

Evaluating and modeling of spatiotemporal land use/land cover change impact on habitat quality (Case study: Amol City)

Bahman Veisi Nabikandi ¹, Aboalfazl Ghanbari ²✉

1. M.A. Student in Landscape Architecture Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: bahmanveisi19@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor, Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Tabriz University, Tabriz, Iran. E-mail: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 7 May 2024

Revised: 8 June 2024

Accepted: 10 June 2024

Published: 22 August 2025

Keywords:

Land Use/Land Cover,
Habitat Quality,
Urbanization,
InVEST Model,
Amol City.

ABSTRACT

Evaluating and forecasting the changes in habitat quality (HQ) caused by land use/land cover (LULC) variations during urbanization is crucial for establishing a comprehensive ecological planning system and tackling the obstacles to global sustainable development. Over the last several decades, the biodiversity and environmental quality of the northern provinces have seen significant transformations as a result of population growth, urban development, climate change, and the rise in tourist activities. In this research, the LULC maps of Amol City were preparing for the years 2000 and 2020 using remote sensing data. Additionally, using the CA-Markov model, a simulation was conducted for the year 2035, considering two scenarios: Business-As-Usual (BAU) and Ecological Protection (EP). To assess the spatiotemporal changes occurring at HQ, we integrated the InVEST-HQ model with the CA-Markov model. The findings indicate a significant decline in overall HQ in the city of Amol between 2000 and 2020, mostly due to urbanization and agricultural expansion. Between 2020 and 2035, according to the BAU scenario, the landscape pattern and HQ will continue to deteriorate, following the previous trend of decline. The EP scenario, on the other hand, will be critical in stabilizing and supporting the area's HQ. This emphasizes the significance of preserving ecological spaces like forests and grasslands. The study's maps and findings may assist local managers and related organizations in implementing more efficient plans and solutions for the preservation of these ecosystems.

Cite this article: Veisi Nabikandi, B., Ghanbari, A. (2025). Evaluating and modeling of spatiotemporal land use/land cover change impact on habitat quality (Case study: Amol City). *Journal of Geography and Planning*, 30 (92), 373-392. <https://doi.org/10.22034/gp.2024.61560.3259>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22034/gp.2024.61560.3259>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

Habitat quality (HQ) is an important measure of the variety of living organisms and the benefits they provide to the environment. It may be influenced by changes in how land is used and covered, particularly urbanization (He et al., 2023). Land Use and Land Cover (LULC) change is the main factor influencing the changes and movements seen in natural environments. These changes have significant repercussions for the environment at the local, regional, and global levels. To preserve ecological stability and promote organized and sustainable growth, it is necessary to evaluate the HQ by considering changes in the LULC (Wang et al., 2021). Urbanization, agriculture reclaiming, and deforestation may cause a decrease in HQ due to the direct effects of occupying natural habitat areas, such as reducing their size and breaking them up into smaller fragments. Furthermore, there are indirect consequences such as disturbance, resource appropriation, pollution, and alien species invasion (Wei et al., 2023). The goal of this research is to assess the HQ in the Amol City area, a region in northern Iran undergoing rapid urbanization (Firozjaei et al., 2020). It will do this by analyzing the temporal and spatial patterns of LULC change, and examining how these patterns impact the appropriateness of habitats for various species under different circumstances. The study's objectives are as follows: (1) to analyze and delineate the patterns of HQ in Amol City from 2000 to 2020; (2) to simulate and predict the spatial distribution of HQ in Amol City in 2035 based on the business-as-usual (BAU) scenario; and (3) to examine the impact of the proposed scenario, which involves the protection of ecological spaces (EP), on future HQ in Amol City.

Materials and Methods

To monitor LULC changes in the study area, the researchers used remote sensing images from 2000 and 2020. The images were pre-processed and classified using a Neural Network algorithm in Envi 5.6 software. Four classes of land were considered: built-up, agricultural, forest, and grassland. To verify the accuracy of the classification, a spatiotemporal analysis was performed using real Google Earth images. The study also used the CA-Markov model in TerrSet 2020 software to model future LULC in 2035 under two scenarios (Fu et al., 2022; Ghalehtemouri et al., 2022). The InVEST model was used to evaluate the HQ of the LULCs derived from the acquired LULCs. Based on the types of land use, the model calculated the degree of habitat destruction and the HQ index using threat factors, the sensitivity of different habitat types to threat factors, and the suitability of habitat types (Tang et al., 2023). The results were compared to determine the HQ under different scenarios.

