Original Article

Impact of Anthropogenic Activities on provision of Ecosystem Services: An Approach Based on Spatiotemporal Analysis of Habitat Quality

Bahman Veisi Nabikandi,[1] Ahmad Hami,[1*] Khalil Valizadeh Kamran,[2] Farzin Emami Namin[1]

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

[2] Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Tabriz University, Tabriz, Iran

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. The impact and role of various land uses in providing these ecosystem services were examined, focusing on the distinction between ecological and human-made spaces.

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

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

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, InVEST, Tabriz

نسخه پیش انتشار

مقاله پژوهشی

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

بهمن ویسی نبی‌کندی[۱]، احمد حامی[۱†]، خلیل ولیزاده کامران[۲]، فرزین امامی نمین[۱]

[۱] گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[۲] گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

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 قابل‌توجه‌ای 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 تکه‌تکه‌شدن 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 زیستگاها دارند. لذا هدف تحقیق مذکور ارزیابی تأثیر فضاهای اکولوژیک در ارائه خدمت اکوسیستمی کیفیت زیستگاه و مقایسه با فضاهای انسان‌ساخت از طریق 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. در گام آخر با استفاده از بسته نرم‌افزاری InVEST خدمت اکوسیستمی کیفیت زیستگاه در محدوده مورد مطالعه برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ مدل‌سازی شد. همچنین تأثیر و نقش کاربری‌های مختلف در ارائه خدمت اکوسیستمی مذکور با تمرکز بر تمایز بین فضاهای اکولوژیک و انسان‌ساخت مورد بررسی قرار گرفت.

[†]Corresponding Author Email Address: hami@tabrizu.ac.ir

نسخه پیش انتشار

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 نتیجه‌گیری می‌کند که نقش فضای سبز شهری در افزایش کیفیت زیستگاه و حفظ تنوع زیستی در کلان‌شهر تبریز به دلیل وسعت کم و نزدیکی زیاد به عوامل تهدید ناچیز است و تأثیر مخرب فعالیت‌های انسانی مانند گسترش ساخت‌وسازهای انسانی در کیفیت زیستگاه را 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 تاکید 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، InVEST، تبریز

مقدمه

افزایش فعالیت‌های انسانی در دهه‌های اخیر فشار فزاینده‌ای بر خدمات اکوسیستم در مناطق پرجمعیت شهری وارد کرده است (Veisi Nabikandi *et al.*, 2024a). 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 فضاهای اکولوژیک می‌شود که به نوبه خود، ارائه خدمات

نسخه پیش انتشار

اکوسیستم را تضعیف می‌کند و بر رفاه جمعیت شهری تأثیر می‌گذارد (Lechner *et al.*, 2020). این روند نه‌تنها باعث ایجاد 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). تنوع زیستی با حفظ عملکرد و انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌ها به رفاه انسان و توسعه پایدار کمک می‌کند. فضاهای اکولوژیک شهری به عنوان عناصر حیاتی برای حفظ و ارتقاء خدمات اکوسیستم، بهبود کیفیت زیستگاه‌ها و افزایش تاب‌آوری شهری مطرح می‌شوند. فضاهای اکولوژیک شهری شامل پارک‌ها، باغ‌ها، فضاهای سبز و کشاورزی شهری نقش مهمی در حفظ تنوع زیستی و افزایش کیفیت زیستگاه دارند (Wang and Wang, 2023). از این رو این کاربری‌ها از از طریق افزایش کیفیت زیستگاه نقش بسزای در مقابله با چالش‌های موجود در مناطق پرجمعیت شهری و دستیابی به اهداف توسعه پایدار دارند. افزایش فضاهای 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.*, 2024b). خدمات اکوسیستم را می‌توان با استفاده از مدل‌ها و ابزارهای مختلف در روش‌های علمی ارزیابی کرد. InVEST، SolVES، ARIES، SWAT 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 و تأثیر آن‌ها بر کیفیت زیستگاه‌ها ایفا می‌کند. مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده‌اند که هرکدام 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

