

Original Article



Impact of Anthropogenic Activities on the Provision of Ecosystem Services: A Spatiotemporal Analysis of Habitat Quality

Received: 2024.08.21

Accepted: 2024.10.12

Bahman Veisi Nabikandi,¹ Ahmad Hami,^{2*} Khalil Valizadeh Kamran,³ Farzin Emami Namin⁴

¹ Department of Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Department of Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

⁴ Department of Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: In recent decades, rapid urbanization and population growth have posed numerous challenges for densely populated urban areas, particularly concerning land use/land cover change. The ecosystem services provided by ecological spaces play a significant role in addressing these challenges and enhancing urban ecological resilience. The increasing destructive human activities in densely populated urban areas disrupt the ecological environment, fragmenting urban ecosystems and lowering habitat quality. In urban and peri-urban areas, ecological and natural spaces serve as nature-based solutions that significantly contribute to biodiversity conservation and habitat quality improvement. Therefore, the aim of this research is to evaluate the impact of ecological spaces on providing ecosystem services related to habitat quality and to compare them with human-made spaces through a spatial-temporal analysis of land use/land cover patterns.

Material and Methods: In this study, land use/land cover maps of the metropolitan area of Tabriz, a densely populated urban region in western Iran, were created for the years 2016 and 2023 using Sentinel-2 satellite imagery within the Google Earth Engine web platform. Subsequently, the accuracy of the classified maps was assessed using the Kappa coefficient. The next step involved detecting spatial-temporal changes in land use/land cover within the study area for the period 2016-2023 using TerrSet software. The final step was to model habitat quality ecosystem services within the study area for the years 2016 and 2023 using the InVEST software package.

Results and Discussion: The research results show that in both years, barren lands and built-up areas accounted for the largest area in the study region, reflecting the area's ongoing development. The land use change in Tabriz from 2016 to 2023 shows an increase in built-up areas, barren lands, and urban green spaces, whereas urban agriculture, rangeland, and water bodies experienced a decrease in area during the same period. Due to the developed nature of the study area, the maximum habitat quality was recorded as 0.27 and 0.21 for the years 2016 and 2023, respectively. Furthermore, for these two years, the average habitat quality was 0.04 and 0.03, respectively, indicating a poor state of habitat quality and biodiversity within the metropolitan area of Tabriz. The spatial distribution of habitat degradation in the study area revealed that the most significant habitat destruction occurs at the interface between human constructions and ecological spaces due to proximity to threatening factors. In contrast, barren land in the northern parts of the study area is in better condition due to its greater distance from these threats. The findings of this research report a decline in habitat quality influenced by land use/cover changes from 2016 to 2023, primarily attributed to the reduction of urban agriculture and the increase in human construction. This study concludes that the role of ecological spaces in enhancing habitat quality and preserving biodiversity in Tabriz is minimal due to their limited extent and close proximity to threatening factors. Furthermore, it highlights the detrimental impact of human activities, such as the expansion of human constructions, on habitat quality.

Conclusion: This study emphasizes the importance of remote sensing data for monitoring land use/land cover change in areas with limited data. Combining Google Earth Engine data with the InVEST model gives us a complete understanding of how changes in urban landscape affect habitat quality over time and space. Ultimately, our research offers deeper insights into the links between the detrimental impacts of anthropogenic activities and changes in habitat quality in ecologically fragile areas. This integrated approach not only enhances our understanding of ecological dynamics but also supports sustainable urban planning initiatives aimed at preserving biodiversity and improving ecosystem services.

Keywords: Ecosystem services, Land use/land cover, Urbanization, Habitat Quality, Tabriz

How to cite this article:

Veisi Nabikandi, B., Hami, A., Valizadeh Kamran, Kh. and Emami Namin, F., 2025. Impact of Anthropogenic Activities on the Provision of Ecosystem Services: A Spatiotemporal Analysis of Habitat Quality. *Adv. Environ. Sci.* 23(3): 637-654.

* Corresponding Author Email Address: hami@tabrizu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1432



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

تأثیر فعالیت‌های مخرب انسانی در تأمین خدمات اکوسیستم: رویکردی مبتنی بر تحلیل مکانی-زمانی کیفیت زیستگاه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱

بهمن ویسی نبدی^۱، احمد حامی^{۲*}، خلیل ولیزاده کامران^۳، فرزین امامی نمین^۴

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: در دهه‌های اخیر، شهرنشینی سریع و رشد جمعیت، چالش‌های متعددی را برای مناطق پرجمعیت شهری، به‌ویژه در ارتباط با تغییر کاربری و پوشش اراضی ایجاد کرده است. خدمات اکوسیستم ارائه شده توسط فضاهای اکولوژیک نقش قابل‌توجهی جهت مقابله با چالش‌های مذکور و افزایش تاب‌آوری اکولوژیکی شهری دارد. افزایش فعالیت‌های مخرب انسانی در مناطق پرجمعیت شهری به طور فزاینده‌ای محیط اکولوژیک را مختل می‌کند و باعث تکه‌تکه شدن اکوسیستم‌های شهری و کاهش کیفیت زیستگاه می‌شود. فضاهای اکولوژیک و طبیعی شهری و پیراشهری به عنوان راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت نقش به سزای در حفظ تنوع زیستی و افزایش کیفیت زیستگاه دارند. لذا هدف تحقیق مذکور ارزیابی تأثیر فضاهای اکولوژیک در ارائه خدمات اکوسیستمی کیفیت زیستگاه و مقایسه با فضاهای انسان‌ساخت با استفاده از تحلیل مکانی-زمانی الگوهای کاربری و پوشش اراضی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی محدوده کلان‌شهر تبریز به عنوان منطقه پرجمعیت شهری در غرب ایران برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در بستر سامانه تحت وب گوگل ارث انجین تهیه گردید. سپس با استفاده از ضریب کاپا، اعتبارسنجی نقشه‌های طبقه‌بندی شده مورد ارزیابی قرار گرفت. گام بعدی آشکارسازی تغییرات مکانی-زمانی کاربری و پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه برای دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۶ با استفاده از نرم‌افزار TerrSet بود. سپس با استفاده از بسته نرم‌افزاری InVEST خدمات اکوسیستمی کیفیت زیستگاه در محدوده مورد مطالعه برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ مدل‌سازی شد. در گام آخر تأثیر کاربری‌های مختلف در ارائه خدمات اکوسیستمی مذکور با تمرکز بر تمایز بین فضاهای اکولوژیک و انسان‌ساخت مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اراضی بایر و ساخت‌وسازهای انسانی در هر دو سال بیشترین مساحت از محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌دهند که این امر توسعه‌یافتگی منطقه را نشان می‌دهد. تغییر کاربری اراضی در محدوده شهر تبریز از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ حاکی از افزایش ساخت‌وسازهای انسانی، اراضی بایر و فضاهای سبز شهری است. در حالی که کشاورزی شهری، مراتع و پهنه‌های آبی در همین دوره با کاهش مساحت مواجه شده‌اند. در این تحقیق، به دلیل توسعه‌یافتگی محدوده مورد مطالعه، حداکثر کیفیت زیستگاه در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۲۱ بوده است. همچنین میانگین کیفیت زیستگاه در این دو سال به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۰۳ است که نشان‌دهنده وضعیت ضعیف کیفیت زیستگاه و تنوع زیستی در محدوده کلان‌شهر تبریز است. پراکنش مکانی تخریب زیستگاه در محدوده مورد مطالعه نشان داد که بیشترین تخریب زیستگاه در مرز بین ساخت‌وسازهای انسانی و فضاهای اکولوژیک به دلیل نزدیکی عوامل تهدید رخ داده است. کاربری و پوشش اراضی بایر در مناطق شمالی محدوده مورد مطالعه به دلیل فاصله زیاد با عوامل تهدید از وضعیت مناسب‌تری برخوردار است. نتایج این تحقیق کاهش کیفیت زیستگاه متأثر از تغییر کاربری و پوشش اراضی از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ را گزارش می‌کند که بیشتر به دلیل کاهش کشاورزی شهری و افزایش ساخت‌وسازهای انسانی می‌باشد. این تحقیق نقش زیرساخت‌های سبز شهری در افزایش کیفیت زیستگاه و حفظ تنوع زیستی و تأثیر مخرب فعالیت‌های انسانی مانند گسترش ساخت‌وسازهای انسانی در کیفیت زیستگاه را با استفاده از تلفیق داده‌های دورسنجی و مدل‌سازی اکولوژیکی نمایان می‌سازد.

نتیجه‌گیری: این تحقیق بر نقش مهم داده‌های دورسنجی در مناطقی که با کمبود داده مواجه هستند در نظارت بر تغییرات کاربری و پوشش اراضی تأکید می‌کند. تلفیق داده‌های موجود در سامانه گوگل ارث انجین و مدل InVEST به عنوان یک رویکرد جامع به درک تحلیل‌های مکانی-زمانی کیفیت زیستگاه بر اساس تغییرات منظر شهری کمک کرد. در نهایت، تحقیقات ما درک عمیق‌تری از پیوندهای بین تأثیر مخرب فعالیت‌های انسانی در تغییرات کیفیت زیستگاه در مناطق شکننده اکولوژیکی نشان می‌دهد. نتیجه‌گیری می‌شود که برخی از اقدامات مدیریتی مانند توسعه فضاهای اکولوژیک و زیرساخت‌های سبز شهری همگام با کنترل توسعه بی‌رویه شهری می‌تواند اثرات نامطلوب فعالیت‌های مخرب انسانی بر شاخص کیفیت زیستگاه و تخریب اکوسیستم را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: کاربری و پوشش اراضی، شهرنشینی، خدمات اکوسیستم، کیفیت زیستگاه، تبریز

^۱ گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۲ گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۳ گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۴ گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

استناد به این مقاله: ویسی نبدی‌کندی، ب. ا.، حامی، خ. و ولیزاده کامران و ف. امامی نمین. ۱۴۰۴. تأثیر فعالیت‌های مخرب انسانی در تأمین خدمات اکوسیستم: رویکردی مبتنی بر تحلیل مکانی-زمانی کیفیت زیستگاه. فصلنامه علوم محیطی نوین. ۲۳(۳): ۶۳۷-۶۵۴.