Results

The results showed that the highest area in 2013 was covered by agriculture (49.4%), followed by forest (38.5%), built-up (9.6%), and grassland (2.5%). The developed land use and water bodies are predominantly located in lower-elevation areas with gentle slopes. In addition, the forest cover was in the southern part of the study area. Furthermore, findings illustrate that the built-up areas increased significantly from 9.6% to 23% in 2020 and are projected to reach 32.4% in 2035 under the BAU scenario, while the EP scenario reduced the built-up areas by 1743 hectares. The forest areas decreased from 38.5% to 20% in 2020 and are expected to decline further to 13.5% in 2035 under the BAU scenario, while the EP scenario preserved the forest areas by 4209 hectares. The agricultural and grassland areas showed less change, but grassland increased fourfold in 2020 due to deforestation. The HQ was higher in the southern forest and mountainous areas, but lower in the northern agricultural and urban areas. HQ also decreased over time and space, especially in the central and northern areas of the city, due to urban expansion and land use conversion. The implementation of the EP scenario resulted in a favourable impact on mitigating the reduction in HQ rates and increasing the percentage of regions with high or excellent HQ. The research indicated that HQ is impacted by several variables, including land cover, human activities, and urbanization. It emphasised the need for well-designed policies and planning to achieve a harmonious balance between socio-economic growth and biodiversity protection in urban suburbs. The study conducted a comparative analysis of its findings with previous research on HQ evaluation and prediction. It proposed the implementation of specific policies and actions to achieve a balance between development and conservation requirements in the area. To summarise, the research reveals that the LULC transformation in the Amol City region has been marked by a notable rise in urban and agricultural zones, together with a decline in forested regions from 2000 to 2020. The degradation of the environment posed a significant obstacle for LULC categories that depend on forests for their survival. The simulation results suggest that under the BAU scenario, there would be a continued decrease in HQ. However, in the EP scenario, HQ would be improved by appropriate management of urban and agricultural areas, as well as an increase in forest coverage. Hence, our study not only offers more proof that urban growth is a significant driver of the aforementioned transformations but also highlights the significance of remote sensing in ecological modelling, particularly in areas where data is limited. The results of this study are very significant for the remote sensing community since they include combining remote sensing images with innovative methods to monitor changes in LULC related to land degradation and sustainable development objectives.

Conclusion

This study takes a close look at the patterns of HQ in Amol City over time and space by combining CA-Markov and InVEST models with open-source remote sensing data. The study also showed that the InVEST and CA-Markov models can be useful for figuring out how good habitats are in a range of LULC change scenarios. According to the findings, the HQ index experienced a significant decline from 2000 to 2020. Moreover, the loss of environmental ecological spaces, such as tree covers, pastures, and farmland, led to a substantial decrease in the HQ index. To address this issue, it is crucial to implement efficient land use management measures in order to reduce the environmental effects of human activities on the HQ. This study emphasises the critical role of remote sensing in monitoring LULC changes in both short- and long-term scenarios. By integrating CA-Markov and InVEST models, we were able to effectively track the spatial and temporal changes in HQ by analysing LULC changes. Ultimately, our study provides a more profound comprehension of the connections between LULC changes caused by environmental restoration projects and changes in habitat quality. The study found that implementing measures such as afforestation and reforestation initiatives, combined with promoting tourist development, may mitigate the negative impacts of LULC changes on HQ. In addition, several policy actions were suggested to align urbanisation with ecological preservation.





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ارزیابی و مدل سازی تاثیر تغییرات مکانی-زمانی کاربری و پوشش اراضی بر کیفیت زیستگاه (نمونه موردی: شهر آمل)

بهمن ویسی نبی کندی^۱، ابوالفضل قنبری^۲✉

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: bahmanveisi19@gmail.com
 ۲. نویسنده مسئول، استاد گروه سنجش از دور، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۳۱ کلیدواژه‌ها: کاربری و پوشش اراضی، کیفیت زیستگاه، شهرنشینی، مدل InVEST، شهر آمل.	ارزیابی و پیش‌بینی تکامل کیفیت زیستگاه بر اساس تغییرات کاربری و پوشش اراضی تحت فرآیند شهرنشینی برای برنامه‌ریزی یک سیستم جامع اکولوژیکی و پرداختن به چالش‌های توسعه پایدار مهم است. در دهه‌های گذشته، تنوع زیستی و کیفیت زیستگاه استان‌های شمالی به دلیل رشد جمعیت، گسترش زمین‌های ساخته شده، تغییر اقلیم و افزایش فعالیت‌های گردشگری دستخوش تغییرات اساسی شده است. در این پژوهش، نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی شهر آمل برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تهیه شد. علاوه بر این، با استفاده از مدل CA-Markov، یک شبیه‌سازی برای سال ۲۰۳۵ تحت دو سناریو پایه (BAU) و حافظت اکولوژیکی (EP) جهت پیش‌بینی و ارزیابی کیفیت و تنوع زیستی منطقه مورد مطالعه در آینده صورت گرفت. برای ارزیابی تغییرات مکانی-زمانی رخ داده در کیفیت زیستگاه، مدل InVEST را با مدل CA-Markov یکپارچه شد. نتایج نشان می‌دهد که کیفیت زیستگاه در محدوده‌ی شهر آمل به طور قابل توجهی در طول دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰ کاهش یافته است که عمدتاً متأثر از گسترش شهرنشینی و توسعه کشاورزی است. در طول دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵ بر اساس سناریو BAU الگوی منظر و کیفیت زیستگاه همچنان روند کاهشی شدید قبلی را حفظ می‌کند، در حالی که سناریو EP نقش کلیدی در تثبیت و حمایت از کیفیت و شاخص زیستگاه منطقه خواهد داشت، که اهمیت حفاظت از فضاهای اکولوژیکی مانند پوشش جنگلی و علفزار را برجسته می‌کند. این تحقیق فراتر از ارائه شواهد مبنی بر اینکه گسترش شهری یک عامل کلیدی در تغییرات فوق‌الذکر است، اهمیت سنجش از دور را در مدل‌سازی اکولوژیکی به‌ویژه در مناطقی همچون ایران که اطلاعات و جمع‌آوری داده‌ها محدود است را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق با ادغام تصاویر سنجش از دور با تکنیک‌های جدید در پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی اهمیت زیادی برای مدیران محلی و سازمان‌های مربوطه در تعیین راهکارهای موثرتری برای حفاظت از زیستگاه‌ها و دستیابی به اهداف توسعه پایدار دارد.