نسخه پیش انتشار

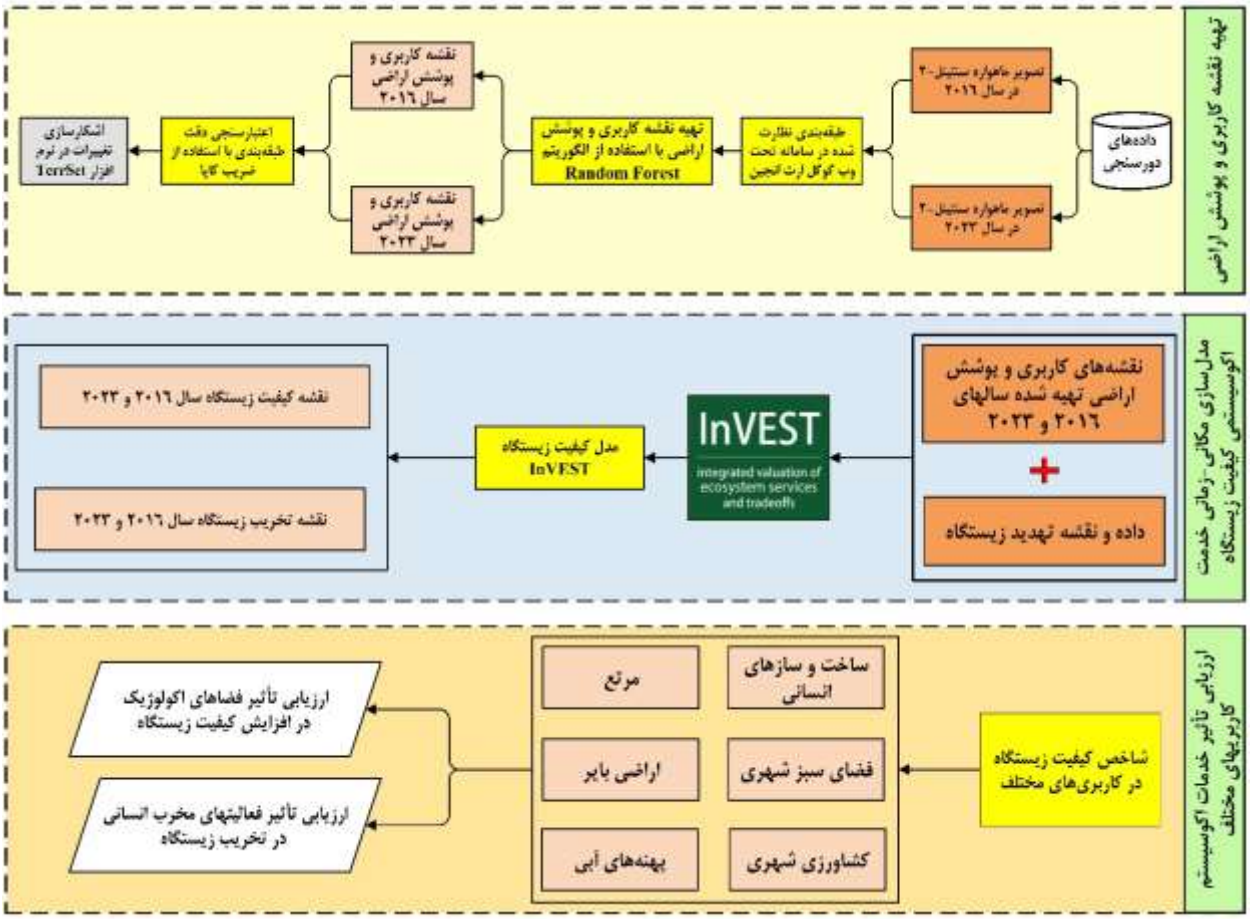
اقلیمی شود. همچنین Mengist *et al.* (2021) به بررسی ارتباط بین خدمات اکوسیستم و کیفیت زیستگاه در مناطق جنگلی پرداخته و دریافتند که مدیریت صحیح منابع طبیعی با استفاده از مدل InVEST می‌تواند به حفظ تنوع زیستی و بهبود کیفیت زیستگاه‌های مختلف کمک کند. در تحقیق دیگری Wei et al. (2023) تأثیر فعالیت‌های مخرب انسانی بر کیفیت زیستگاه را در یک منطقه شهری مورد بررسی قرار داده و نشان دادند 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 مخرب 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 مناطقی که دارای فضاهای اکولوژیکی شکننده مانند مناطق پرجمعیت شهری با استفاده از داده‌های دورسنجی 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 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.