* Corresponding Author Email Address: hami@tabrizu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1432



مقدمه

افزایش فعالیت‌های انسانی در دهه‌های اخیر فشار فزاینده‌ای بر خدمات اکوسیستم در مناطق پرجمعیت شهری وارد کرده است (Veisi Nabikandi *et al.*, 2025a). به دلیل عدم وجود زیرساخت‌های مناسب برای جمعیت رو به رشد شهری، این مناطق دستخوش تغییر شدید کاربری اراضی می‌شوند. این تغییرات اغلب منجر به تخریب فضاها، اکولوژیک می‌شود که به نوبه خود، ارائه خدمات اکوسیستم را تضعیف می‌کند و بر رفاه جمعیت شهری تأثیر می‌گذارد (Amini Parsa *et al.*, 2016; Shoja *et al.*, 2025). چالش‌های زیست‌محیطی می‌شود، بلکه کیفیت زیستگاه شهری را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Xie *et al.*, 2023). کیفیت زیستگاه به توانایی یک اکوسیستم در فراهم کردن شرایط مناسب برای پایداری افراد و جمعیت‌ها اشاره دارد و تا حدودی در وضعیت تنوع زیستی منطقه‌ای منعکس می‌شود (Lei *et al.*, 2022; Veisi Nabikandi *et al.*, 2025b). تنوع زیستی با حفظ عملکرد و انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌ها به رفاه انسان و توسعه پایدار کمک می‌کند. فضاها، اکولوژیک شهری به عنوان عناصر حیاتی برای حفظ و ارتقاء خدمات اکوسیستم، بهبود کیفیت زیستگاه‌ها و افزایش تاب‌آوری شهری مطرح می‌شوند. فضاها، اکولوژیک شهری شامل پارک‌ها، باغ‌ها، فضاها، سبز و کشاورزی شهری نقش مهمی در حفظ تنوع زیستی و افزایش کیفیت زیستگاه دارند (Wang and Wang, 2023). افزایش فضاها، اکولوژیک در مناطق شهری می‌تواند به ایجاد یک تعادل بین توسعه شهری و حفظ زیست‌بوم‌های طبیعی منجر شود و در نتیجه تاب‌آوری شهری را در برابر تغییرات محیطی و فعالیت‌های مخرب انسانی افزایش دهد. بنابر دلایل مذکور ارزیابی خدمات اکوسیستم کاربری‌های مختلف در افزایش تنوع زیستی و کیفیت زیستگاه شهری امری مهم و حیاتی جهت دستیابی به اهداف توسعه

پایدار می‌باشد.

به‌طور کلی تخمین و ارزیابی خدمات اکوسیستم از دیرباز موضوع مهمی بوده است که در سال‌های اخیر به دلیل گسترش شهرنشینی و افزایش مخرب فعالیت‌های انسانی نگرانی مشترکی برای توسعه پایدار شهری داشته است (Steger *et al.*, 2019). ارزش‌گذاری و ارزیابی خدمات اکوسیستم عمدتاً بر اساس تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای صورت می‌گیرد (Wu *et al.*, 2019). از آنجایی که کشورهای در حال توسعه از یک طرف با کمبود اطلاعات و داده‌های غیرقابل دسترس مواجه هستند و از طرف دیگر چنین اقدامی نیاز به صرف زمان و هزینه بیشتر می‌باشد، لذا کاربرد داده‌های دورسنجی در مدل‌سازی خدمات اکوسیستم در سال‌های اخیر پر کاربرد شده است (Ezimand *et al.*, 2023; Veisi Nabikandi *et al.*, 2024). خدمات اکوسیستم را می‌توان با استفاده از مدل‌ها و ابزارهای مختلف در روش‌های علمی ارزیابی کرد. SWAT, ARIES, SoLIVES, InVEST برخی از ابزارها و مدل‌های بالقوه ارزیابی خدمات اکوسیستم می‌باشند (Tamire *et al.*, 2023). مدل InVEST به‌عنوان یکی از ابزارهای معتبر در این زمینه، نقش مهمی در ارزیابی کمی و کیفی خدمات اکوسیستم مانند کیفیت زیستگاه در کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کند. مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده‌اند که هر کدام به بررسی جنبه‌های مختلف تأثیر خدمات اکوسیستم بر زیستگاه‌ها پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال، Zhang *et al.* (2007) در مطالعه‌ای به ارزیابی خدمات اکوسیستم کشاورزی و تأثیر آن بر تنوع زیستی پرداخته و نشان داده‌اند که استفاده بهینه از خدمات اکوسیستم می‌تواند منجر به افزایش کیفیت زیستگاه‌های طبیعی و ارتقاء سطح تاب‌آوری در برابر تغییرات اقلیمی شود. همچنین Mengist *et al.* (2021) به بررسی ارتباط بین خدمات اکوسیستم و

نادیده گرفته‌اند.

مواد و روش‌ها

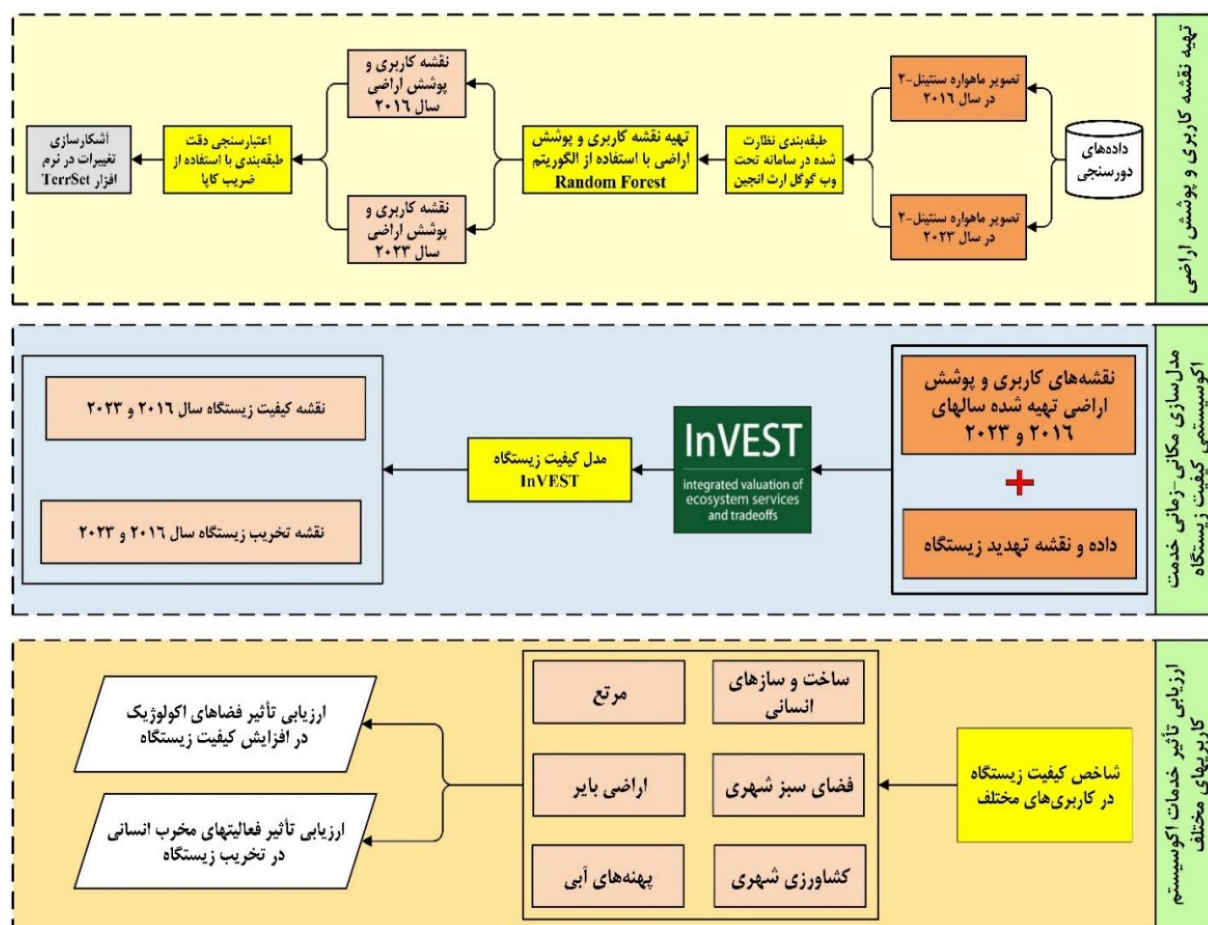
شکل ۱ نمودار جریانی پژوهش که از سه بخش اصلی تشکیل شده است را به زبان ساده نشان می‌دهد. در گام اول این تحقیق با استفاده از داده‌های دورسنجی نقشه‌ی کاربری و پوشش اراضی محدوده شهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ تهیه می‌شود. در گام دوم با بکارگیری مدل InVEST نقشه کیفیت و تخریب زیستگاه محدوده مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های تهیه شده از گام قبلی و داده‌های تهدید زیستگاه مستخرج از مطالعات مشابه پیش‌بینی می‌شود. در گام نهایی، کیفیت زیستگاه کاربری‌های مختلف (فضاهای اکولوژیک و انسان‌ساخت) برای دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۶ در کل منطقه ارزیابی و تحلیل می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، محدوده شهر تبریز با وسعت تقریبی ۶۶۰/۶۳ کیلومتر مربع به عنوان یکی از بزرگ‌ترین کلان‌شهرهای ایران در شمال غرب کشور انتخاب شد (شکل ۲). این محدوده دارای مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۳۲ دقیقه و ۵۴ ثانیه شمالی و ۳۷ درجه و ۵۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۱۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه شرقی می‌باشد که دارای طیفی از سطوح رطوبت نسبی است که بین ۵۰ تا ۷۰ درصد در نوسان است. شهر تبریز با میانگین دمای سالانه ۱۲/۲ درجه سانتی‌گراد دارای آب و هوای معتدل با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد است. دامنه ارتفاعی منطقه مورد مطالعه بین ۱۲۹۰ تا ۱۹۷۰ متر در نوسان بوده و دارای بارندگی سالانه ۳۱۱/۱ میلی‌متر می‌باشد که اکثر آن در فصول زمستان و بهار رخ می‌دهد (Amiri et al., 2009).