استناد: ویسی نبی کندی، بهمن؛ قنبری، ابوالفضل؛ (۱۴۰۴). ارزیابی و مدل سازی تاثیر تغییرات مکانی-زمانی کاربری و پوشش اراضی بر کیفیت زیستگاه (نمونه موردی: شهر آمل). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۳۰ (۹۲)، ۳۹۲-۳۷۳.



<http://doi.org/10.22034/gp.2024.61560.3259>

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

کیفیت زیستگاه^۱ 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 (Sallustio et al., 2017). تنوع زیستی شامل تنوع جانوران، گیاهان و میکروارگانیسم‌ها در سطوح ژنتیکی و گونه‌ای است که خدمات اکوسیستم تنظیمی، حمایتی و فرهنگی را ارائه می‌کند (Watson et al., 2019). با این حال، فعالیت‌های مخرب انسانی و تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر تهدیدی برای رفاه و پایداری اکوسیستم‌ها بوده‌اند (He et al., 2023). این تغییرات پیامدهای گسترده‌ای برای محیط زیست در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی دارد (زاهدی کلایکی و همکاران، ۱۴۰۰). در حال حاضر، بیش از دو سوم از سطح زمین عاری از یخ جهان تحت نوعی فعالیت انسانی قرار گرفته است (Krause et al., 2019). در واقع گستره، وسعت و پیامدهای استفاده جهانی از زمین در تاریخ بی‌سابقه است (Hurt et al., 2020). افزایش فعالیت‌های انسانی موجب تکه‌تکه شدن زیستگاه، انقراض گونه‌های انبوه و تهاجم گونه‌های بیگانه شده است (Wei et al., 2023). این موضوع امروزه مهم‌ترین عامل کاهش تنوع زیستی و کیفیت زیستگاه محسوب می‌شود (Díaz et al., 2019). تغییر کاربری و پوشش اراضی^۲ به عنوان یکی از مهم‌ترین پیامدهای فعالیت انسانی به طور گسترده به عنوان عامل اصلی تخریب کیفیت زیستگاه شناخته شده است (Chen et al., 2023a). بدین لحاظ، بررسی ارتباط بین الگوهای چشم‌انداز، پیش‌بینی و ارزیابی تکامل الگوی تغییرات کاربری و پوشش اراضی تحت سناریوهای مختلف، مسئله‌ای حیاتی برای زیست‌محیط آینده هستند و اهمیت قابل توجهی در حفاظت از تنوع زیستی منطقه‌ای و توسعه پایدار دارند (Wang et al., 2021).

کیفیت زیستگاه در سطوح مکانی و مقیاس‌های متفاوتی ارزیابی می‌شود و انتخاب روش ارزیابی به نوع منبع داده بستگی دارد. مطالعات قبلی، ارزیابی کیفیت زیستگاه برای افراد و جمعیت‌ها را با استفاده از داده‌های میدانی و شاخص‌های کیفیت زیستگاه بررسی می‌کردند (de Mendonça et al., 2003). این روش به دلیل هزینه‌های بالا و محدودیت‌های زمانی و مکانی، قادر به ردیابی پویایی زیستگاه‌ها نبوده است (Berta Aneseyee et al., 2020). مدل ارزش‌گذاری یکپارچه خدمات اکوسیستمی و مبادلات (InVEST) امروزه به دلایلی همچون قابل اطمینان بودن، نیاز به داده‌های کم، دسترسی آسان، نتایج قابل مشاهده و همبستگی با مشاهدات تنوع زیستی روشی پرکاربرد برای مطالعات کیفیت زیستگاه است (Chen et al., 2023b; Shao et al., 2022). مدل کیفیت زیستگاه InVEST وضعیت تنوع زیستی را در یک چشم‌انداز ارزیابی می‌کند و با استفاده از ورودی‌های همچون کاربری و پوشش اراضی و تهدیدات تنوع زیستی، نقشه‌های کیفیت زیستگاه را تولید می‌کند (Terrado et al., 2016). این مدل امکان ارزیابی کیفیت و تخریب زیستگاه را در دوره‌های زمانی و مقیاس‌های مختلفی از جمله حوزه‌های آبخیز (Yohannes et al., 2021)، تجمعات شهری (Li et al., 2022)، ذخایر طبیعی (Sallustio et al., 2017) و کریدورهای رودخانه (Hack et al., 2020) را ممکن می‌سازد. تمرکز مطالعه حاضر بر تغییرات مکانی و زمانی کیفیت زیستگاه در پاسخ به تغییرات کاربری زمین متأثر از گسترش فعالیت‌های انسانی و شهرنشینی می‌باشد.

