر کاربری اراضی رخ داده است.

جدول ۳- تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی بین سال ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۳

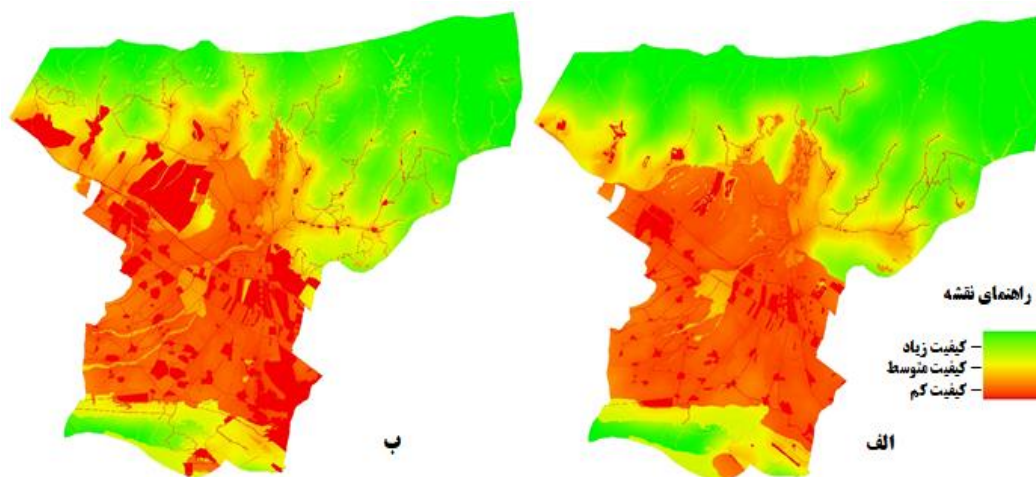
نوع کاربری	مرتج	زمین بایر	صنعتی	مسکونی	کشاورزی	باغ	آبراهه	جاده
۱۳۸۳	۶۱۸۰۱	۶۸۲۱	۱۰۶۴	۲۹۵۱	۲۴۸۴۶	۱۰۶۳۷	۹۹۳	۱۱۸۸
نسبت (هکتار)	۵۶/۰۳	۶/۱۸	۰/۹۶	۲/۶۸	۲۲/۵۳	۹/۶۴	۰/۹۰	۱/۰۸
نسبت (درصد)	۶۰۳۶۸	۶۲۶۵	۴۹۵۶	۷۱۰۴	۸۹۴۹	۱۷۹۸۰	۱۴۶۶	۳۲۱۲
۱۴۰۳	۵۴/۷۳	۵/۶۸	۴/۴۹	۶/۴۴	۸/۱۱	۱۶/۳۰	۱/۳۳	۲/۹۱
نسبت (درصد)	-۱۴۳۳	-۵۵۶	۳۸۹۲	۴۱۵۳	-۱۵۸۹۶	۷۳۴۳	۴۷۳	۲۰۲۴
مساحت تغییرات طی دو دهه (هکتار)	-۱/۳۰	-۰/۵۰	۳/۵۳	۳/۷۶	-۱۴/۴۱	۶/۶۶	۰/۴۳	۱/۸۴
نسبت تغییرات طی دو دهه (هکتار)								

شناسایی و نقشه‌سازی عوامل تهدیدکننده زیستگاه: یکی از مهمترین اقدام‌ها در فرآیند مدل‌سازی کیفیت و ریسک زیستگاه، شناسایی و تعیین محدوده پراکنش عوامل تهدیدکننده زیستگاه است. در این مطالعه با استفاده از رویکرد دلفی و ابزار پرسشنامه عوامل تهدیدکننده زیستگاه شناسایی گردید. در شکل ۳ محدوده تأثیر این عوامل تهدیدکننده در محدوده مطالعاتی در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۴۰۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- توزیع و محدوده تأثیر عوامل تهدیدکننده زیستگاه در محدوده مطالعاتی. الف) سال ۱۳۸۳ و ب) سال ۱۴۰۳

مدل‌سازی کیفیت زیستگاه: نتایج مدل‌سازی کیفیت زیستگاه توسط نرم‌افزار InVEST در شکل ۴ و تغییرات کمی وسعت طبقات کیفیت زیستگاه در جدول ۳ در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که طی دو دهه گذشته کیفیت زیستگاه روند کاهشی داشته است. به گونه‌ای که مناطق با طبقه کیفی زیاد در حدود ۵۳۰۰ هکتار کاهش کیفیت داشته و به مناطق با طبقات کیفی کم و متوسط تبدیل شده است. این تغییر بیشتر در بخش‌های مرکزی و جنوبی محدوده مطالعاتی تحت تأثیر فعالیت‌های توسعه‌ای انسان رخ داده است که از بیشترین تراکم جمعیتی و گسترش مناطق صنعتی برخوردار است. گسترش مناطق مسکونی و صنعتی، توسعه بزرگراه‌ها و مسیرهای دسترسی و سرمایه‌گذاری برای ساخت ویلا و گلخانه در محدوده مطالعاتی از جمله مهم‌ترین دلایل این کاهش کیفیت به‌شمار می‌روند. بخش شمالی محدوده مطالعاتی به‌دلیل کوهستانی و پر شیب بودن کمتر تحت تأثیر برنامه‌های توسعه‌ای قرار گرفته است و مهمترین عامل تهدیدکننده کیفیت زیستگاه در این بخش را گسترش جاده‌های خاکی و فرعی تشکیل می‌دهد.