نسخه پیش انتشار

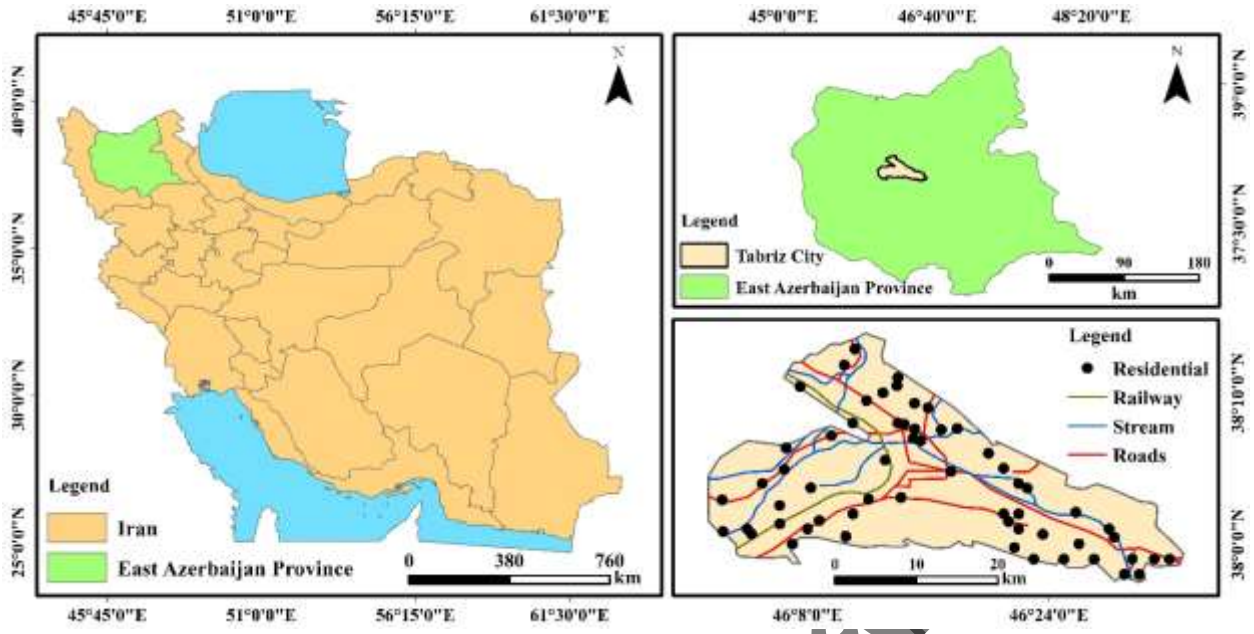


شکل ۱- نمودار جریانی پژوهش

Fig 1. Research flowchart

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).



شکل۲- موقعیت و ویژگی‌های جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig 2. Location and geographical features of the study area

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 ضرروری 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.

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 Google Earth Engine 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 (Kalacska et al., 2020; Zhao et al., 2024). جهت افزایش دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای (2021) Floreano and De Moraes پیشنهاد می‌کنند که طبقه‌بندی در دسته‌ها و کلاس‌های کلی‌تر 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. 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
اراضی 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. Yilmaz and Demirhan (2023) 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

نسخه پیش انتشار

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.

جدول۲- 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 *et al.*, 2023; Dashtbozorgi *et al.*, 2023) و راهنمای نرم‌افزار InVEST
جزئیات انواع زیستگاه‌ها و حساسیت کاربری‌ها به عوامل تهدید (Sensitivity Table)	جدول اکسل	مطالعات مشابه (Ansari *et al.*, 2023; Dashtbozorgi *et al.*, 2023) و راهنمای نرم‌افزار InVEST

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):

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

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

نسخه پیش انتشار

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

که در آن D_{xj} درجه کل تخریب زیستگاه پیکسل x در jمین 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 j است و $d_{r\ max}$ 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):

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

که در آن Q_{xj} نمایانگر شاخص کیفیت زیستگاه پیکسل x در نوع کاربری j، H_j تناسب زیستگاه از نوع کاربری j 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.

جدول۳- عوامل تهدید و ضرایب مرتبط

Table 3. Threat factors and related coefficients

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

نسخه پیش انتشار

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)	عوامل تهدید		
		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

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 تقریبا کامل را 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).