مدل‌های تغییرات کاربری زمین در حال تبدیل شدن به ابزارهای مهم برنامه‌ریزی و مدیریت راهبردهای توسعه پایدار هستند (رستمی و همکاران، ۱۴۰۱). در طول چند دهه گذشته، چندین روش نقشه برداری تغییرات کاربری و پوشش اراضی در سراسر جهان به کار گرفته شده است (Fu et al., 2022). در این میان ترکیب زنجیره اتومات سلولی و مارکوف تحت عنوان مدل CA-Markov به دلیل شبیه‌سازی پویا، بهره‌وری بالا، کالیبراسیون ساده و قابلیت شبیه‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی

¹Habitat Quality²Land Use/Land Cover

چندگانه امروزه به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد (رضائی مقدم و همکاران، ۱۴۰۲). بنابراین، مدل های InVEST و CA-Markov برای تجزیه، تحلیل و پیش بینی مسیر تکامل مکانی-زمانی کیفیت زیستگاه استفاده شد. شهرستان آمل به عنوان یک منطقه مهم اکولوژیکی در استان مازندران در سال های اخیر به دلیل افزایش فعالیت های مخرب انسانی مثل توسعه بی رویه کشاورزی و مناطق صنعتی تحت تاثیر انواع دگرگونی ها و تغییرات کاربری قرار گرفته است. تحقیقات نشان می دهد که در ۵۰ سال گذشته ایران بیشترین تغییرات کاربری و پوشش اراضی را تجربه کرده است (Bahrami et al., 2010). این وضعیت در شمال ایران به دلیل آب و هوای مناسب و افزایش شهرنشینی، به خصوص در سال های اخیر، بیشتر به چشم می آید. مهم ترین منطقه ی کشاورزی و اقتصادی ایران، با افزایش جمعیت و گردشگران محلی با فشارهای زیست محیطی بالای روبه رو است (Yousefi et al., 2019). بنابراین، بررسی تغییرات مکانی-زمانی کیفیت زیستگاه در دوره های گذشته، حال و آینده در این منطقه از اهمیت حیاتی برخوردار است. از این رو اهداف این مطالعه، (۱) تهیه نقشه های کاربری و پوشش اراضی محدوده شهر آمل از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از نرم افزار Envi 5.6، (۲) شبیه سازی و پیش بینی نقشه کاربری و پوشش اراضی در سال ۲۰۳۵، تحت سناریوهای پایه^۱ (BAU) و حفاظت از فضاها ی اکولوژیکی^۲ (EP) با استفاده از مدل CA-Markov، (۳) ارزیابی و مدل سازی تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی در گذشته، حال و آینده بر کیفیت زیستگاه منطقه مورد مطالعه. در همین راستا، این پژوهش در صدد پاسخ به سوالات ذیل می باشد: (۱) روند تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر کیفیت زیستگاه در دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰ در شهرستان آمل چگونه بوده است؟ (۲) تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی در سال ۲۰۳۵ تحت سناریوهای مختلف بر تنوع زیستی و کیفیت زیستگاه منطقه مورد مطالعه چگونه خواهد بود؟

پیشینه پژوهش

۱. مطالعات داخلی

در سال های اخیر، افزایش خدمات اکوسیستمی به عنوان یک نگرانی حیاتی مطرح شده است. با این حال، کمبود اطلاعات در مورد خدمات اکوسیستم در حوزه برنامه ریزی وجود دارد. در ایران مطالعات متعددی به دنبال بررسی این شکاف با ارزیابی تأثیر ساختار منظر بر عملکرد اکوسیستم بودند. برای دستیابی به این هدف استفاده از مدل InVEST برای مدل سازی خدمات اکوسیستم در چندین مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. برای نمونه زرنیدیان و همکاران (۱۳۹۴)، تأثیر توزیع انواع کاربری و پوشش اراضی بر کیفیت زیستگاه سرزمین های جنگلی سرولات و جواهردشت را در شرایط جاری و آتی مورد ارزیابی و پیش بینی قرار دادند که اثربخشی مهم مناطق حفاظت شده از نتایج آنها بود. دانشی و همکاران (۱۳۹۹)، در تحقیق خود اثر تغییر کاربری اراضی بر وضعیت کیفیت زیستگاه حوزه سد نرماب در استان گلستان را با مدل InVEST مورد ارزیابی قرار داده اند. نتایج پژوهش نشان داد که در اثر تغییرات شدید کاربری اراضی به ویژه تبدیل جنگل به کشاورزی و مناطق مسکونی کیفیت زیستگاه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ کاهش پیدا کرده و تخریب سرزمین نیز به همان میزان افزایش پیدا کرده است.