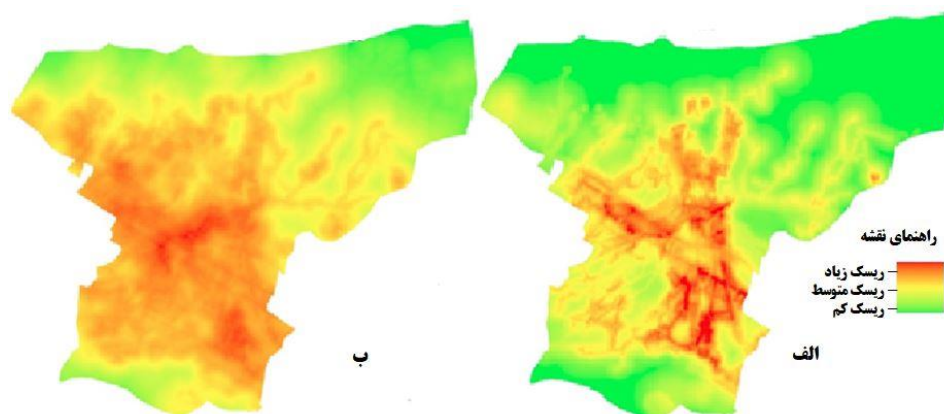


شکل ۴- نتایج مدل‌سازی کیفیت زیستگاه توسط نرم‌افزار InVEST در محدوده مطالعاتی. الف) سال ۱۳۸۳ و ب) سال ۱۴۰۳

جدول ۳- تغییرات وسعت و درصد طبقات کیفیت زیستگاه در محدوده مطالعاتی در دو دهه گذشته

سال	وضعیت کیفی زیستگاه	هکتار	درصد
سال ۱۳۸۳	کم	۴۲۲۲۹	۳۸/۳
	متوسط	۲۲۰۲۲	۲۰
	زیاد	۴۶۰۴۹	۴۱/۷
سال ۱۴۰۳	کم	۴۴۹۵۰	۴۰/۸
	متوسط	۲۴۶۰۱	۲۲/۳
	زیاد	۴۰۷۴۹	۳۶/۹
تغییرات ۱۳۸۳-۱۴۰۳	کم	۲۷۲۱	+۲/۵
	متوسط	۲۵۷۹	+۲/۳
	زیاد	-۵۳۰۰	-۴/۸

ارزیابی ریسک زیستگاه: نتایج ارزیابی ریسک زیستگاه توسط نرم‌افزار InVEST در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۴۰۳ در شکل ۵ نشان داده شده است. بخش مرکزی محدوده مطالعاتی با توجه به تمرکز بالای عوامل تنش‌زا همچون مناطق صنعتی، مراکز مسکونی و اراضی کشاورزی، جاده‌ها و معادن شن و ماسه از شدت ریسک بالاتری برخوردار است و هر چه به سمت شمال و جنوب محدوده مطالعاتی پیش‌روی کنیم از شدت ریسک کاسته می‌شود.



شکل ۵- توزیع ریسک زیستگاه در محدوده مطالعاتی. الف) سال ۱۳۸۳ و ب) سال ۱۴۰۳

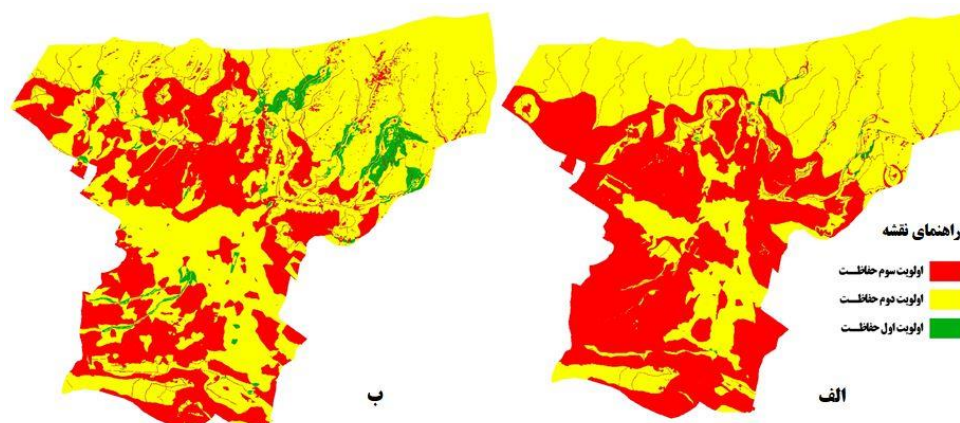
تغییرات وسعت و درصد طبقات ریسک زیستگاه در محدوده مطالعاتی در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۴۰۳ در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد طبقه ریسک زیاد طی دو دهه گذشته ۲۷/۸ درصد افزایش داشته است به طوری که از ۹/۳ درصد در سال ۱۳۸۳ به ۳۷/۱ درصد در سال ۱۴۰۳ رسیده است. این روند برای طبقه ریسک متوسط نیز صادق است به طوری که از ۳۰/۵ درصد در

سال ۱۳۸۳ به ۴۰/۱ درصد در سال ۱۴۰۳ افزایش داشته است. در مجموع افزایش ۳۷/۵ درصدی ریسک‌های متوسط و زیاد طی دو دهه گذشته بیانگر شدت زیاد توسعه انسانی و گسترش کاربری‌های بزرگراه، مراکز مسکونی، مناطق صنعتی و باغ-ویلاها به‌ویژه در بخش‌های مرکزی و جنوبی محدوده مطالعاتی است.