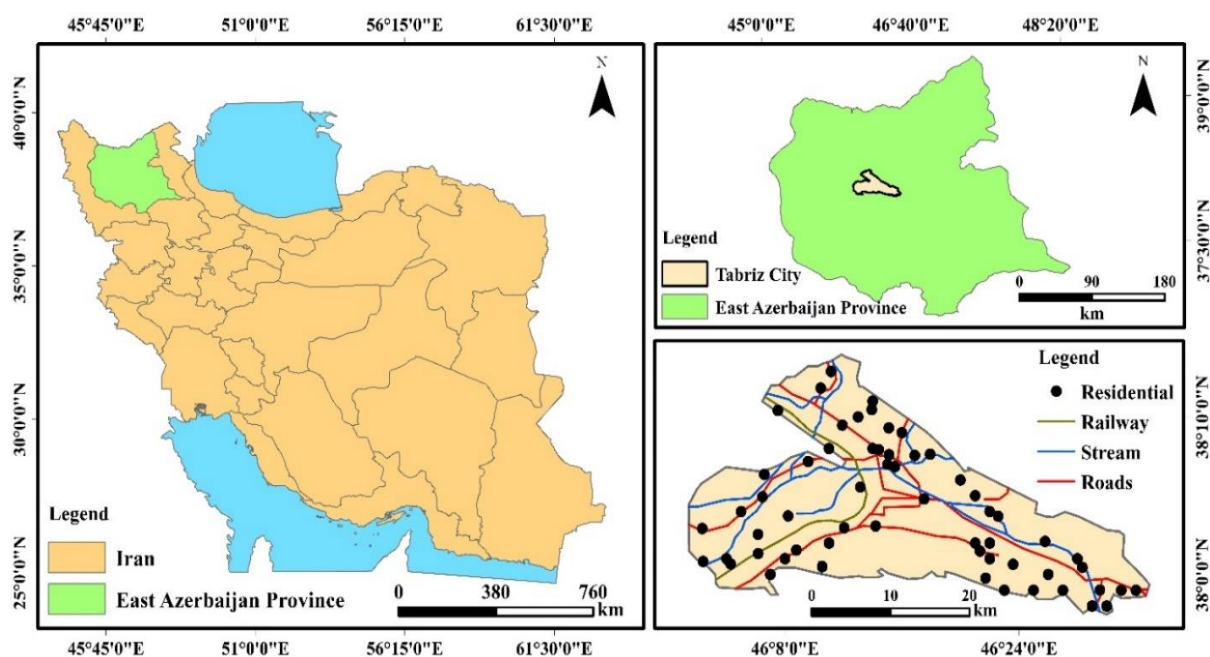
کیفیت زیستگاه در مناطق جنگلی پرداختند و مدیریت صحیح منابع طبیعی با استفاده از مدل InVEST جهت حفظ تنوع زیستی و بهبود کیفیت زیستگاه‌های مختلف را گزارش کردند. در تحقیق دیگری Wei et al. (2023) تأثیر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت زیستگاه را در یک منطقه شهری مورد بررسی قرار دادند. نشان این تحقیق نشان داد که افزایش شهرنشینی و تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه در مناطق پرجمعیت شهری، منجر به کاهش کیفیت زیستگاه‌ها شده است. در ایران نیز Ansari et al. (2023) تأثیر فعالیت‌های انسانی در کیفیت زیستگاه و تنوع زیست بوم‌های ایران را مدل‌سازی و ارزیابی کرد و توسعه جاده‌های شهری و کشاورزی را بزرگترین عامل کاهش کیفیت زیستگاه‌های ایران معرفی کردند.

به طور کلی بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهد که بیشتر تحقیقات انجام شده در حوزه‌های آبخیز و مناطق حفاظت‌شده و یا روی یک گونه خاص بوده است و تأثیر فضاهای اکولوژیک بر کیفیت زیستگاه در مناطق پرجمعیت شهری به طور عمیق مورد مطالعه قرار نگرفته است (Wei et al., 2022) که این موضوع در ایران به طور چشم‌گیرتری مشاهده می‌شود. به عبارتی دیگر تحقیقات قبلی صورت گرفته در ایران به تأثیر مخرب فعالیت‌های انسانی متأثر از رشد سریع شهرنشینی مانند گسترش ساخت و سازهای انسانی و تأثیر آن بر کیفیت و تخریب زیستگاه کمتر پرداخته شده است. از این رو وجه تمایز تحقیق حاضر بررسی کیفیت زیستگاه فضاهای اکولوژیکی شکننده مانند مناطق پرجمعیت شهری با استفاده از تلفیق داده‌های دورسنجی و مدل کیفیت زیستگاه InVEST می‌باشد. همچنین ارزیابی تأثیر خدمات اکوسیستم کاربری‌های مختلف طبیعی و انسان‌ساخت با یکدیگر در راستای پوشش تحقیقاتی بوده است که نقش فضاهای اکولوژیک بر کیفیت زیستگاه را در تحقیقات خود



شکل ۱- نمودار جریان پژوهش

Fig. 1- Research flowchart



شکل ۲- موقعیت و ویژگی‌های جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig. 2- Location and geographical features of the study area

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳

در این تحقیق جهت تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ برای فصل تابستان سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین استفاده شد. انتخاب تصویر مربوطه، برای فصل تابستان به پوشش ابرناکی کمتر از ۵ درصد آن برمیگردد که پوشش گیاهی با وضوح بهتر در راستای ارزیابی و طبقه‌بندی دقیق‌تر را فراهم می‌کند. تصاویر دریافتی از این سامانه بدون نیاز به پیش‌پردازش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest) و به صورت طبقه‌بندی نظارت‌شده برای دو سال فوق (۲۰۱۶ و ۲۰۲۳) مورد استفاده قرار گرفت. این الگوریتم به طور گسترده در مطالعات قبلی جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای پیشنهاد شده است (Zhao et al., 2024; Veisi Nabikandi and Shahbazi, 2024). جهت افزایش دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای (Floreano and De Moraes (2021) پیشنهاد می‌کنند که طبقه‌بندی در دسته‌ها و کلاس‌های کلی - تر صورت گیرد. مطابق با پیشنهاد ارائه شده برای افزایش دقت، نقشه‌های مذکور در شش کلاس اصلی دسته‌بندی گردید که شامل: (۱) ساخت و سازهای انسانی، (۲) فضای سبز شهری، (۳) کشاورزی شهری، (۴) مرتع، (۵) اراضی بایر و (۶) پهنه‌های آبی می‌باشد. جدول ۱ خلاصه‌ای جامع از ویژگی‌های خاص هر دسته از کاربری‌ها را ارائه می‌دهد (جدول ۱).

اهمیت تاریخی تبریز و افزایش جمعیت این شهر به موقعیت استراتژیک آن در جاده ابریشم گره خورده است و به عنوان یک پیوند حیاتی بین ایران، آسیای مرکزی و اروپا عمل می‌کند (Rahimi et al., 2023). طی پنجاه سال گذشته، تبریز شاهد افزایش ۳/۵ برابری جمعیت شهری خود بوده است که ناشی از گسترش صنعت و افزایش خدمات شهری می‌باشد (Dadashpoor et al., 2019). یکی از پیامدهای نامطلوب شهرنشینی مدرن کاهش فضاهای اکولوژیک و تمایز بین زیستگاه‌های طبیعی و مصنوعی است. در دهه‌های اخیر گسترش فعالیت‌های مخرب انسانی در شهر تبریز باعث ایجاد چالش‌های متنوعی مانند کاهش کیفیت زندگی شهروندان، بحران‌های زیست محیطی و کاهش تاب‌آوری شهری شده است (Rahimi et al., 2023). بنابراین، توسعه زیرساخت‌های سبز شهری و حفظ فضاهای اکولوژیک پیراشهری در شهر تبریز که با شهرنشینی سریع و فعالیت‌های مخرب انسانی مواجه است، جهت تاب‌آور کردن شهرها و دستیابی به اهداف توسعه پایدار ضروری است. به همین دلیل تبریز به عنوان بزرگترین شهر منطقه غرب کشور به عنوان کانون این پژوهش انتخاب شده است. این انتخاب بر اساس رشد قابل توجه جمعیت شهر و گسترش شهری است که منجر به تغییر کاربری اراضی از جمله تخریب پوشش گیاهی و کاهش خدمات اکوسیستم را به دنبال داشته است.