Abdollahi و همکاران (۲۰۲۳)، کیفیت زیستگاه گونه های پرند شکاری در همدان را بر اساس نقشه های کاربری و پوشش اراضی، دانش کارشناسان محلی و الگوهای منظر ارزیابی کردند. نقش برجسته پویایی الگوی منظر در تعیین کیفیت زیستگاه گونه ها و حفاظت از تنوع زیستی از نتایج تحقیق آنها بود. در تحقیقی دیگر سادات و همکاران (۱۴۰۳) از طریق بررسی اثرهای شاخص های اکولوژیکی لکه های جنگلی بر روی عرضه خدمات اکوسیستمی همچون کیفیت زیستگاه، کاهش ارائه خدمات اکوسیستم همراه با افزایش تکه تکه شدن و ناپایداری در استان های شمالی کشور را مشاهده کردند. تحقیق فوق اهمیت حفظ و

¹Business-As-Usual scenario

²Ecological Protection

گسترش جنگل‌های هیرکانی و همچنین اولویت‌بندی یکپارچگی و کاهش لکه‌های جدا شده برای افزایش بهره‌وری اکولوژیکی در استان‌های شمالی کشور را نشان می‌دهد.

۲. مطالعات خارجی

تحقیقات متعددی در مناطق مختلف تاثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر کیفیت زیستگاه را ارزیابی کرده‌اند. به عنوان مثال Wu و همکاران (2021)، اثرات تغییرات مکانی-زمانی پراکندگی شهری بر کیفیت زیستگاه در رودخانه مروارید از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ را بررسی کردند و شهرنشینی در این منطقه را عامل اصلی تخریب کیفیت زیستگاه معرفی کردند. Li و همکاران (2022)، پس از شبیه‌سازی توسعه زمین تحت سناریوهای مختلف دریافتند که تغییر کاربری زمین شهری علت اصلی تخریب کیفیت زیستگاه است و سناریوی حفاظت از محیط زیست نسبت به سایر سناریوهای توسعه وضعیت بهتری در ارتباط با کیفیت زیستگاه دارد.

همچنین Lei و همکاران (2022)، در مطالعه خود تغییرات مکانی-زمانی کیفیت زیستگاه جزیره هاینان و پارک ملی را از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۴۰ با استفاده از مدل‌های InVEST و CA-Markov بررسی و پیش‌بینی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که کاهش کلی کیفیت زیستگاه جزیره هاینان عمدتاً متأثر از تغییرات در خارج از پارک ملی است و این بخش از جزیره نقش کلیدی در تثبیت و حمایت از کیفیت زیستگاه دارد، که اهمیت حفاظت از مناطق حفاظت شده را برجسته می‌کند. Zhu & Xie (2023)، نیز از مدل InVEST برای ارزیابی تأثیر گسترش شهری بر شاخص‌های کیفیت زیستگاه در سه دوره ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ استفاده کردند که تغییرات کاربری اراضی در منطقه یکی از دلایل مهم کاهش تنوع زیستی و کیفیت اکوسیستم معرفی شد.