جدول ۴- تغییرات وسعت و درصد طبقات ریسک زیستگاه در محدوده مطالعاتی طی دو دهه گذشته

سال	وضعیت ریسک زیستگاه	هکتار	درصد
سال ۱۳۸۳	کم	۶۶۴۲۰	۶۰/۲
	متوسط	۳۳۵۹۰	۳۰/۵
	زیاد	۱۰۲۹۰	۹/۳
سال ۱۴۰۳	کم	۲۵۰۸۸	۲۲/۸
	متوسط	۴۴۲۵۵	۴۰/۱
	زیاد	۴۰۹۲۷	۳۷/۱
تغییرات ۱۳۸۳-۱۴۰۳	کم	-۴۱۳۳۳	-۳۷/۵
	متوسط	۱۰۶۶۶	+۹/۷
	زیاد	۳۰۶۳۲	+۲۷/۸

اولویت‌بندی حفاظتی محدوده مطالعاتی: کیفیت زیستگاه و ریسک تجمعی به‌صورت مکمل در اولویت‌بندی حفاظتی عمل می‌کنند. زیستگاه‌های با کیفیت بالا و شدت ریسک کم معمولاً از اولویت حفاظتی بالاتری برخوردار خواهند بود و حفاظت از آنها می‌تواند از خسارات اکولوژیک بزرگ جلوگیری کند. اولویت‌بندی حفاظتی محدوده مطالعاتی در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۴۰۳ در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان‌دهنده افزایش وسعت طبقه اولویت اول حفاظتی به‌ویژه در بخش شمالی محدوده مطالعاتی در اراضی مرتعی و رود دره‌ها نسبت به ۲۰ سال گذشته است.



شکل ۶- پراکنش مناطق دارای اولویت حفاظتی در محدوده مطالعاتی. الف) سال ۱۳۸۳ و ب) سال ۱۴۰۳

همچنین در جدول ۵ مساحت و درصد طبقات دارای اولویت حفاظتی در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۴۰۳ و تغییرات آنها طی دو دهه گذشته ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در سال ۱۳۸۳، فقط ۰/۴ درصد از محدوده مطالعاتی در اولویت نخست حفاظتی قرار دارد و این مقدار در سال ۱۴۰۳ به ۳/۵ درصد افزایش پیدا می‌کند. این امر بیانگر گسترش ریسک‌ها و به‌دنبال آن کاهش کیفیت زیستگاه طی دو دهه گذشته است که باعث افزایش عرصه‌های نیازمند حفاظت شده است و اگر روند توسعه در منطقه به‌همین روال ادامه داشته باشد در آینده می‌بایست شاهد عرصه‌های بیشتری جهت حفاظت بود. همین روند برای مناطق دارای اولویت دوم حفاظتی نیز صدق می‌کند و این مناطق از ۵۳/۵ درصد در

سال ۱۳۸۳ به ۶۱/۵ درصد در سال ۱۴۰۳ افزایش داشته است. قرار گرفتن ۵۳/۹ درصد و ۶۵ درصد از کل مساحت محدوده مطالعاتی به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۴۰۳ در بالاترین رده حفاظتی (اولویت ۱ و ۲) نشان‌دهنده این واقعیت است که محدوده زیستگاه‌های به واسطه فعالیت توسعه‌ای انسان به طور دائم متحمل ریسک‌های زیادی بوده و کیفیت آنها در حال کاسته شدن است. بنابراین تدوین برنامه‌های راهبردی و به دنبال آن برنامه اقدام جهت حفاظت از این زیستگاه‌ها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

جدول ۵- مساحت و درصد طبقات دارای اولویت حفاظتی و تغییرات آنها طی دو دهه گذشته

سال	اولویت‌بندی حفاظتی	هکتار	درصد
سال ۱۳۸۳	اولویت اول	۳۹۵	۰/۴
	اولویت دوم	۵۹۰۵۷	۵۳/۵
	اولویت سوم	۵۰۸۴۸	۴۶/۱
سال ۱۴۰۳	اولویت اول	۳۸۹۲	۳/۵
	اولویت دوم	۶۷۸۴۱	۶۱/۵
	اولویت سوم	۳۸۵۶۷	۳۵
تغییرات ۱۳۸۳-۱۴۰۳	اولویت اول	۳۴۹۸	۳/۱
	اولویت دوم	۸۷۸۴	۸
	اولویت سوم	-۱۳۲۸۲	-۱۱/۱

بحث

نخستین هدف این مطالعه تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین در محدوده مطالعاتی و بررسی تغییرات آن طی دو دهه گذشته بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در دو دهه گذشته پوشش طبیعی زمین در محدوده مطالعاتی که عمدتاً شامل مراتع است تحت تأثیر فشار ناشی از توسعه صنعتی و کشاورزی از بین رفته است و با کاربری‌هایی از قبیل باغ-ویلا، جاده‌ها و مناطق صنعتی جایگزین شده است. نتایج سایر محققان همچون Kharazmi و همکاران (۲۰۲۴)، Abolmaali و همکاران (۲۰۲۴)، Rafieian و Mahmoudi (۲۰۲۲)، Jingyan و همکاران (۲۰۲۲) و Zarandian و همکاران (۲۰۱۶) نیز تأکید بر آن دارد که فشارهای ناشی از توسعه صنعتی و گسترش مراکز مسکونی مهمترین عامل از بین رفتن پوشش طبیعی زمین است. همچنین نتایج نشان داد که در دو دهه گذشته کاربری اراضی زراعی در محدوده مطالعاتی بیشتر از سایر کاربری‌ها دستخوش تغییر شده است که با مطالعه Kharazmi و همکاران (۲۰۲۴) برای استان البرز مطابقت دارد. از سوی دیگر مطالعه Kharazmi و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که کاربری اراضی بایر طی سال‌های ۱۳۹۷ الی ۱۴۰۲ در استان البرز روند افزایشی داشته است که این نتایج با مطالعه حاضر که نشان داد کاربری اراضی بایر روند کاهشی داشته است و تبدیل به کاربری مناطق صنعتی و مسکونی شده است مطابقت ندارد. دلیل این تفاوت در نتایج را می‌توان تفاوت در محدوده مطالعاتی دانست.