جدول ۵۱- دقت طبقه‌بندی کاربری‌های مختلف بر اساس معیارهای ارزیابی

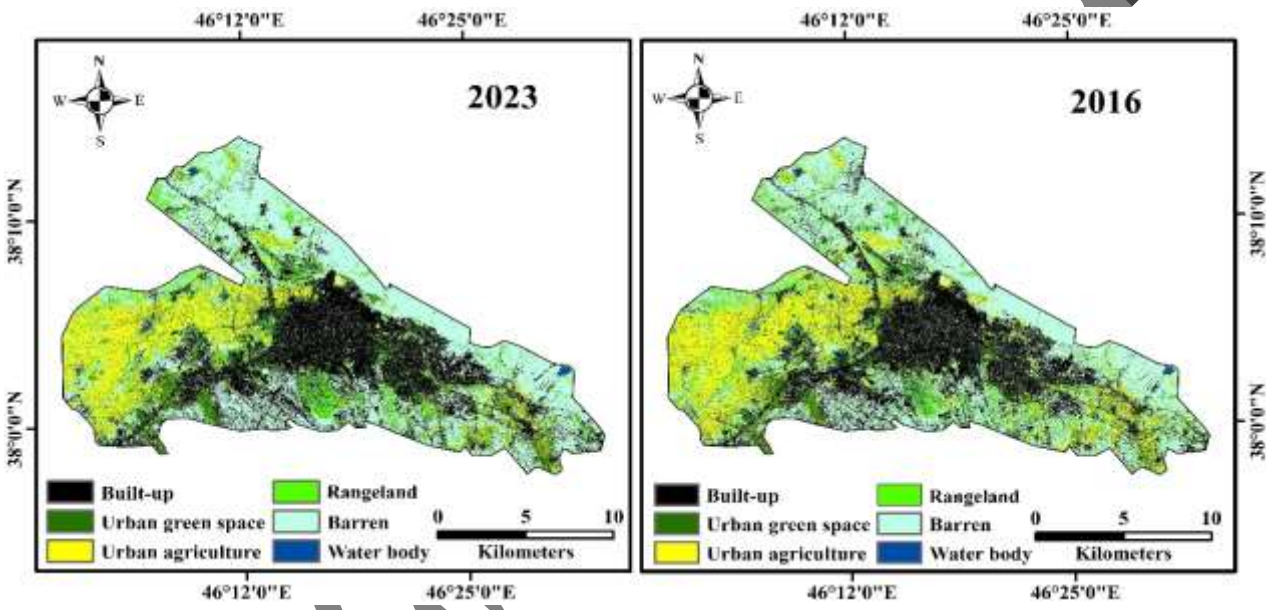
Table 5. The classification accuracy of different Land-uses based on the evaluating criteria

سال	کاربری اراضی	نقاط اعتبارسنجی برای کاربری‌های مختلف							صحت کاربری‌ها
		ساخت و سازهای انسانی	فضای سبز شهری	کشاورزی شهری	مرتع	اراضی بایر	پهنه‌های آبی	مجموع	
2016	ساخت و سازهای 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 سازهای 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

نسخه پیش انتشار

0.84	92	0	78	8	0	1	5	اراضی بایر
1	29	29	0	0	0	0	0	پهنه‌های آبی
ضریب کاپا	**صحت کلی**							
0.86	**88.78%**	29	91	68	64	56	129	مجموع

شکل ۳ نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده از سامانه گوگل ارث انجین را برای سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.



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

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

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 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.