جدول ۱- مشخصات کاربری و پوشش اراضی در محدوده مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of Land use/land cover in the study area

کاربری و پوشش اراضی Land use/land cover	دسته‌بندی ویژگی‌ها
ساخت و سازهای انسانی Built-up	مناطق مسکونی شهری و روستایی، مناطق صنعتی، خیابان و جاده‌ها
فضای سبز شهری Urban green space	پوشش‌های درختی واقع در پارک‌ها، جنگل‌ها، درختچه‌ها
کشاورزی شهری Urban agriculture	مزارع و دیگر زمین‌های زراعی
مرتع Rangeland	چراگاه‌ها، علفزارها و بوته‌زارها
ارضای بایر Barren	خاک لخت، کوه‌های برهنه و دیگر زمین‌های توسعه نیافته
پهنه‌های آبی Water body	رودخانه، زمین آب، استخرهای پرورشی و امکانات حفاظت از آب

پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای فرآیند ارزیابی دقت و قابلیت اطمینان بودن یافته‌های طبقه‌بندی که به عنوان ارزیابی صحت شناخته می‌شود مورد ارزیابی قرار گرفت. این فرایند مستلزم تضاد داده‌های طبقه‌بندی شده با کلاس‌های واقعی است که در داده‌های حقیقی زمینی نشان داده شده است. این مقایسه یک ارزیابی دقیق از عملکرد طبقه‌بندی را با برجسته کردن مناطق درست و اشتباه بین دو مجموعه داده ارائه می‌کند. در این تحقیق داده‌های واقعی تصاویر ماهواره‌ای در گوگل ارث برای ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی و ضریب کاپا مورد استفاده قرار گرفت. (Veisi Nabikandi and Shoja (2025) گزارش کردند که کاپا شاخص خوبی برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است. برای ارزیابی صحت در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ به ترتیب ۴۲۰ و ۴۳۷ نمونه با توجه به مساحت هر کاربری به صورت تصادفی انتخاب شدند. از آنجایی که وسعت مساحت مربوط به کلاس‌ها یا یکدیگر متفاوت

است، تعداد نقاط انتخاب شده با توجه به مساحت هر کاربری متفاوت می‌باشد. ضریب کاپا نیز درصد پیکسل‌هایی است که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند که از درصد واقعی مورد انتظار به طور تصادفی استخراج می‌شوند. در واقع در این حالت تعداد پیکسل‌های اشتباه نیز لحاظ می‌شود (Koko *et al.*, 2020).

مدل کیفیت زیستگاه (InVEST- Habitat Quality)

مدل کیفیت زیستگاه InVEST به دلیل تقاضای کم برای داده‌ها و جلوه تجسم فضایی بهتر به طور گسترده در زمینه اکولوژی شهری استفاده می‌شود. بر اساس انواع کاربری، این مدل درجه تخریب زیستگاه و شاخص کیفیت زیستگاه را با استفاده از عوامل تهدید، حساسیت انواع مختلف زیستگاه به تهدیدها و مناسب بودن زیستگاه محاسبه می‌کند (Lei *et al.*, 2022). برای اجرای مدل فوق پنج نوع داده اساسی مورد نیاز است که در جدول ۲ به اختصار معرفی شده است.

جدول ۲- داده‌های ورودی برای مدل کیفیت زیستگاه

Table 2. Data input for the habitat quality model

داده‌های ورودی	نوع داده‌ها	منبع و روش تهیه داده‌ها در این پژوهش
نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی (Land Use/Land Cover)	رستر (Tiff)	طبقه‌بندی تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در سامانه گوگل ارث انجین
داده‌های تهدید (Threats raster)	رستر و وکتور (Tiff)	تهیه داده‌ها از سایت OpenStreetMap و تبدیل به رستر مورد نیاز مدل در نرم افزار ArcMap 10.8
جزئیات عوامل تهدید زیستگاه (Threats Table)	جدول اکسل	مطالعات مشابه (Ansari <i>et al.</i> , 2023; Dashtbozorgi <i>et al.</i> , 2023) و راهنمای نرم‌افزار InVEST
جزئیات انواع زیستگاه‌ها و حساسیت کاربری‌ها به عوامل تهدید (Sensitivity Table)	جدول اکسل	مطالعات مشابه (Ansari <i>et al.</i> , 2023; Dashtbozorgi <i>et al.</i> , 2023) و راهنمای نرم‌افزار InVEST

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) \times r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (1)$$

$$Linear\ decay : i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{r\ max}} \right) \quad (2)$$

$$Exponential\ decay : i_{rxy} = \exp \left[- \left(\frac{2.99}{d_{r\ max}} \right) \times d_{xy} \right] \quad (3)$$

در این مدل هر چه زیستگاه به تهدیدات حساس‌تر و نزدیکتر باشد تخریب آن بیشتر می‌شود (Meng *et al.*, 2023). به عبارتی دیگر هر چه ساخت و سازها و فعالیت‌های انسانی بیشتر باشد، تنوع زیستی منطقه‌ای کمتر، کیفیت زیستگاه پایین‌تر، درجه تخریب زیستگاه بالاتر و اکوسیستم ناپایدارتر می‌شود. روابط به صورت زیر بیان می‌شوند (Tang *et al.*, 2023):

که در آن D_{xj} درجه کل تخریب زیستگاه پیکسل x در زمین نوع کاربری اراضی است. R تعداد کل منابع تهدید و r محرک تهدید زیستگاه است. Y_r تعداد کل پیکسل‌های منابع تهدید، y حساسیت نسبی منابع تهدید و w_r وزن عامل تهدید زیستگاه می‌باشد. r_y مقدار تنش یا همان شدت عامل تهدید، β_x سطح حفاظت شده زیستگاه یا مقاومت زیستگاه در برابر اختلال و S_{jr} حساسیت زیستگاه j به عامل تنش r است. i_{rxy} اثر عامل تهدید r در شبکه y بر شبکه x است که می‌تواند به صورت خطی یا نمایی به دست آید. همچنین d_{xy} فاصله خطی بین واحد فضایی x و z است و d_{rmax} حداکثر فاصله تنش عامل تهدید است. به طور کلی کیفیت زیستگاه معیاری بدون بعد با مقدار بین ۰ تا ۱ است که هر چه این عدد بزرگتر باشد، زیستگاه کیفیت بهتر و بالاتری دارد. این مقدار بر اساس تخریب زیستگاه محاسبه می‌شود و فرمول به شرح زیر است (Tang et al., 2023):

$$Q_{xj} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z} \right) \right] \quad (4)$$

که در آن Q_{xj} نمایانگر شاخص کیفیت زیستگاه پیکسل x در نوع کاربری j ، H_j تناسب زیستگاه از نوع کاربری z ام و k ثابت نیمه اشباع است که معمولاً دارای مقدار پیش فرض ۰/۵ است. همچنین z یک ثابت نرمال‌سازی است که روی ۲/۵ در مدل تنظیم می‌شود. با توجه رویکرد رو به رشد جمعیتی و اقتصادی در محدوده مورد مطالعه، کاربری ساخت و سازهای انسانی، جاده‌ها و خطوط راه‌آهن عوامل تهدید در نظر گرفته شدند. بر اساس مقدار توصیه شده مدل InVEST فاصله تأثیر، وزن و حساسیت انواع مختلف زیستگاه عوامل تهدید (جدول ۳ و ۴) با توجه به مطالعات در ایران (Ansari et al., 2023; Dashtbozorgi et al., 2023) و راهنمای خود نرم‌افزار (Sharp et al., 2018) تعیین شد. محدوده مقادیر کیفیت زیستگاه بین ۰ و ۱ است که هرچه این مقدار کمتر باشد کیفیت زیستگاه ضعیف‌تر است. پارامترهای فوق برای تولید نقشه کیفیت و تخریب زیستگاه به عنوان یکی از کلیدی‌ترین خدمات اکوسیستم در مدل اعمال شد.

جدول ۳- عوامل تهدید و ضرایب مرتبط
Table 3. Threat factors and related coefficients

نوع تخریب (Type of Destruction)	وزن تهدید (Weight)	حداکثر فاصله تأثیر (کیلومتر) (Maximum Distance)	عوامل تهدید (Threats)
تصادفی (Exponential)	1	5	ساخت و سازهای انسانی
خطی (Linear)	0.8	2	جاده‌ها
خطی (Linear)	0.9	3	راه‌آهن

جدول ۴- حساسیت انواع کاربری و پوشش اراضی به عوامل تهدید
Table 4. Sensitivity of land use/land cover types to each threat factor

نوع کاربری و پوشش اراضی	مناسب بودن زیستگاه (وضعیت زیستگاه)	ساخت و سازهای انسانی	جاده‌ها	راه‌آهن
ساخت و سازهای انسانی	0.0	0.0	0.0	0.0
فضای سبز شهری	1.0	1.0	0.8	0.9
کشاورزی شهری	0.7	0.7	0.5	0.6
مرتع	0.6	0.9	0.7	0.7
اراضی بایر	0.4	0.2	0.1	0.3
پهنه‌های آبی	0.9	1.0	0.6	0.6