اهداف بعدی این مطالعه بررسی تغییرات کیفیت زیستگاه و ارزیابی مخاطرات زیستگاه در محدوده مطالعاتی طی دو دهه گذشته بود. برای این منظور از نرم‌افزار InVEST استفاده شد. استفاده از نرم‌افزار InVEST در مدل‌سازی زیستگاه امروزه به فراوانی توسط محققان مختلف در داخل و خارج از کشور برای اهداف مشابه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج مطالعات Hui و همکاران (۲۰۲۵) در چین، Tang و همکاران (۲۰۲۴) در جنوب چین، Jeong و همکاران (۲۰۲۴) در کره جنوبی، Gharagozlou و همکاران (۲۰۲۵) در شهر قم، استان کاشان، Abolmaali و همکاران (۲۰۲۴) در بخش مرکزی ایران، Shoja و همکاران (۲۰۲۴) در شهر خرم‌آباد استان لرستان بیانگر نقش پررنگ مدل‌های نرم‌افزار InVEST در تعیین خدمات اکوسیستم و شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی است. نتایج مدل‌سازی کیفیت زیستگاه نشان داد که طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۳ کیفیت زیستگاه کاهش یافته است که از بین رفتن پوشش طبیعی زمین همچون مرتع و تغییر کاربری اراضی به‌ویژه گسترش کاربری‌های باغ-ویلا، مسکونی، صنعتی و جاده‌ها از مهمترین دلایل این کاهش کیفیت زیستگاه در شهرستانهای ساوجبلاغ و چهارباغ به شمار می‌روند. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات Kharazmi و همکاران (۲۰۲۴)، Erfani و همکاران (۲۰۲۳)، Kheirkhah و

همکاران (۲۰۲۱)، Nematollahi و همکاران (۲۰۲۰) که تغییر کاربری اراضی به‌ویژه گسترش کاربری‌های انسان ساخت در پیرامون زیستگاه‌های طبیعی را عامل اصلی کاهش کیفیت زیستگاه و از بین رفتن تنوع زیستی می‌دانند، هم‌سو است. بخش شمالی محدوده مطالعاتی کوهستانی و پرتلاطم است و کمتر تحت تأثیر توسعه انسانی قرار گرفته است و با این وجود گسترش جاده‌های دسترسی آسفالتی و خاکی و همچنین گسترش طبیعت گردی در این مناطق، کیفیت زیستگاه را روز به روز با تهدید بیشتر مواجه کرده است. نتایج مطالعات Nematollahi و همکاران (۲۰۲۰) نیز بر تأثیر سوء توسعه شبکه جاده‌ای بر قطعه‌قطعه شدن زیستگاه و کاهش کیفیت آن به‌ویژه در مناطق کوهستانی تأکید دارند. همچنین نتایج ارزیابی مخاطرات زیستگاه نیز نشان داد که مخاطرات پیش روی زیستگاه‌های طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۳ افزایش یافته است که توسعه صنایع، افزایش جمعیت و گسترش مراکز مسکونی، گسترش باغ-ویلاها، احداث جاده و راه‌آهن، فعالیت معادن شن و ماسه و سنگ از جمله مهمترین دلایل آن به‌شمار می‌رود. پژوهش‌های مختلف بیانگر این واقعیت است که همجواری کاربری‌های صنعتی، خدماتی و مسکونی با زیستگاه‌ها همواره این عرصه‌ها را در معرض ریسک زیاد قرار می‌دهد (Shoja et al., 2024; Zhang et al., 2022). آخرین و مهمترین هدف پیش روی این مطالعه، شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی در محدوده شهرستان‌های ساوجبلاغ و چهارباغ، بود. برای این منظور از تلفیق دو رویکرد مدل‌سازی کیفیت و ارزیابی ریسک محیط‌زیستی زیستگاه با استفاده از نرم‌افزار InVEST بهره گرفته شد که نتایج قابل قبولی در شناسایی و اولویت‌بندی مناطق جهت حفاظت ارائه داد. تاکنون روش‌های مختلفی از قبیل روش تحلیل خلاءهای حفاظتی (GAP)^{۱۸} (Park et al., 2025)، تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA)^{۱۹} (Mehri et al., 2014) و برنامه‌ریزی سیستماتیک حفاظت (SCP)^{۲۰} با استفاده از الگوریتم مذاب سازی شبیه‌سازی شده (Esfandeh et al., 2017; Shams Esfandabad and Kaboli, 2020; Vazirinahad et al., 2021) در نرم‌افزار Marxan برای شناسایی مناطق جدید دارای ارزش حفاظتی توسط محققان مختلف استفاده شده است که عمده تمرکز این روش‌ها بر این است که تا چه حد مناطق حفاظت شده موجود نماینده و پوشش‌دهنده تنوع زیستی و اکوسیستم‌های با اهمیت هستند و کدام زیستگاه‌ها یا گونه‌ها به اندازه کافی محافظت نشده‌اند، این درحالی است که استفاده از مدل‌های نرم‌افزار InVEST در شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی به‌خوبی عملکرد اکوسیستم را تحلیل و خدمات اکوسیستم را ارزش‌گذاری کرده و با مد نظر قرار دادن مخاطرات پیش روی زیستگاه و گونه می‌تواند در شناسایی عرصه‌های دارای ارزش حفاظتی جهت پشتیبانی از تنوع زیستی نتایج دقیق‌تری نسبت به سایر روش‌ها همچون استفاده از نرم‌افزار Marxan ارائه دهد (Zhang and Li, 2022).