جدول ۶- آمار کاربری و پوشش اراضی ۲۰۱۶-۲۰۲۳

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

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

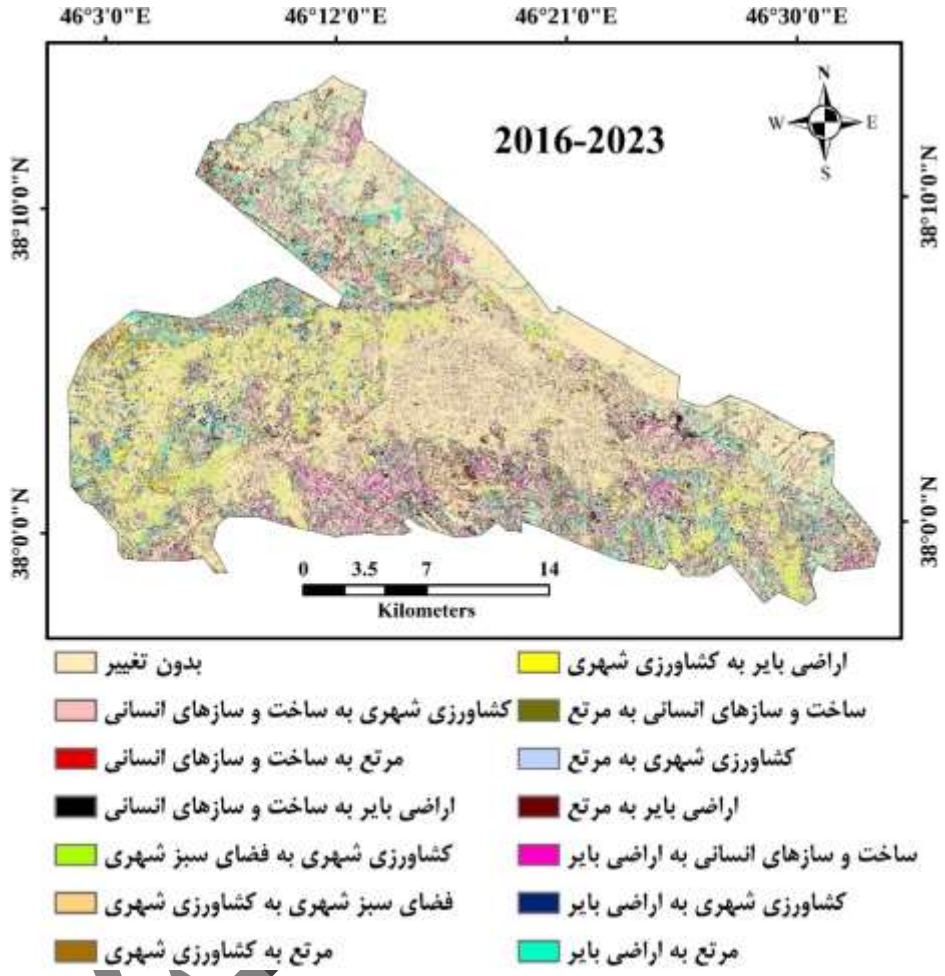
نتایج تجزیه و تحلیل نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی در سال ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات شامل کاهش ۳/۷ درصدی کشاورزی شهری و افزایش ۲/۶ درصدی اراضی بایر در مقایسه با سال ۲۰۱۶ بوده است (جدول ۶). همچنین در سال ۲۰۲۳، ساخت و سازهای انسانی و فضای سبز شهری به ترتیب ۹/۷۴ کیلومتر مربع و ۶/۷۸ کیلومتر مربع افزایش 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 تحلیل تغییرات کاربری و پوشش اراضی در تبریز نتایج مشابه‌ای را گزارش کردند که مناطق شهری و روستایی (ساخت و سازهای 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 سازهای انسانی و کاهش فضاهای طبیعی و اکولوژیک در دهه‌های اخیر 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 کیلومترمربع 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

نسخه پیش انتشار

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.



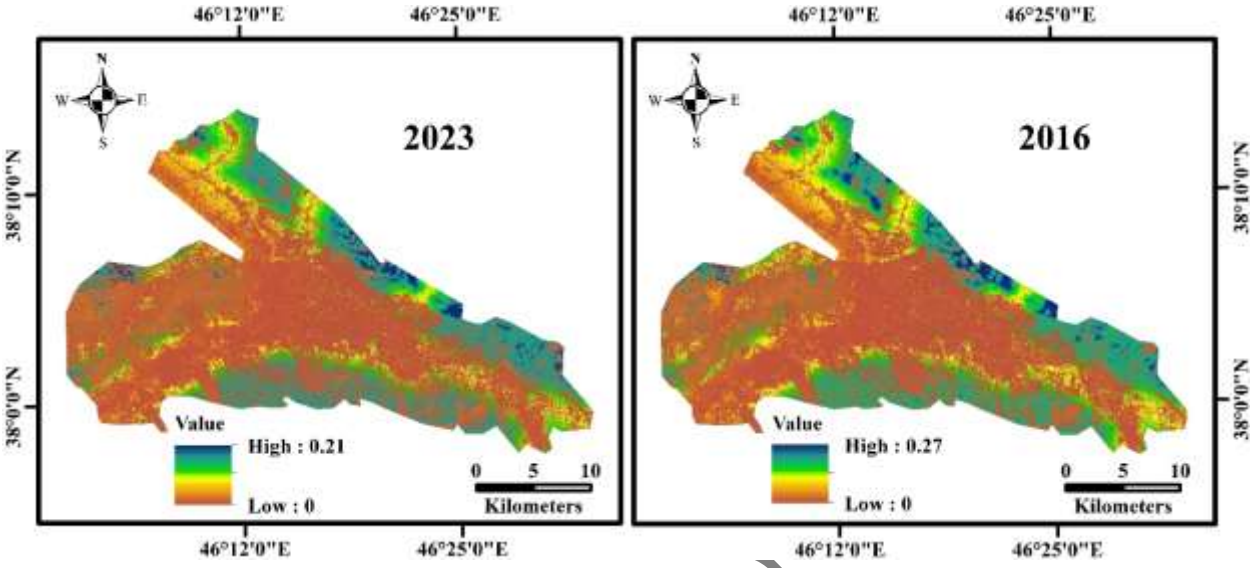
شکل ۴- تغییرات بین کلاس‌های مختلف کاربری و پوشش اراضی (۲۰۲۳-۲۰۱۶)