نتایج و بحث

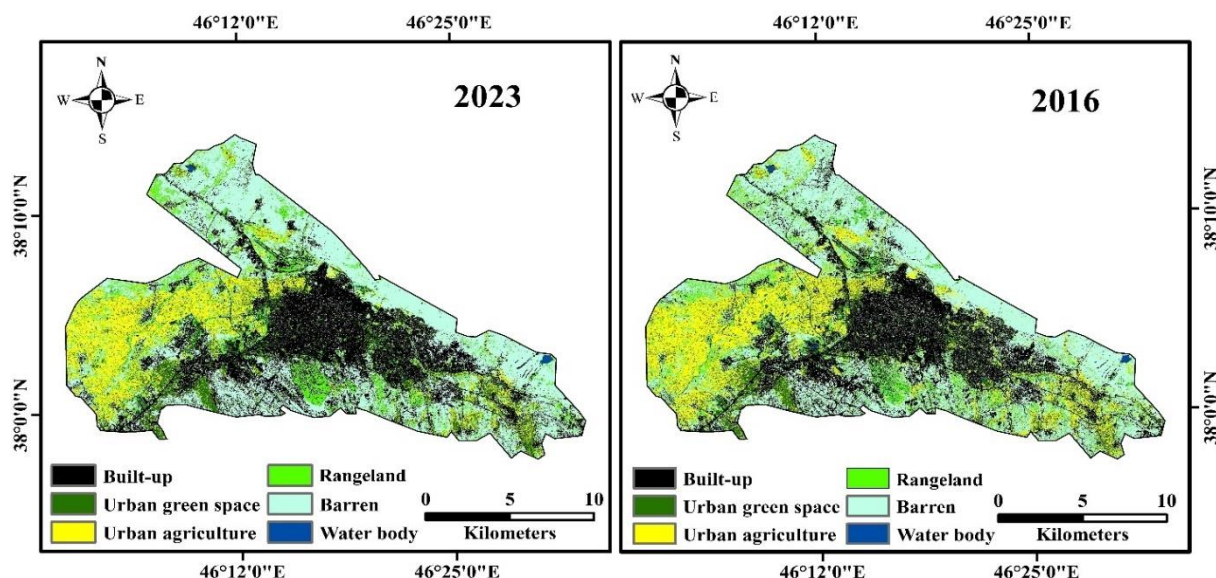
گزارش می‌کند (Koko et al., 2020). با توجه به نتایج صحت طبقه‌بندی، ضرایب کاپا بدست آمده نشان‌دهنده دقت طبقه‌بندی بالای است (Kafy et al., 2023). شکل ۳ نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده از سامانه گوگل ارث انجین را برای سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۵ نتایج اعتبار سنجی و نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، در سال ۲۰۱۶ ضریب کاپا ۰/۸۷ و دقت کلی ۹۲/۲ درصد و در سال ۲۰۲۳ این مقادیر به ترتیب ۰/۸۶ و ۸۸/۷ درصد است. ضریب کاپا بین ۰/۸۱ تا ۱ یک همبستگی تقریباً کامل را

جدول ۵۱- دقت طبقه‌بندی کاربری‌های مختلف بر اساس معیارهای ارزیابی

Table 5. The classification accuracy of different Land-uses based on the evaluating criteria

سال	کاربری اراضی	نقاط اعتبارسنجی برای کاربری‌های مختلف						مجموع	صحت کاربری‌ها
		ساخت و سازه‌های انسانی	فضای سبز شهری	کشاورزی شهری	مرتع	اراضی بایر	پهنه‌های آبی		
2016	ساخت و سازه‌های انسانی	115	1	1	1	6	1	125	0.92
	فضای سبز شهری	5	۴۳	3	0	0	1	52	0.82
	کشاورزی شهری	1	5	63	1	0	0	70	0.90
	مرتع	1	0	2	60	1	0	64	0.93
	اراضی بایر	1	0	1	9	81	0	92	0.88
	پهنه‌های آبی	0	0	2	0	0	34	36	0.94
مجموع		123	49	72	71	88	36	صحت کلی 90.2%	ضریب کاپا 0.87
2023	ساخت و سازه‌های انسانی	120	1	0	2	7	0	130	0.92
	فضای سبز شهری	4	48	3	0	0	0	55	0.87
	کشاورزی شهری	0	6	55	0	2	0	63	0.87
	مرتع	0	0	6	58	4	0	68	0.85
	اراضی بایر	5	1	0	8	78	0	92	0.84
	پهنه‌های آبی	0	0	0	0	0	29	29	1
مجموع		129	56	64	68	91	29	صحت کلی 88.78%	ضریب کاپا 0.86



شکل ۳- نقشه کاربری و پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۲۳ و ۲۰۱۶

Fig. 3- Land use/land cover map across the study area in 2016 and 2023

اختصاص داده است. اراضی و فضاهای طبیعی، از جمله مرتع (۱۲٪/۹)، فضای سبز شهری (۵٪/۹) و پهنه‌های آبی (۱٪/۴)، روی هم نزدیک به ۲۰ درصد از مساحت شهر تبریز را شامل می‌شوند. این موضوع نشان از توسعه‌یافته بودن محدوده‌ی شهر تبریز است که در تحقیق Dadashpoor *et al.* (2019) مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

در تفسیر و تحلیل نتایج، مشاهده می‌شود که در سال ۲۰۱۶، اراضی بایر (۳۴٪/۹) و ساخت‌وسازهای انسانی (۲۷٪/۳) کاربری غالب بین کلاس‌های موجود در محدوده مورد مطالعه قرار دارند. پس از دو کاربری مذکور، کشاورزی شهری با وسعت ۱۱۶/۴۷ کیلومتر مربع نزدیک به ۱۷/۶ درصد از مساحت شهر تبریز را در سال ۲۰۱۶ به خود

جدول ۶- آمار کاربری و پوشش اراضی ۲۰۲۳-۲۰۱۶

Table 6. Land use/land cover statistic of 2016-2023

2016-2023		2023		2016		کاربری و پوشش اراضی
(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	
+1.5	+9.74	28.8	190.00	27.3	180.26	ساخت و سازهای انسانی
+1.0	+6.78	7.0	45.92	5.9	39.24	فضای سبز شهری
-3.7	-24.25	13.9	92.22	17.6	116.47	کشاورزی شهری
-0.8	-5.31	12.0	79.57	12.9	84.88	مرتع
+2.6	+17.32	37.6	248.19	34.9	230.87	اراضی بایر
-0.6	-4.28	0.7	4.73	1.4	9.01	پهنه‌های آبی

یافت. از سوی دیگر، در همین دوره، مساحت مراتع و پهنه‌های آبی به ترتیب ۵/۳۱ کیلومتر مربع و ۴/۲۸ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرد. به طور کلی، از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳، محدوده کلانشهر تبریز شاهد کاهش فضاهای اکولوژیک و افزایش ساخت و سازهای انسانی بوده است. در تفسیر این موضوع، Mahmoudzadeh *et al.* (2022) با مدل‌سازی رشد شهری و

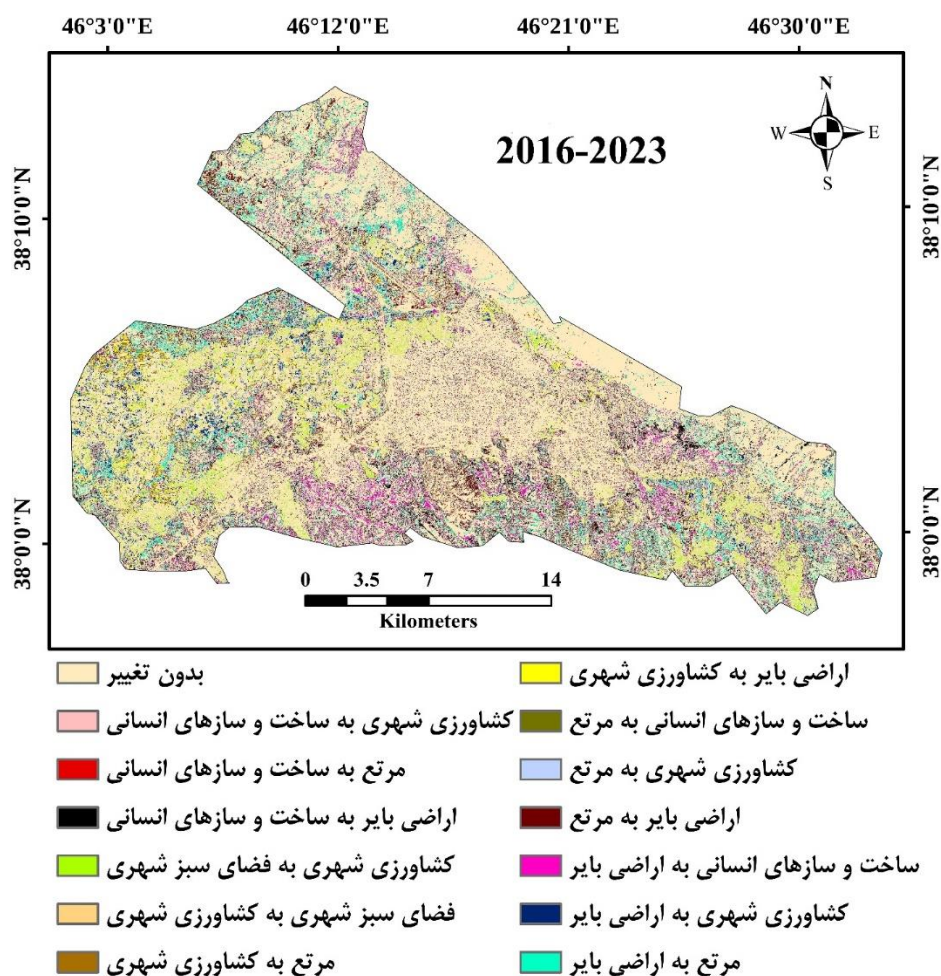
نتایج تجزیه و تحلیل نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی در سال ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات شامل کاهش ۳/۷ درصدی کشاورزی شهری و افزایش ۲/۶ درصدی اراضی بایر در مقایسه با سال ۲۰۱۶ بوده است (جدول ۶). همچنین در سال ۲۰۲۳، ساخت و سازهای انسانی و فضای سبز شهری به ترتیب ۹/۷۴ کیلومتر مربع و ۶/۷۸ کیلومتر مربع افزایش

است (Sobhani *et al.*, 2021; Sadat *et al.*, 2020).

آشکارسازی تغییرات و انتقال کاربری اراضی در
دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۶

جهت آشکارسازی بهتر تغییرات بین کاربری‌های مختلف از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ از دستور CrossTab در نرم افزار TerrSet استفاده شد. شکل ۴ نقشه گرافیکی تغییرات بیشتر از ۵ کیلومتر مربع بین کاربری‌های موجود را نشان می‌دهد. نتایج برگرفته از این شکل نشان از تغییرات گسترده در اطراف و مرز بین مناطق شهری و محیط‌های طبیعی مجاور است. در واقع بیشترین ترکیب رنگی که نشان دهنده تغییرات متعددی است در پیرامون کلان‌شهر تبریز صورت گرفته است و مناطق بدون تغییر بیشتر مربوط به مرکز محدوده مورد مطالعه می‌باشد که شهر تبریز واقع شده است.