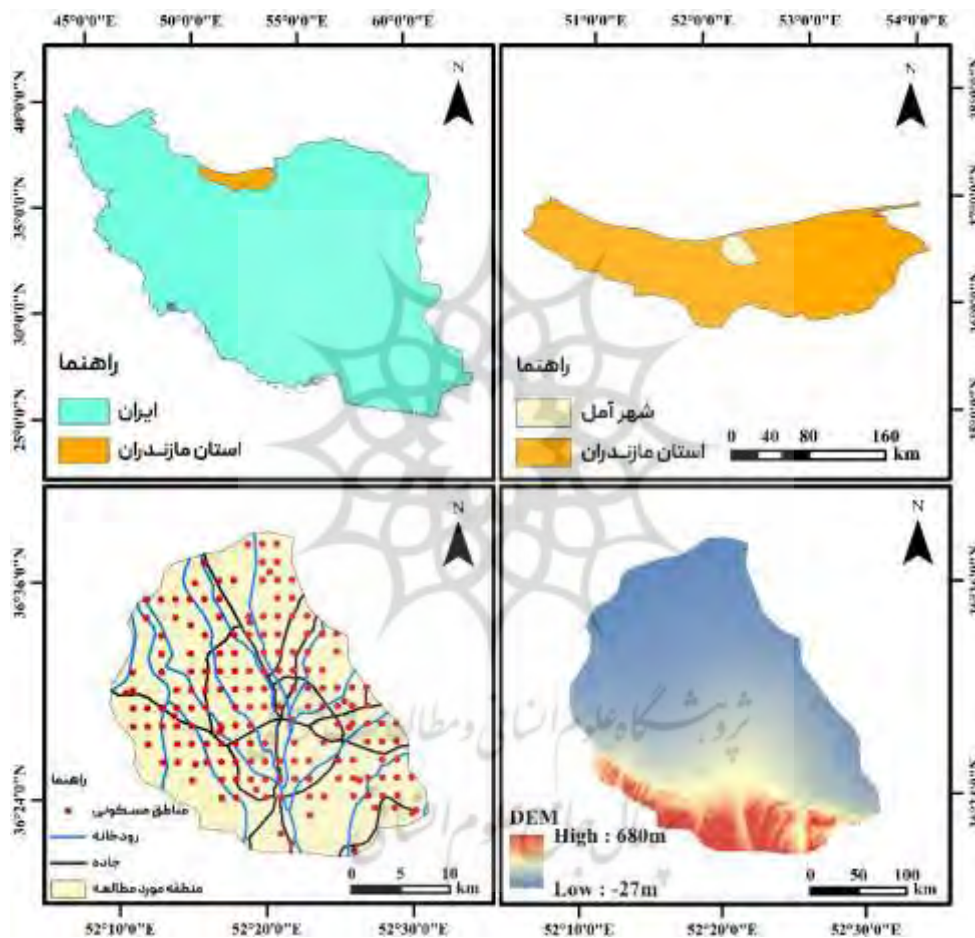
به طور کلی بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهد که بیشتر تحقیقات انجام شده در حوزه‌های آبخیز و مناطق حفاظت‌شده و یا بر روی یک گونه خاص بوده است و تأثیر گسترش شهرنشینی و تغییرات کاربری و پوشش اراضی در سناریوهای مختلف بر کیفیت زیستگاه، به طور عمیق مورد مطالعه قرار نگرفته است (Wei et al., 2022) که این موضوع در ایران به طور چشم-گیرتری مشاهده می‌شود. به عبارتی دیگر تحقیقات قبلی صورت گرفته در ایران به تأثیر مخرب فعالیت‌های انسانی متأثر از گسترش شهرنشینی همچون گسترش مناطق ساخته‌شده و توسعه کشاورزی کمتر پرداخته شده است. همچنین اکثر تحقیقات سناریوسازی مبتنی بر طبیعت جهت بهبود وضعیت کیفیت زیستگاه را مورد ارزیابی قرار نداده‌اند، از این رو وجه تمایز و نوآوری تحقیق حاضر بررسی کیفیت زیستگاه متأثر از گسترش شهرنشینی و فعالیت‌های مخرب انسانی با استفاده از داده‌های دورسنجی بود. همچنین مقایسه سناریوی پیشنهادی با وضعیت پایه در جهت مدیریت بهتر از رویکردهای متمایز این تحقیق به شمار می-رود که در تحقیقات دیگر کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته است. ارزیابی رویکرد حفاظت اکولوژیکی در این تحقیق نیز در راستای پوشش تحقیقاتی بوده است که سناریوهای جهت آشکارسازی بهتر تأثیر تغییرات کاربری بر کیفیت زیستگاه را در تحقیقات خود پوشش نداده‌اند.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

برای اجرا و ارزیابی مدل‌های ارائه شده در این تحقیق، محدوده شهر آمل و اطراف آن در استان مازندران با مساحت حدود ۶۸۸/۵۶ کیلومتر مربع انتخاب شد. این منطقه دارای رطوبت نسبی ماهانه بیش از ۷۰ درصد، میانگین سالانه ۸۲ درصد و میزان بارش سالانه ۸۱۷ میلی‌متر می‌باشد. سردترین ماه سال دی ماه با ۶/۶ درجه سانتیگراد و گرم‌ترین ماه مرداد با ۲۵/۳ درج سانتیگراد است (IRIMO, 2021). شهر آمل یکی از بزرگترین، پرجمعیت‌ترین و صنعتی‌ترین شهرهای شمال ایران می‌باشد که

جمعیت آن به دلیل شرایط اقلیمی مطلوب، محبوبیت بالای شهر در بین گردشگران و توسعه شهرک‌های صنعتی از ۱۱۸۰۰۰ نفر در سال ۱۹۸۵ به ۲۳۸۰۰۰ نفر در سال ۲۰۱۷ یعنی نزدیک به دو برابر شده است (Firozjaei et al., 2020). محاسبات مدل هولدرن در شمال ایران نشان می‌دهد که ۷۴ درصد از افزایش جمعیت منطقه مربوط به رشد جمعیت بوده، در حالی که ۲۶ درصد دیگر ناشی از پراکندگی جمعیت در منطقه است. در واقع افزایش رشد ناخالص جمعیت و توسعه افقی شهری منجر به ساخت و سازهای بی‌رویه، سکونتگاه‌های غیررسمی و همچنین الحاق مناطق روستایی همجوار شده است (Kamran et al., 2020) که از دلایل مهم انتخاب این منطقه برای این تحقیق می‌باشد (شکل ۱).