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 اسفاده 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.

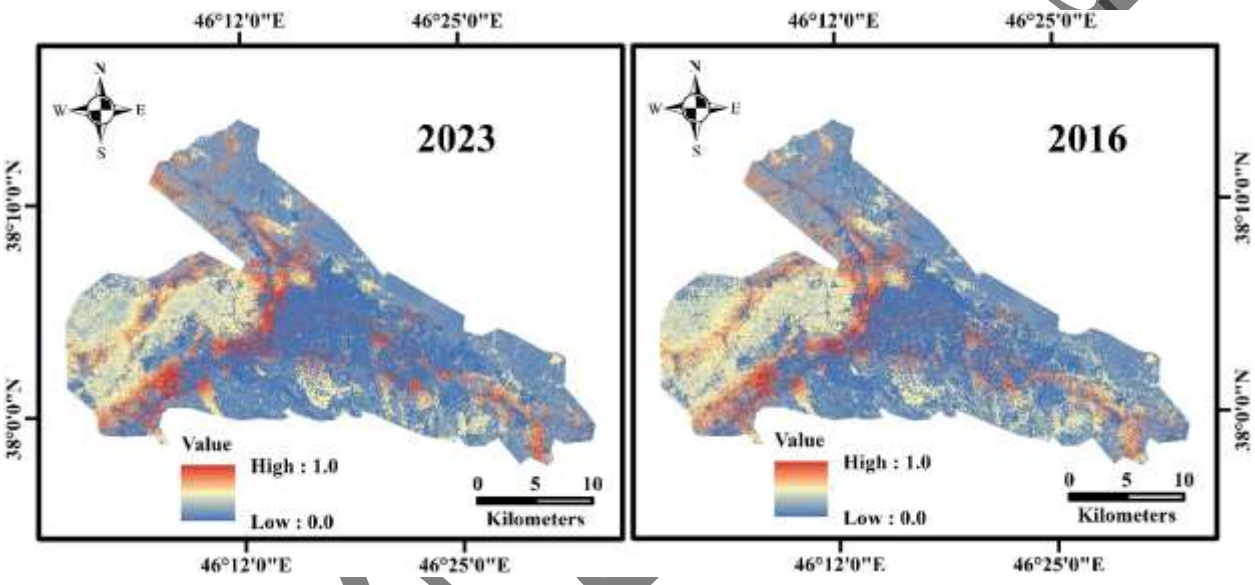


شکل ۵- پراکنش مکانی کیفیت زیستگاه برای سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ در محدوده مورد مطالعه
Fig 5. Spatial distribution of habitat quality for 2016 and 2023 in the study area

این مدل محدوده مقادیر کیفیت زیستگاه را بین صفر و ۱ در نظر می‌گیرد که هرچه این مقدار کمتر باشد کیفیت زیستگاه ضعیف‌تر و نزدیک بودن میانگین کیفیت زیستگاه به یک حاکی از وضعیت مناسب زیستی است. با استفاده از امکانات نرم‌افزار ArcGIS 10.8 مقادیر شاخص کیفیت زیستگاه را می‌توان به محدوده‌های مختلف: ۰-۰/۳، ۰/۳-۰/۶، ۰/۶-۰/۸ و ۰/۸-۱ تقسیم کرد که به ترتیب نشان دهنده 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 تنوع زیستی در محدوده کلان شهر تبریز است. همچنین 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 زیستی در کل ایران معرفی کردند، که با نتایج این تحقیق نیز مشابهت دارد. همچنین مطالعات متعددی در ایران (Mashizi and Escobedo, 2020; Ahmadi Mirghaed

and Souri, 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.