Esfandeh و همکاران (۲۰۱۷) طی مطالعه‌ای نشان دادند که مرزهای فعلی منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی از نظر دستیابی به اهداف حفاظتی کارآمد نیست و اصلاح مرزهای موجود این منطقه حفاظت‌شده و انتخاب مناطق جدید و الحاق آن به منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی یک ضرورت است. در همین راستا مطالعه حاضر نشان داد که ۳۸۹۲ هکتار (۳/۵ درصد) از محدوده مطالعاتی در اولویت نخست حفاظتی قرار دارد. این مناطق در بخش شمالی محدوده مطالعاتی و در فاصله حدود ۸ کیلومتری از مرزهای منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی قرار دارند و به‌دلیل برخورداری از کیفیت زیاد و مواجه با ریسک‌های کم از پتانسیل خوبی برای الحاق به منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی برخوردار می‌باشند. مطالعه حاضر با توجه به داده‌ها و اطلاعات در دسترس به انجام رسید، اما به‌منظور تکمیل و بهبود نتایج آن در مطالعات آینده پیشنهادی زیر ارائه می‌شود:

- ✓ از مطالعات مطلوبیت زیستگاه گونه‌های جانوری و گیاهی شاخص محدوده مطالعاتی به‌عنوان مطالعات تکمیلی فرایند شناسایی مناطق دارای اولویت حفاظتی بهره گرفته شود.
- ✓ با توجه به تجارب مثبت کاربرد مدل InVEST در مدل‌سازی‌های محیط‌زیستی، کاربری این مدل از نظر شناسایی مناطق جدید دارای اولویت حفاظتی و الحاق آن به مناطق حفاظت‌شده موجود برای کل محدوده استان البرز مورد بررسی قرار گیرد.

¹⁸Gap Analysis to Protect¹⁹Multi-Criteria Decision Analysis²⁰Systematic Conservation Planning

- ✓ شناسایی مناطق جدید دارای اولویت حفاظتی در سطح استان البرز با سایر روش‌های رایج همچون استفاده از نرم‌افزارهای Zonation و Marxan انجام و با نتایج نرم‌افزار Invest مقایسه گردد.
- ✓ تحلیل حساسیت نتایج ارزیابی ریسک زیستگاه با استفاده از شبکه‌های بیزی (Bayesian networks).
- ✓ در فرآیند مدل‌سازی کیفیت زیستگاه از داده‌های بلند مدت اقلیمی همچون دمای هوا، بارندگی و ... نیز استفاده گردد.
- ✓ همچنین به منظور کاهش یا حذف عوامل تهدیدکننده کیفیت زیستگاه و عوامل تنش‌زا پیشنهاد می‌شود اقدام‌های کنترلی به شرح زیر صورت پذیرد:
- ✓ جلوگیری از ساخت و سازهای غیرقانونی و توسعه ناسازگار با توان محیطی محدوده مطالعاتی.
- ✓ تدوین و اجرای قوانین سختگیرانه در خصوص تغییر کاربری اراضی به‌ویژه تغییر کاربری اراضی زراعی به باغ-ویلا و مناطق مسکونی.
- ✓ تهیه طرح مدیریت یکپارچه محیط زیست منطقه و نظارت بر اجرای آن.
- ✓ تدوین، اجرا و نظارت برنامه‌های کنترل و پایش در منطقه.
- ✓ آموزش، افزایش سطح آگاهی و فرهنگ‌سازی در بین بومیان نسبت به ارزش‌های اکولوژیک منطقه.
- ✓ همچنین مطالعه با محدودیت‌های زیادی هم مواجه بود که برخی از مهمترین آنها عبارتند از:
- ✓ کمبود اطلاعات قابل استناد و پیوسته از کاربری اراضی و پوشش زمین در اسناد بالادستی و مطالعات مرتبط در دو دهه گذشته.
- ✓ کمبود منابع مالی جهت پیمایش میدانی ماهانه یا فصلی محدوده مطالعاتی.
- ✓ محدودیت حضور، فعالیت میدانی و داده‌برداری به‌ویژه در مجاورت مناطق صنعتی، باغ‌های با مالکیت خصوصی و مناطق کوهستانی و پرشیب.
- ✓ عدم همکاری نهادهای دولتی متولی استانی همچون اداره جهاد کشاورزی، اداره کل محیط زیست و ... در به اشتراک‌گذاری آمار و اطلاعات اولیه از محدوده مطالعاتی.