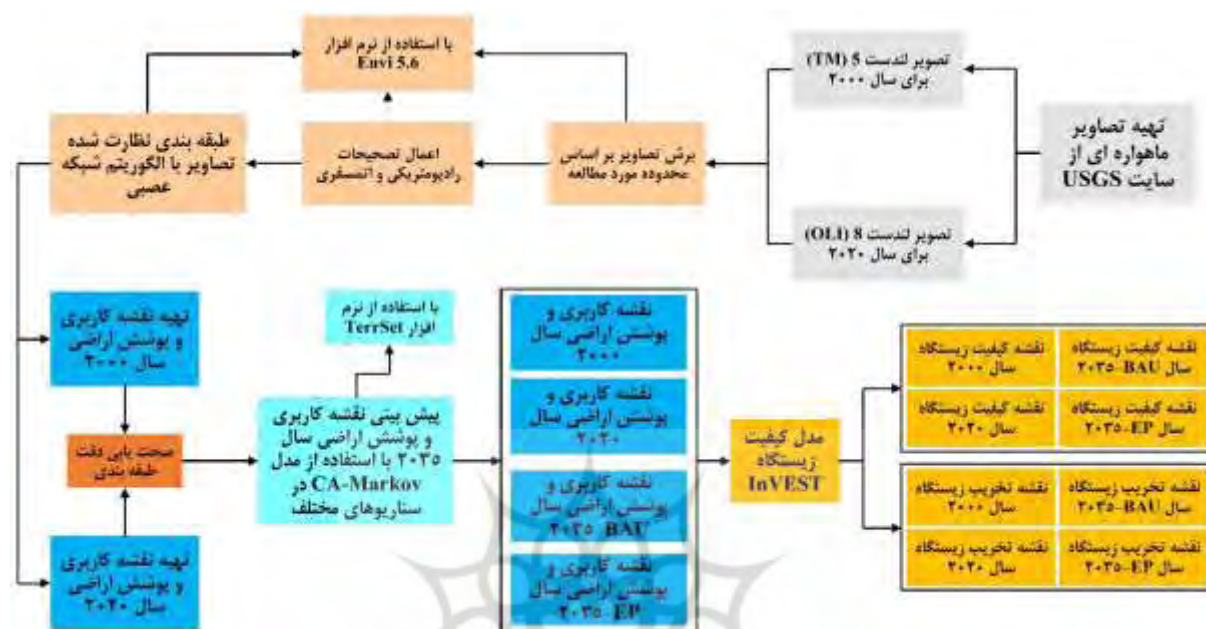


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در ایران و استان مازندران

روش پژوهش

مطالعه موجود به لحاظ روش، تحلیلی-توصیفی و به لحاظ هدف، کاربردی می‌باشد که با تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ آغاز شد. این امر با استفاده از تکنیک‌های پیش پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار 5.6 Envi به دست آمد. سپس یک شبیه‌سازی برای سال ۲۰۳۵ با استفاده از مدل CA-Markov در نرم‌افزار TerrSet انجام گرفت. با استفاده از نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی طبقه‌بندی شده و داده‌های مورد نیاز مدل نقشه‌های کیفیت و

تخریب زیستگاه برای سال‌های مربوطه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. این رویکرد جامع این امکان را می‌دهد که تأثیر زیست محیطی توسعه شهری بر تنوع زیستی و کیفیت زیستگاه را درک و کمی‌سازی شود. شکل ۲ نمودار جریانی پژوهش استفاده شده برای محاسبه کیفیت زیستگاه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار جریانی پژوهش که تمام فرایندها را نشان می‌دهد

تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی

با ظهور فناوری سنجش از دور و دسترسی گسترده به داده‌های ماهواره‌ای، توانایی ساخت نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی برای ارزیابی و کنترل تغییرات افزایش یافته است (Babbar et al., 2021). در همین راستا در این تحقیق تصاویر خانواده ماهواره لندست از سازمان زمین شناسی ایالات متحده جهت به دست آوردن نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی برای منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ استفاده شد. برای ارزیابی بهتر تغییرات، تصاویر در هوای روشن و آفتابی و پوشش ابری زیر ۵ درصد مربوط به ماه‌های تیر و مرداد گرفته شده‌اند که در آن پوشش گیاهی وضوح بهتری داشته باشد. در جدول (۱) مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در این پژوهش ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده در این پژوهش

ردیف	ماهواره	سنجنده	تاریخ تصویر برداری	قدرت تفکیک مکانی	منبع داده
۱	لندست ۵	TM	۲۰۰۰/۰۷/۲۶	۳۰ متری	سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS)
۲	لندست ۸	OLI	۲۰۲۰/۰۶/۱۵	۳۰ متری	سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS)

دو شاخص مهم برای طبقه‌بندی تصاویر یعنی انعکاس و درخشندگی را نمی‌توان مستقیماً از تصاویر خام دریافت کرد. همچنین، این تصاویر معمولاً حاوی اختلال یا خطا هستند، بنابراین تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی نخستین مرحله ضروری در پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای بعد از دریافت تصاویر می‌باشد (Zhou et al., 2022; Dinguirard & Slater, 1999). به ویژه در مواردی که تصاویر برای آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه در طول زمان مورد نیاز است

(Poncet et al., 2019). بنابراین، این تصحیحات برای اثرات جوی با استفاده از نرم افزار ENVI 5.6 انجام شد. باتوجه به پیشنهاد Floreano & de Moraes (2021) مبنی بر طبقه بندی کاربری و پوشش اراضی در کلاس های کلی جهت دقت بالاتر در این پژوهش منطقه مورد مطالعه در چهار کلاس اصلی: ۱. ساخته شده (Built-up)، ۲. جنگل (Forest)، ۳. کشاورزی (Agriculture) و ۴. علفزار (Grassland) طبقه بندی شد. جهت بدست آوردن نقشه کاربری و پوشش اراضی منطقه در این دو سال از روش طبقه بندی نظارت شده و الگوریتم شبکه عصبی^۱ در نرم افزار Envi 5.6 استفاده شد. این روش و الگوریتم بیشترین دقت را برای طبقه بندی کاربری و پوشش اراضی در مطالعه Shihab و همکاران (2021) به دست آورده است.