نقشه تخریب زیستگاه برای دو دوره مورد بررسی در بازه بین صفر تا ۱ در شکل ۶ نشان داده شده است که حاکی از تخریب زیستگاه در مرز بین ساخت و سازهای انسانی و فضاهای 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.



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

برای بررسی دقیق‌تر تأثیر فضاهای اکولوژیک و انسان‌ساخت بر کیفیت زیستگاه در کلان‌شهر تبریز، آماری را در مورد 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 فضاهای 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 انسان ساخت و نزدیکی عوامل تهدید به زیستگاه‌های 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 تاثیر چندانی در وضعیت نامطلوب شاخص کیفیت زیستگاه کاربری‌ها محدوده شهر تبریز نشان نداده است. 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.

جدول ۷- میانگین شاخص کیفیت زیستگاه انواع کاربری و پوشش اراضی
Table 7. Average habitat quality index of various land use/land cover

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

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، مناطق شهری و غیره 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 (Feizizadeh *et al.*, 2022). 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 فضاهای 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 پاکسازی مناطق وسیعی از پوشش گیاهی بومی معرفی می‌کند که منجر به تکه‌تکه‌شدن زیستگاه و از دست دادن تنوع زیستی می‌شود.

نسخه پیش انتشار

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 محتوی شاخص کیفیت زیستگاه تحت شش نوع کاربری مختلف ساخت و سازهای 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. همچنین بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که مدل کیفیت زیستگاه InVEST نیز قابلیت زیادی برای ارزیابی شاخص کیفیت و تخریب زیستگاه کاربری‌های مختلف مذکور دارد و مؤثربودن 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 فاصله زیاد نسبت به عوامل تهدید از کیفیت بالاتری برخودار 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 و کاربران مختلف فراهم نموده تا در آینده بتوانند اقدامات مهمی در ارزیابی کیفیت و تخریب زیستگاه تحت کاربری‌های متنوع و در سری‌های زمانی مختلف داشته باشند.

منابع

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 Mirghaed, F., & Souri, 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

نسخه پیش انتشار

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 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

Feizizadeh, B., Lakes, T., Omarzadeh, D., Sharifi, A., Blaschke, T., & Karimzadeh, S. (2022). Scenario-based analysis of the impacts of lake drying on food production in the Lake Urmia Basin of Northern Iran. Scientific reports, 12(1), 6237. https://doi.org/10.1038/s41598-022-10159-2

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., Duti, 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

Kalacska, M., Lucanus, O., Sousa, L., & Arroyo-Mora, J. P. (2020). High-resolution surface water classifications of the Xingu River, Brazil, pre and post operationalization of the Belo Monte Hydropower Complex. Data, 5(3), 75. https://doi.org/10.3390/data5030075

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

Lechner, A. M., Gomes, R. L., Rodrigues, L., Ashfold, M. J., Selvam, S. B., Wong, E. P., ... & Gibbins, C. (2020). Challenges and considerations of applying nature-based solutions in low-and middle-income countries in Southeast and East Asia. Blue-Green Systems, 2(1), 331-351. https://doi.org/10.2166/bgs.2020.014

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 Projet. Stanford university, University of Minnesota, The Nature Conservacy, and World Wildlife Fund.

Sobhani, P., Esmaeilzadeh, 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., Hami, A., & Malone, B. (2024a). Exploring carbon storage and sequestration as affected by land use/land cover changes toward achieving sustainable development goals. Soil Advances, 2, 100017. https://doi.org/10.1016/j.soilad.2024.100017

Veisi Nabikandi, B., Valizadeh Kamran, K., & Hami, A. (2024b). An integrated model-data fusion approach to measuring the habitat's quality and degradation in Marivan County. Advanced Engineering Days, 9, 157-160

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., Abudureheman, 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

Yilmaz, A. E., & Demirhan, H. (2023). Weighted kappa measures for ordinal multi-class classification performance. Applied Soft Computing, 134, 110020. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110020

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

نسخه پیش انتشار