نتیجه‌گیری

مدل‌سازی کیفیت زیستگاه نشان داد که طی دو دهه گذشته کیفیت زیستگاه در محدوده مطالعاتی روند کاهشی داشته است که این کاهش کیفیت در بخش‌های مرکزی و جنوبی محدوده مطالعاتی بیشتر از بخش شمالی است. همچنین ارزیابی ریسک زیستگاه نیز نشان داد که طی دو دهه گذشته ریسک تجمعی زیستگاه‌های محدوده مطالعاتی طی دو دهه گذشته روند افزایشی داشته است و این ریسک‌ها بیشتر در بخش‌های مرکزی و جنوبی محدوده مطالعاتی مشاهده می‌شوند. مناطق صنعتی، مراکز جمعیتی، جاده‌ها و بزرگراه‌ها و باغ-ویلا از مهمترین عوامل تهدیدکننده زیستگاه به‌شمار می‌روند. در مطالعه حاضر با تلفیق دو رویکرد مدل‌سازی کیفیت زیستگاه و ارزیابی مخاطرات پیش روی زیستگاه با استفاده از نرم‌افزار Invest مناطق جدید دارای اولویت حفاظتی شناسایی شد. این مناطق مساحتی در حدود ۳۸۹۲ هکتار (۳/۵) از محدوده شهرستان‌های ساوجبلاغ و چهارباغ در سال ۱۴۰۳ را به‌خود اختصاص داد. در آینده می‌توان با تکمیل داده‌های اولیه ورودی به مدل‌ها و همچنین دخیل کردن گونه‌های گیاهی و جانوری شاخص در فرآیند مدل‌سازی، دقت نتایج را ارتقاء داده و مناطق با وسعت بیشتری را در سطح استان البرز شناسایی و به مناطق حفاظتی موجود الحاق کرد. این مطالعه، ثابت می‌نماید که داده‌های مکانی در پیوند با ابزارهای مدل‌سازی می‌تواند نتایجی دقیق و قابل استناد برای مدل‌سازی کیفیت و ارزیابی ریسک زیستگاه در پهنه سرزمین تولید نماید و سپس برای برنامه‌ریزی حفاظت و توسعه مفید واقع شود.

References

- Abolmaali, S. Mr., Tarkesh, M., Mousavi, S. A., Karimzadeh, H., Pourmanafi, S., Fakheran, S., 2024. Identifying priority areas for conservation: using ecosystem services hotspot mapping for land-use/land-cover planning in central Iran. Environmental Management 73(5), 1016-1031.

- Admasu, S., Yeshitela, K., Argaw, M., 2023. Assessing habitat quality using the InVEST model in the Dire and Legedadi watersheds, central highland of Ethiopia: Implication for watershed management. *Sustainable Environment* 9(1), Article 2242137.
- Arkema, K.K., Verutes, G., Bernhardt, J.R., Clarke, C., Rosado, S., Canto, M., de Zegher, J., 2014. Assessing habitat risk from human activities to inform coastal and marine spatial planning: A demonstration in Belize. *Environmental Research Letters* 9(11), Article 114016.
- Chen, S., Zhuang, Q., Taheripour, F., Yuan, Y., Benavidez, L., 2025. Assessment of global land cover changes using satellite data: intermittent and long-term land cover changes from 2001 to 2020. *Environmental Research Letters* 20(3), Article 034045.
- Dudley, N. (Editor), 2008. *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. Gland, Switzerland: IUCN. x + 86pp. WITH Stolton, S., P. Shadie and N. Dudley (2013). *IUCN WCPA Best Practice Guidance on Recognising Protected Areas and Assigning Management Categories and Governance Types*, Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 21, Gland, Switzerland: IUCN.
- Erfani, M., Jahani Shakib, F., Ardekani, T., 2023. Habitat quality assessment using InVEST model and its valuation by compensation method in Kerman Province. *Journal of Applied Ecology* 12(2), 11-23. (In Persian)
- Esfandabad, Sh., Kaboli, M., 2020. Improving biodiversity conservation with expansion of protected area network in Iran, systematic conservation planning applying Zonation algorithm. *Journal of Natural Environment* 73(1), 63-76. (In Persian)
- Esfandeh, S., Kaboli, M., Eslami, L., 2017. Simulated annealing algorithm as a tool for systematic prioritization of protected area in Alborz province, Iran. *Journal of Animal Environment* 9(1), 105-122. (In Persian)
- Farashi, A., Naderi, M., Parvian, N., 2016. Identifying a preservation zone using multi-criteria decision analysis. *Animal Biodiversity and Conservation* 39(1), 29-36. (In Persian)
- Gharagozlou, A., Karbalaee, M., Karbalaee, M., 2025. Habitat Quality Assessment in Relation to Urban Development Using the InVEST Model and GIS: A Case Study of Qamsar City. *Interdisciplinary Journal of Civil Engineering* 1(1), 50-61.
- He, P., Wang, L., Zhai, S., Guo, Y., Huang, J., 2025. Assessment of landscape risks and ecological security patterns in the Tarim Basin, Xinjiang, China. *Land* 14(6), Article 1221.
- Hui, L., Wang, H., Liu, J., Ye, X., Han, B., Xia, Y., Zhang, L., Jiao, L., 2025. Identifying priority conservation areas based on systematic conservation planning analysis in the Loess Plateau, China. *Global Ecology and Conservation* 58, e03495.
- Japan International Cooperation Agency (JICA), 2017. *The project for comprehensive coastal environmental conservation and management plan in the southern coast of Iran (Hormozgan Province)*. Iran Department of the Environment.
- Jeong, A., Kim, M., Lee, S., 2024. Analysis of Priority Conservation Areas Using Habitat Quality Models and MaxEnt Models. *Animals* 14(11), 1680.
- Jingyan, W., Jungang, L., Zhang, H., Shuang, Q., Mengjie, Yu., 2022. Projections of land use change and habitat quality assessment by coupling climate change and development patterns. *Science of the Total Environment* 847, 157491.
- Kharazmi, R., Mohammad Esmail, Z., Chatrnour, M., 2024. Determining the range of land-use change in Alborz Province using Sentinel radar and optical data in Google Earth Engine. *Land Management Journal* 12(2), 89-102.
- Kheirkhah Ghehi, N., Malek Mohammadi, B., Jafari, H.R., 2021. Evaluation of landscape connectivity metrics and habitat quality to identify key habitat patches for urial sheep in central Alborz (Case study: Varjin Protected Area, Tehran). *Environmental Sciences* 19(3), 23-40. (In Persian)
- Kim, D.U., Yoon, H.Y., 2025. Objective Parameterization of InVEST Habitat Quality Model Using Integrated PCA-SEM-Spatial Analysis: A Biotope Map-Based Framework. *Land* 14(10), 2050.
- Liu, Y., Han, M., Wang, M., Fan, C., Zhao, H., 2022. Habitat quality assessment in the Yellow River Delta based on remote sensing and scenario analysis for land use/land cover. *Sustainability* 14(23), Article 15904.