تحلیل تغییرات کاربری و پوشش اراضی در تبریز نتایج مشابهی را گزارش کردند که مناطق شهری و روستایی (ساخت و سازه‌های انسانی) افزایش در حالی که کشاورزی و باغات (فضاهای اکولوژیک) کاهش یافته‌اند. در مناطق با اقلیم مشابه تبریز، کاهش کشاورزی معمولاً منجر به افزایش وسعت آب می‌شود، اما در این تحقیق چنین نتیجه‌ای به دست نیامده و وسعت پهنه‌های آبی و کشاورزی شهری هر دو کاهش یافته است. این پدیده به دلایلی مانند تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی در این دوره (Ghazi and Jeihouni, 2022) و گسترش فضای سبز شهری از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ قابل تفسیر است. به طور کلی، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در شهرهای پرجمعیت ایران نشان دهنده گسترش ساخت و سازه‌های انسانی، و کاهش فضاهای طبیعی و اکولوژیک در دهه‌های اخیر



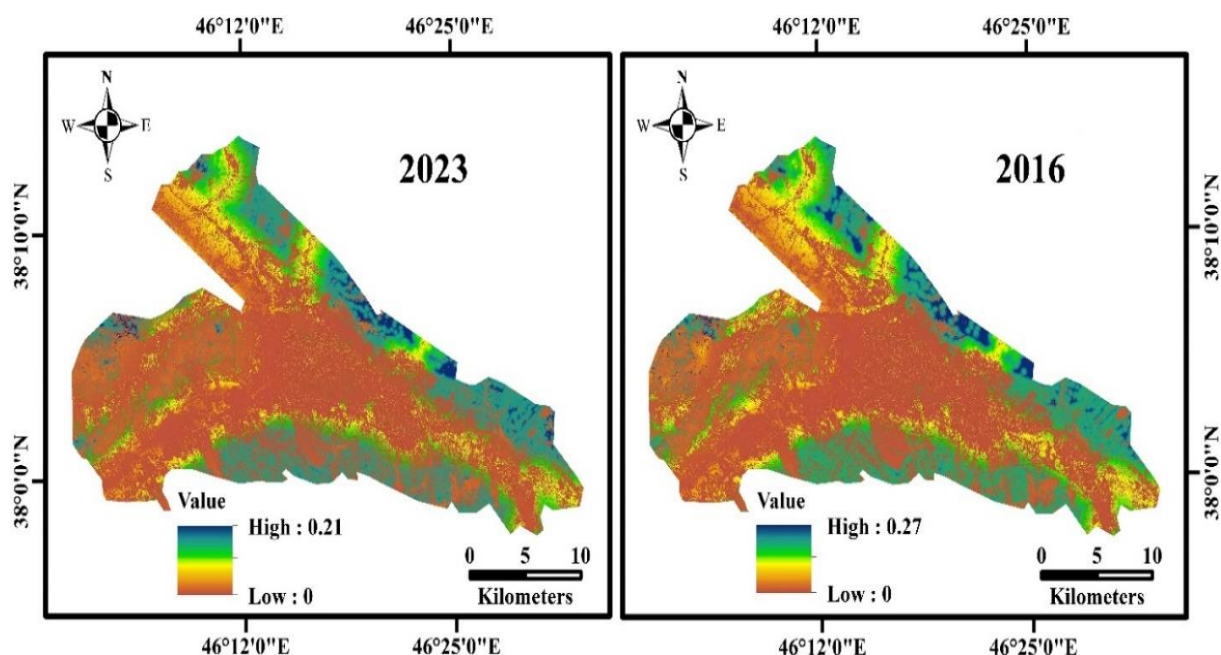
شکل ۴- تغییرات بین کلاس‌های مختلف کاربری و پوشش اراضی (۲۰۱۶-۲۰۲۳)

Fig. 4- Changes among different Land use/land cover classes (2016-2023)

مدل کیفیت زیستگاه

گام بعدی ارزیابی و مدل‌سازی کیفیت و درجه تخریب زیستگاه در محدوده شهر تبریز برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ با استفاده از مدل کیفیت زیستگاه InVEST می‌باشد. مناطق با ارزش زیستگاهی بالا در محدوده مورد مطالعه در هر دو سال عمدتاً در نواحی کوهستانی شمالی (کوه عینالی) و جنوب منطقه به دلیل فاصله با عوامل تهدید (مناطق شهری و جاده‌ها) و محدود بودن فعالیت‌های

انسانی توزیع شده است (شکل ۵). Tang *et al.* (2023). نزدیک بودن به عوامل مخرب و فعالیت‌های انسانی را عامل اصلی کاهش تنوع زیستی و کیفیت زیستگاه در مناطق پرجمعیت شهری بیان کرده است. همانطور که در شکل ۵ قابل مشاهده است، کمترین کیفیت زیستگاه مربوط به مناطق شهری و ساخت و سازهای انسانی می‌باشد و مرز بین فضاهای اکولوژیک و شهری وضعیت متفاوتی را نشان می‌دهد.



شکل ۵- پراکنش مکانی کیفیت زیستگاه برای سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ در محدوده مورد مطالعه

Fig. 5- Spatial distribution of habitat quality for 2016 and 2023 in the study area

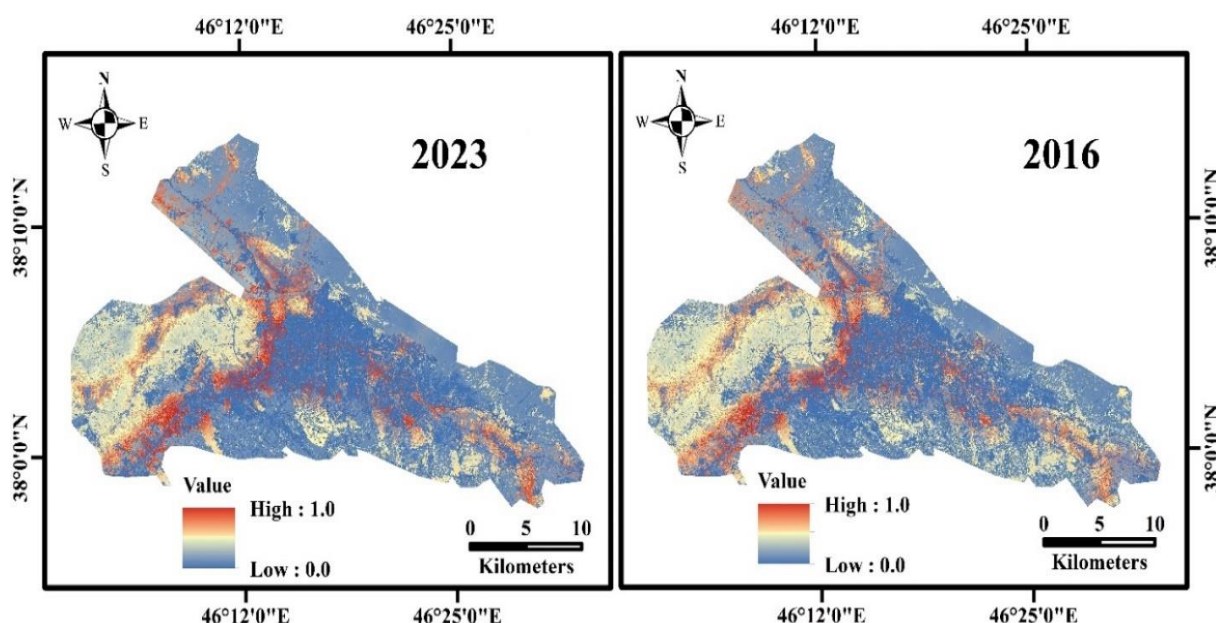
این مدل، کیفیت زیستگاه را در قالب مقادیری بین صفر تا یک ارزیابی می‌کند؛ به‌طوری‌که کاهش این مقدار نشان‌دهنده افت کیفیت زیستگاه بوده و نزدیکی میانگین کیفیت زیستگاه به عدد یک، بیانگر وضعیت مطلوب زیستی می‌باشد. با استفاده از امکانات نرم‌افزار ArcGIS 10.8 مقادیر شاخص کیفیت زیستگاه را می‌توان به محدوده‌های مختلف: ۰/۰-۰/۳، ۰/۳-۰/۶، ۰/۶-۰/۸ و ۰/۸-۱ تقسیم کرد که به ترتیب نشان‌دهنده کیفیت زیستگاه ضعیف، متوسط، خوب و عالی می‌باشد (Lei *et al.*, 2022). در این تحقیق به دلیل توسعه یافته بودن محدوده مورد مطالعه حداکثر کیفیت

زیستگاه در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۲۱ می‌باشد. همچنین میانگین کیفیت زیستگاه در این دو سال به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۰۳ است که بیانگر ضعیف بودن وضعیت کیفیت زیستگاه و کم بودن تنوع زیستی در محدوده کلان شهر تبریز است. علت اصلی کاهش کیفیت زیستگاه در محدوده مورد مطالعه در دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ را می‌توان به گسترش شهرنشینی، کاهش فضاهای اکولوژیک و تغییر کاربری نسبت داد. در ارتباط با موضوع مذکور Ansari *et al.* (2023) گسترش شهرنشینی و افزایش فعالیت‌های انسانی را مهم‌ترین عامل کاهش کیفیت زیستگاه و تنوع

را نمایش می‌دهد که حاکی از تخریب زیستگاه در مرز بین ساخت و سازهای انسانی و فضاها طبیعی مجاور است. در سال ۲۰۲۳ بیشترین تخریب (مناطق قرمز رنگ) در محدوده‌ای از منطقه صورت گرفته است که کاربری کشاورزی شهری بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است، از این جهت کاهش کیفیت زیستگاه در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۲۰۱۶ را می‌توان به کاهش مساحت کاربری کشاورزی در این دوره نسبت داد.