- Mehri, A., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, S. H., Rezaei, H. R., 2014. Use of Optimization Algorithms to Prioritize Protected Areas in Mazandaran Province of Iran. *Journal for Nature Conservation* 22(5), 462-470. (In Persian)
- Mohammadyari, F., Mousazadeh, R., Ramezani Mehrian, M., Zarrindian, A., 2025. Spatially explicit economic valuation of habitat quality based on the InVEST model in Khuzestan Province, Iran. *Journal of Applied Ecology (Iranian Journal)* 13(4), 85-100. (In Persian)
- Nematollahi, S., Fakheran, S., Jafari, A., Pourmanafi, 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 for Nature Conservation* 66, 126144.
- Nematollahi, S., Fakheran, S., Jafari, A., Raeisi, 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. (In Persian)
- Pan, N., Du, Q., Guan, Q., Tan, Z., Sun, Y., Wang, Q., 2022. Ecological security assessment and pattern construction in arid and semi-arid areas: A case study of the Hexi Region, NW China. *Ecological Indicators* 138, Article 108797.
- Park, S., Park, H. and Lee, S., 2025. Potential Habitat and Priority Conservation Areas for Endangered Species in South Korea. *Animals* 15(8), 1158.
- Rafieian, M., Mahmoudi, M., 2022. Ecological capability assessment to determine optimal land-use zones in environmentally sensitive areas (Case study: Taleghan city area). *Spatial Planning*, 12(2), 47-70. (In Persian)
- Sharp, R., Douglass, J., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., Vogl, A., 2022. InVEST 3.12.0 user's guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, the Nature Conservancy, & World Wildlife Fund.
- Shoja, F., Shamsipour, A.A., Amraei, F., 2024. Assessment of habitat quality and spatial vulnerability of natural landscapes in Khorramabad urban area. *Spatial Analysis of Environmental Hazards* 11(3), 125-145. (In Persian)
- Tang, H., Li, L., Pang, C., Slate, T.J., Giraudoux, P., Afonso, E., Guo, H., Wu, G., Zhang, L., 2024. Conservation Strategies for Xishuangbanna: Assessing Habitat Quality Using the InVEST Model and Human-Elephant Conflict Risk with Geographic Information System. *Diversity* 16(12), 761.
- Umprasoet, W., Mu, Y., Somrup, S., Junchompoo, C., Guo, Z., Zhang, Z., 2023. Assessment of Habitat Risks Caused by Human Activities and Integrated Approach to Marine Spatial Planning: The Case of Sriracha District-Sichang Island. *Coasts* 3(3), 190-208.
- Vaissi, S., Sharifi, M., 2019. Integrating multi-criteria decision analysis with a GIS-based siting procedure to select a protected area for the Kaiser's mountain newt, *Neurergus kaiseri* (*Caudata: Salamandridae*), *Global Ecology and Conservation* 20, e00738.
- Vaziri Nahad, A., Jozi, S.A., Rokhshad, H., Shokri, M.R. and Malmasi, S., 2021. Prioritization of conservation patches for the coastal areas of Kal-Mehran sub-basin in Hormozgan Province using a decision support tool. *Environmental Sciences* 19(1), 161-176. (In Persian)
- Watson, J. E. M., Venegas-Li, R., Grantham, H., Dudley, N., Stolton, S., Rao, M., Woodley, S., Hockings, M., Burkart, K., Simmonds, J. S., Sonter, L. J., Sreekar, R., Possingham, H. P., Ward, M., 2023. Priorities for protected area expansion so nations can meet their Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework commitments. *Integrative Conservation* 2, 140-155.
- Zarandian, A., Yavari, A.R., Jafari, H. R., Amirnejad, H., 2016. Modeling of Land Cover Change Impacts on Habitat Quality of a Forested Landscape in the Sarvelat and Javaherdasht, *Environmental Researches* 6(12), 183. (In Persian)
- Zhang, L., Li, J., 2022. Identifying priority areas for biodiversity conservation based on Marxan and InVEST model. *Landscape Ecology* 37, 3043-3058.
- Zhang, Y., Zhang, C., Zhang, X., Wang, X., Liu, T., Li, Z., Lin, Q., Jing, Z., Wang, X., Huang, Q., Sun, W., Zhai, J., Tan, L., Wang, J., Zhou, G., Tian, Y., Hao, J., Song, Y., Ma, F., 2022. Habitat Quality Assessment and Ecological Risks Prediction: An Analysis in the Beijing-Hangzhou Grand Canal (Suzhou Section). *Water* 14(17), 2602.

پیوست‌ها

پیوست ۱- تعاریف و بازه‌های امتیازدهی برای معیارهای مواجهه و پیامد

ردیف	معیار	کم خطر (۱)	خطر متوسط (۲)	پرخطر (۳)	توضیح معیار
	همپوشانی مکانی	کمتر از ۱۰٪	زیستگاه با عامل تنش همپوشانی	زیستگاه با عامل تنش همپوشانی	درصد زیستگاهی که با هر عامل تنش همپوشانی مکانی دارد
معیارهای مواجهه	همپوشانی زمانی	هم زمانی ۰-۴ ماه	همزمانی ۴-۸ ماه	همزمانی ۸-۱۲ ماه	مدت زمانی که زیستگاه و عامل تنش در یک مکان هم‌زمان حضور دارند
	شدت تنش	کم	متوسط	زیاد	شدت عامل تنش (مثال: تعداد سفرهای کشتی کروز در سال)
	اثر بخشی مدیریت	بسیار موثر	تا حدودی موثر	ضعیف یا ناموثر	مدیریت مؤثر می‌تواند احتمال اثرات منفی تنش‌ها بر زیستگاه‌ها را کاهش دهد
	تغییرات در مساحت	کاهش کم مساحت (کمتر از ۲۰٪)	کاهش متوسط مساحت (۲۰-۵۰٪)	کاهش زیاد مساحت (۵۰-۱۰۰٪)	درصد تغییرات در گستره زیستگاه هنگام مواجهه با عامل تنش
معیارهای پیامد (حساسیت)	تغییرات در ساختار	کاهش کم ساختار (کمتر از ۲۰٪)	کاهش متوسط ساختار (۲۰-۵۰٪)	کاهش زیاد ساختار (۵۰-۱۰۰٪)	درصد تغییرات در گستره زیستگاه هنگام مواجهه با عامل تنش
	فراوانی اختلال طبیعی	روزانه تا هفتگی	چند بار در سال	سالی یک بار یا کمتر	زیستگاه‌هایی که به‌طور طبیعی به‌صورت مشابه عامل فشار مختل می‌شوند، ممکن است مقاومت بیشتری داشته باشند
	مرگ‌ومیر طبیعی	مرگ‌ومیر زیاد (۸۰٪ یا بیشتر)	مرگ‌ومیر متوسط (۲۰-۵۰٪)	مرگ‌ومیر کم (کمتر از ۲۰٪)	زیستگاه‌هایی با نرخ مرگ‌ومیر طبیعی بالا معمولاً بهره‌وری بیشتر و توانایی بازیابی بالاتری دارند
معیارهای پیامد (تاب‌آوری)	تکثیر	سالی یک بار یا بیشتر	هر ۱-۲ سال	هر ۲ سال یا بیشتر	تکثر مکرر شانس بیشتری برای بازاستقرار جمعیت پس از اختلال فراهم می‌کند
	اتصال زیستگاه	پراکنش بالا (بیش از ۱۰۰ کیلومتر)	پراکنش متوسط (۱۰-۱۰۰ کیلومتر)	پراکنش کم (کمتر از ۱۰ کیلومتر)	اتصال نسبی بر اساس مسافتی که یک پروپاگول (بذر/لارو) می‌تواند طی کند
	زمان بازیابی	کمتر از ۱ سال	۱-۱۰ سال	بیش از ۱۰ سال	زیستگاه‌هایی که زودتر به بلوغ می‌رسند معمولاً سریع‌تر از اختلال بازیابی می‌شوند

پیوست ۲- امتیازدهی معیارهای مواجهه (E) و پیامد (C) برای محاسبه خطر تجمعی هر زیستگاه در برابر عوامل تنش‌زا

عامل تنش	مسکونی			باغ-ویلا			جاده اصلی			جاده فرعی			معادن						عامل تنش
زا	Buffer=5 km			Buffer=2 km			Buffer=3 km			Buffer=2 km			Buffer=3 km						زا
معیار	We	DQ	Ra	We	DQ	Ra	We	DQ	Ra	We	DQ	Ra	We	DQ	Ra	We	DQ	Ra	معیار
فراوانی	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	پیامد (C)
اختلال	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	پیامد (C)
طبیعی	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	پیامد (C)
تغییر در	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	مواجهه (E)
مساحت	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	مواجهه (E)
تغییر در	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۲	۲	۱	۱	۳	۱	۱	۳	مواجهه (E)
ساختار	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۲	۲	۱	۱	۳	۱	۱	۳	مواجهه (E)
همپوشانی	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	مواجهه (E)
زمانی	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	مواجهه (E)
اثر بخشی	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	مواجهه (E)
مدیریت	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	مواجهه (E)
شدت تنش	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	مواجهه (E)
عامل تنش‌زا	We	DQ	Ra	We	DQ	Ra	We	DQ	Ra	We	We	DQ	Ra	DQ	Ra	We	DQ	Ra	عامل تنش‌زا
فراوانی	۱	۱	۳	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۳	۱	۱	۱	معیار
اختلال	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۳	معیار
طبیعی	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۳	معیار
تغییر در	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۳	معیار
مساحت	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۳	معیار
تغییر در	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۳	معیار
ساختار	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۳	معیار
همپوشانی	۱	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۳	معیار
زمانی	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۳	معیار
اثر بخشی	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۳	معیار
مدیریت	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۳	معیار
شدت تنش	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۳	معیار
نرخ تاب‌آوری زیستگاه																			
معیار																			
نوع معیار																			
We																			
DQ																			
Ra																			
پیامد (C)																			
نرخ																			
مرگ‌ومیر																			
طبیعی																			
زمان																			
پیامد (C)																			
بازسازی																			
نرخ تجدید																			
پیامد (C)																			
نسل																			
اتصال به																			
پیامد (C)																			
زیستگاه																			

E= Exposure

C= Consequence

Ra= Rating

We= Weight

DQ= Data Quality

Parameters ranged from 1 (lowest risk) to 3 (greatest risk)

Buffer distances by activity are shown