زیستی در کل ایران معرفی کردند، که با نتایج حاصل از این پژوهش نیز هم‌خوانی دارد. همچنین مطالعات متعددی در ایران (Mashizi and Escobedo, 2020; Ahmadi, 2021; Mirghaied and Sour, 2021; Abdollahi et al., 2024) و جهان (Wu et al., 2021; He et al., 2023) کاهش کیفیت زیستگاه متأثر از تغییر کاربری و پوشش اراضی را گزارش کرده‌اند.

شکل ۶ نقشه تخریب زیستگاه را برای دو دوره مورد بررسی



شکل ۶- پراکنش درجه تخریب زیستگاه برای سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ در محدوده مورد مطالعه

Fig. 6- Spatial distribution of habitat degradation for 2016 and 2023 in the study area

طبیعی معرفی کرد. در هر دو سال مذکور اراضی بایر که در قسمت‌های شمالی و جنوبی محدوده مورد مطالعه پراکنده است، بالاترین میانگین کیفیت زیستگاه (۰/۰۹) را در بین سایر کاربری‌ها به خود اختصاص داده است. به طور کلی تغییر کاربری اراضی از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ تأثیر چندانی در وضعیت نامطلوب شاخص کیفیت زیستگاه کاربری‌ها محدوده شهر تبریز نشان نمی‌دهد. با این وجود در این مدت میانگین شاخص کیفیت زیستگاه کشاورزی شهری و مرتع در محدوده مورد مطالعه کاهش یافت. از این رو این دو کاربری عامل اصلی کاهش کلی کیفیت زیستگاه در منطقه می‌باشند.

برای بررسی دقیق‌تر تأثیر فضاها اکولوژیک و انسان‌ساخت بر کیفیت زیستگاه در کلان‌شهر تبریز، میانگین شاخص کیفیت زیستگاه انواع مختلف کاربری‌ها تهیه شد (جدول ۷). همانطور که قابل پیش‌بینی بود وضعیت این شاخص در محدوده مورد مطالعه بسیار ناچیز می‌باشد. در این تحقیق میانگین کیفیت زیستگاه فضاها سبز شهری و پهنه‌های آبی که بر اساس جدول ۴ بالاترین وضعیت را از لحاظ تنوع زیستی دارند مانند کاربری ساخت و سازهای انسانی که کمترین ارزش تنوع زیستی را دارد در هر دو سال صفر می‌باشد. دلایل این نتایج را می‌توان وسعت بالای کاربری‌های انسان‌ساخت و نزدیکی عوامل تهدید به زیستگاه‌های

جدول ۷- میانگین شاخص کیفیت زیستگاه انواع کاربری و پوشش اراضی

Table 7. Average habitat quality index of various land use/land cover

میانگین شاخص کیفیت زیستگاه		کاربری و پوشش اراضی
2023	2016	
0.00	0.00	ساخت و سازه‌های انسانی
0.00	0.00	فضای سبز شهری
0.01	0.02	کشاورزی شهری
0.00	0.01	مرتع
0.09	0.09	اراضی بایر
0.00	0.00	پهنه‌های آبی

پاکسازی مناطق وسیعی از پوشش گیاهی بومی معرفی می‌کند که منجر به تکه‌تکه‌شدن زیستگاه و از دست دادن تنوع زیستی می‌شود.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر کاربری‌های مختلف انسانی و اکولوژیکی در ارائه خدمت اکوسیستمی کیفیت زیستگاه در محدوده کلان‌شهر تبریز واقع در استان آذربایجان شرقی انجام گرفت. این پژوهش تحلیلی جامع از شاخص کیفیت زیستگاه تحت شش نوع کاربری مختلف ساخت و سازه‌های انسانی، فضای سبز شهری، کشاورزی شهری، مرتع، اراضی بایر و پهنه‌های آبی را ارائه کرد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد سامانه تحت وب گوگل ارث انجین دقت زیادی در تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه دارد. علاوه‌براین، نتایج نشان می‌دهد که مدل کیفیت زیستگاه InVEST نیز قابلیت زیادی برای ارزیابی شاخص کیفیت و تخریب زیستگاه کاربری‌های مختلف دارد و مؤثر بودن این مدل را در مناطق کم داده نشان می‌دهد. نتایج تحقیق حاضر پویایی مکانی-زمانی تغییرات کاربری و پوشش اراضی و افزایش فعالیت‌های انسانی و گسترش شهرنشینی را گزارش می‌کند که کاهش کیفیت زیستگاه و افزایش تخریب زیستگاه در دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۶ را به دنبال داشته است. ارزیابی شاخص کیفیت زیستگاه کاربری‌های مختلف در کلان‌شهر تبریز نشان می‌دهد که اراضی بایر به دلیل

نتایج این پژوهش تأثیر تغییر نوع کاربری و پوشش اراضی بر کیفیت زیستگاه را با وجود فاصله زمانی ناچیز نشان می‌دهد. بنابراین برای برنامه‌ریزی کاربری منطقه‌ای و توسعه جوامع پایدار از نظر اکولوژیکی، تجزیه و تحلیل اثر نوع کاربری و پوشش اراضی بر کیفیت زیستگاه بسیار مهم است. (Meng *et al.*, 2023) در تحقیق خود بیان می‌کند که رابطه‌ای بین نوع کاربری و پوشش اراضی با الگوی منظر وجود دارد که بر ساختار کیفیت اکوسیستم‌های منطقه‌ای تأثیر دارد. سطح تنوع زیستی و کیفیت زیستگاه توسط عواملی مانند جاده‌ها و مناطق شهری تهدید می‌شود که در مدل InVEST-HQ محاسبه می‌شوند (Chen *et al.*, 2024). این مدل را می‌توان برای برآورد و مقایسه اثرات نسبی فعالیت‌های مخرب انسانی به منظور شناسایی تهدیدهایی که بیشترین تأثیر را بر تنوع زیستی در یک محدوده پر جمعیت شهری، مورد استفاده قرار داد. تهدید به طور کلی به عوامل تخریب زمین توسط انسان‌ها تعریف می‌شود که بر روی زیستگاه‌های مجاور تأثیر منفی می‌گذارد. این ممکن است منجر به تکه‌تکه‌شدن زیستگاه مجاور، تخریب زیستگاه و در نهایت کاهش کیفیت زیستگاه شود (Pu *et al.*, 2024). توسعه مناطق شهری و افزایش فعالیت‌های انسانی در کلان شهر تبریز در سال‌های اخیر خدمات اکوسیستم ارائه شده توسط فضاها را اکولوژیک را محدود کرده و شاخص کیفیت زیستگاه این منطقه پرجمعیت شهری را کاهش داده است که با یافته‌های (Hasani *et al.*, 2017) مطابقت دارد. (Dezhkam *et al.*, 2014) نیز توسعه شهری را مسئول

و کاربران مختلف فراهم نموده تا در آینده بتوانند اقدامات مهمی در ارزیابی کیفیت و تخریب زیستگاه تحت کاربری-های متنوع و در سری‌های زمانی و سناریوهای مختلف داشته باشند.

سیاسگزاری

نویسندگان بدین‌وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از داوران محترم و سردبیر گرامی نشریه به‌دلیل بررسی دقیق، راهنمایی‌های ارزشمند و پیشنهادهای سازنده ایشان اعلام می‌دارند. شایان ذکر است که این پژوهش بخشی از نتایج پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای بهمن ویسی نبی‌کندی بوده و هیچ‌گونه حمایت مالی از سوی نهادها یا اشخاص حقیقی و حقوقی دریافت نکرده است.

References

- Abdollahi, S., Zeilabi, E., & Xu, C. C. (2024). 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. <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01896-y>
- Ahmadi Mirghaied, F., & Sour, B. (2021). Relationships between habitat quality and ecological properties across Ziarat Basin in northern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 23(11), 16192-16207. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01343-x>
- Amini Parsa, V., Yavari, A., & Nejati, A. (2016). Spatio-temporal analysis of land use/land cover pattern changes in Arasbaran Biosphere Reserve: Iran. *Modeling earth systems and environment*, 2(4), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0227-2>
- Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., & Alavipanah, S. K. (2009). Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote sensing of environment*, 113(12), 2606-2617. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.07.021>
- Ansari, A., Ghorbanpour, M., Kazemi, A., & Kariman, K. (2023). Ecological assessment of Iran's terrestrial biomes for wildlife conservation. *Scientific Reports*, 13(1), 17761. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45120-4>
- Chen, H., Yan, W., Li, Z., Wende, W., & Xiao, S. (2024). A framework for integrating ecosystem service

فاصله زیاد نسبت به عوامل تهدید از کیفیت بالاتری برخوردار است. در حالی که فضای سبز شهری به دلیل نزدیکی زیاد به عوامل تهدید در مناطق شهری بیشترین تخریب زیستگاه را تجربه می‌کند. این تحقیق بر نقش مهم تلفیق داده‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی با مدل InVEST در مدل‌سازی پراکنش مکانی کیفیت زیستگاه تحت کاربری‌های مختلف به عنوان یک رویکرد نوین تأکید می‌کند. بنابراین می‌توان اذعان داشت که استفاده از فن‌آوری‌های نوین و داده‌های با دقت بالاتر مانند ماهواره سنتینل می‌تواند شاخص کیفیت و تخریب زیستگاه در اکوسیستم‌های شهری با احتمال دقیق‌تری پیش‌بینی کند. این تحقیق راهکاری برای انجام مطالعات مشابه بدون صرف هزینه و زمان زیاد را به روی متخصصین

منابع

- provision and connectivity in ecological spatial networks: A case study of the Shanghai metropolitan area. *Sustainable Cities and Society*, 100, 105018. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105018>
- Dadashpoor, H., Azizi, P., & Moghadasi, M. (2019). Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. *Science of the Total Environment*, 655, 707-719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.267>
- Dashtbozorgi, F., Hedayatiaghmashhadi, A., Dashtbozorgi, A., Ruiz-Agudelo, C. A., Fürst, C., Cirella, G. T., & Naderi, M. (2023). Ecosystem services valuation using InVEST modeling: Case from southern Iranian mangrove forests. *Regional Studies in Marine Science*, 60, 102813. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102813>
- Dezhkam, S., Amiri, B. J., Darvishsefat, A. A., & Sakieh, Y. (2014). Simulating the urban growth dimensions and scenario prediction through sleuth model: a case study of Rasht County, Guilan, Iran. *GeoJournal*, 79, 591-604. <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9515-9>
- Ezimand, K., Aghighi, H., Ashourloo, D., & Shakiba, A. (2023). Statistical analysis and predicting spatio-temporal variations of urban heat islands using remote sensing data. *Environmental Sciences (1735-1324)*, 21(3) (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.48308/envs.2023.1254>
- Floreano, I. X., & de Moraes, L. A. F. (2021). Land use/land cover (LULC) analysis (2009–2019) with Google Earth Engine and 2030 prediction using

- Markov-CA in the Rondônia State, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(4), 239. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09016-y>
- Ghazi, B., & Jeihouni, E. (2022). Projection of temperature and precipitation under climate change in Tabriz, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(7), 621. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09848-z>
- Hasani, M., Sakieh, Y., Dezhkam, S., Ardakani, T., & Salmanmahiny, A. (2017). Environmental monitoring and assessment of landscape dynamics in southern coast of the Caspian Sea through intensity analysis and imprecise land-use data. *Environmental monitoring and assessment*, 189, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5883-9>
- He, N., Guo, W., Wang, H., Yu, L., Cheng, S., Huang, L., ... & Zhou, H. (2023). Temporal and spatial variations in landscape habitat quality under multiple land-use/land-cover scenarios based on the PLUS-InVEST model in the Yangtze River Basin, China. *Land*, 12(7), 1338. <https://doi.org/10.3390/land12071338>
- Kafy, A. A., Saha, M., Fattah, M. A., Rahman, M. T., Dutti, B. M., Rahaman, Z. A., ... & Sattar, G. S. (2023). Integrating forest cover change and carbon storage dynamics: Leveraging Google Earth Engine and InVEST model to inform conservation in hilly regions. *Ecological Indicators*, 152, 110374. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110374>
- Koko, A. F., Yue, W., Abubakar, G. A., Hamed, R., & Alabsi, A. A. N. (2020). Monitoring and Predicting Spatio-Temporal Land Use/Land Cover Changes in Zaria City, Nigeria, through an Integrated Cellular Automata and Markov Chain Model (CA-Markov). *Sustainability*, 12(24), 10452. <https://doi.org/10.3390/su122410452>
- Lei, J., Chen, Y., Li, L., Chen, Z., Chen, X., Wu, T., & Li, Y. (2022). Spatiotemporal change of habitat quality in Hainan Island of China based on changes in land use. *Ecological Indicators*, 145, 109707. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109707>
- Mahmoudzadeh, H., Abedini, A., & Aram, F. (2022). Urban growth modeling and land-use/land-cover change analysis in a metropolitan area (case study: Tabriz). *Land*, 11(12), 2162. <https://doi.org/10.3390/land11122162>
- Mashizi, A. K., & Escobedo, F. J. (2020). Socio-ecological assessment of threats to semi-arid rangeland habitat in Iran using spatial models and actor group opinions. *Journal of Arid Environments*, 177, 104136. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104136>
- Meng, R., Cai, J., Xin, H., Meng, Z., Dang, X., & Han, Y. (2023). Spatio-Temporal Changes in Land Use and Habitat Quality of Hobq Desert along the Yellow River Section. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3599. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043599>
- Mengist, W., Soromessa, T., & Feyisa, G. L. (2021). Landscape change effects on habitat quality in a forest biosphere reserve: Implications for the conservation of native habitats. *Journal of Cleaner Production*, 329, 129778. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129778>
- Pu, J., Shen, A., Liu, C., & Wen, B. (2024). Impacts of ecological land fragmentation on habitat quality in the Taihu Lake basin in Jiangsu Province, China. *Ecological Indicators*, 158, 111611. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111611>
- Rahimi, A., Khorsand, E. D., Breuste, J., & Karimzadeh, H. (2023). Gender justice in green space use in relation to different socio-economic conditions in Tabriz, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 99, 104973. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104973>
- Sadat, M., Zoghi, M., & Malekmohammadi, B. (2020). Spatiotemporal modeling of urban land cover changes and carbon storage ecosystem services: case study in Qaem Shahr County, Iran. *Environment, development and sustainability*, 22(8), 8135-8158. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00565-4>
- Sharp R, Tallis H, Ricketts T, Guerry A, Wood SA, Chaplin-Kramer R, Nelson E (2018) InVEST 3.6.0 User's Guide. The Natural Capital Project. Stanford university, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Shoja, F., Veisi Nabikandi, B., & Feizizadeh, B. (2025). Spatiotemporal analysis of urbanization-driven land use changes in Tehran Province using novel technologies. *Journal of Geography and Cartography*, 8(2), 11630. <https://doi.org/10.24294/jgc11630>
- Sobhani, P., Esmailzadeh, H., & Mostafavi, H. (2021). Simulation and impact assessment of future land use and land cover changes in two protected areas in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103296. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103296>
- Steger, K., Fiener, P., Marvin-DiPasquale, M., Viers, J. H., & Smart, D. R. (2019). Human-induced and natural carbon storage in floodplains of the Central Valley of California. *Science of the total environment*, 651, 851-858. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.205>
- Tamire, C., Elias, E., & Argaw, M. (2023). A systematic review of ecosystem services assessments, trends, and challenges in Ethiopia. *Watershed Ecology and the Environment*, 5, 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2022.12.002>
- Tang, J., Zhou, L., Dang, X., Hu, F., Yuan, B., Yuan, Z., & Wei, L. (2023). Impacts and predictions of urban expansion on habitat quality in the densely populated areas: A case study of the Yellow River

- Basin, China. *Ecological Indicators*, 151, 110320. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110320>
- Veisi Nabikandi, B., & Shahbazi, F. (2024). Determining carbon storage content at different pools under various land uses in Miandoab region using remotely-sensed data and InVEST model. *Journal of Natural Environment*, 77(2), 241-253. <https://doi.org/10.22059/jne.2024.377051.2677>
- Veisi Nabikandi, B., Rastkhadiv, A., & Shoja, F. (2024). Modeling of land use/land cover change impact on urban ecological flood resilience: A case study of Rasht city. *Journal of Natural Environment*, 77(3), 385-400. <https://doi.org/10.22059/jne.2024.382160.2710>
- Veisi Nabikandi, B., & Shoja, F. (2025). Unraveling the Effectiveness of Nature-based Solutions in Mitigating Urban Heat Island Intensity. *Town and Country Planning*, 16(2), 343-361. <https://doi.org/10.22059/jtcp.2025.387194.670487>
- Veisi Nabikandi, B., Shahbazi, F., & Biswas, A. (2025a). Evaluating ecosystem services under various trajectories and land use/land cover changes in a densely populated area, Iran. *Earth Science Informatics*, 18(2), 372. <https://doi.org/10.1007/s12145-025-01884-z>
- Veisi Nabikandi, B., Rastkhadiv, A., Feizizadeh, B., Gharibi, S., & Gomes, E. (2025b). A scenario-based framework for evaluating the effectiveness of nature-based solutions in enhancing habitat quality. *GeoJournal*, 90(2), 55. <https://doi.org/10.1007/s10708-025-11305-9>
- Wang, Q., & Wang, H. (2023). Evaluation for the spatiotemporal patterns of ecological vulnerability and habitat quality: implications for supporting habitat conservation and healthy sustainable development. *Environmental geochemistry and health*, 45(5), 2117-2147. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01328-3>
- Wei, Q., Abudurehman, M., Halike, A., Yao, K., Yao, L., Tang, H., & Tuheti, B. (2022). Temporal and spatial variation analysis of habitat quality on the PLUS-InVEST model for Ebinur Lake Basin, China. *Ecological Indicators*, 145, 109632. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109632>
- Wei, W., Bao, Y., Wang, Z., Chen, X., Luo, Q., & Mo, Y. (2023). Response of habitat quality to urban spatial morphological structure in multi-mountainous city. *Ecological Indicators*, 146, 109877. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109877>
- Wu, J., Li, X., Luo, Y., & Zhang, D. (2021). Spatiotemporal effects of urban sprawl on habitat quality in the Pearl River Delta from 1990 to 2018. *Scientific Reports*, 11(1), 13981. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92916-3>
- Wu, X., Liu, S., Zhao, S., Hou, X., Xu, J., Dong, S., & Liu, G. (2019). Quantification and driving force analysis of ecosystem services supply, demand and balance in China. *Science of the Total Environment*, 652, 1375-1386. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.329>
- Xie, Z. X., Zhang, B., Shi, Y. T., Zhang, X. Y., & Sun, Z. X. (2023). Changes and protections of urban habitat quality in Shanghai of China. *Scientific reports*, 13(1), 10976. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32247-7>
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., & Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological economics*, 64(2), 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024>
- Zhao, Z., Islam, F., Waseem, L. A., Tariq, A., Nawaz, M., Islam, I. U., ... & Hatamleh, W. A. (2024). Comparison of three machine learning algorithms using google earth engine for land use land cover classification. *Rangeland Ecology & Management*, 92, 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2023.10.007>



*This page is intentionally
left blank.*