صحت یابی طبقه بندی تصاویر

پس از طبقه بندی تصاویر و تعیین نقشه کاربری و پوشش اراضی منطقه، بایستی دقت نتیجه به دست آمده بررسی شود. طبقه بندی تصاویر سنجش از دور برای به دست آوردن اطلاعات قابل اعتماد و دقیق درباره تغییرات کاربری و پوشش اراضی همچنان یک چالش است که به عوامل بسیاری مانند پیچیدگی چشم انداز، داده های سنجش از دور انتخاب شده، پردازش تصویر و روش های طبقه بندی بستگی دارد (Islami et al., 2022). این امر معمولاً با مقایسه نقشه مرجع (نقشه واقعی زمینی) و یا تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (مثل گوگل ارث) انجام می پذیرد. ضریب کاپا روشی است که برای ارزیابی طبقه بندی به کار می رود و در آن به صورت تصادفی از تمامی عناصر ماتریس خطا برای محاسبه دقت استفاده می کنند. تمام اجزای ماتریس خطا جهت محاسبه دقت در روش ضریب کاپا، برای ارزیابی طبقه بندی استفاده می شود. مقدار کاپا تفاوت در دقت طبقه بندی را نسبت به سناریویی که در آن تصاویر به صورت تصادفی طبقه بندی می شوند، تعیین می کند (جهانداری و همکاران، ۱۴۰۱). بر همین اساس در این پژوهش جهت ارزیابی صحت تصاویر طبقه بندی شده از تصاویر زمان دار گوگل ارث استفاده شد.

پیش بینی نقشه کاربری و پوشش اراضی برای سال ۲۰۳۵

برای پیش بینی تغییرات مکانی-زمانی نقشه کاربری و پوشش اراضی از ترکیب زنجیره اتومات سلولی (CA) و زنجیره ای مارکوف تحت عنوان مدل CA-Markov استفاده شد. این مدل ریاضی نشان می دهد که چگونه عناصر مختلف از نظر زمان و تأثیر مقادیر نزدیکترین همسایه به طور چشمگیری تغییر می کنند. در واقع، CA تمایل به ایجاد حالت های همگن دارد و الگوهای مشابه خود تولید می کند و بیشتر در مورد خود سازماندهی در سیستم های پویا استفاده می شود. علاوه بر این، CA فعل و انفعالات سلولی و تغییرات کمی هر مقدار را در سلول های مختلف نشان می دهد. از آنجا که مدل CA مربوط به کاربری و پوشش اراضی از نظر زمان، مکان و حالت گسسته هستند، بسیار پیچیده و پویا می باشند، بنابراین باید با مدل های دیگر از جمله زنجیره مارکوف ادغام شوند. (Abdulrahman & Ameen, 2020; Karimi et al., 2018). در مطالعات کاربری زمین، هر طبقه شناسایی شده ممکن است برای مدت طولانی ثابت بماند و برخی از آنها به طبقه دیگر تغییر کنند. بدین ترتیب می توان از ماتریس احتمالات انتقال واقعی برای پیش بینی تغییر کاربری زمین در آینده بر اساس سوابق تاریخی هر طبقه استفاده کرد (Ghalehtemouri et al., 2022). بر همین اساس با استفاده از نقشه های کاربری و پوشش اراضی سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ با به کارگیری مدل CA-Markov در نرم افزار TerrSet نقشه سال ۲۰۳۵ پیش بینی شد.

استفاده از مدل InVEST جهت تهیه نقشه های کیفیت زیستگاه

مدل کیفیت زیستگاه InVEST به دلیل تقاضای کم برای داده ها و جلوه تجسم فضایی بهتر به طور گسترده در زمینه اکولوژی شهری استفاده می شود (Moreira et al., 2018). بر اساس انواع کاربری، این مدل درجه تخریب زیستگاه و شاخص کیفیت زیستگاه را با استفاده از عوامل تهدید، حساسیت انواع مختلف زیستگاه به عوامل تهدید و مناسب بودن زیستگاه محاسبه می کند (Lei et al., 2022). در این مدل هر چه زیستگاه به تهدیدات حساس تر و نزدیکتر باشد تخریب آن بیشتر می شود (Berta

¹Neural Network Algorithm

(Aneseyee et al., 2020). به عبارتی دیگر هر چه فعالیت‌های انسانی بیشتر باشد، تنوع زیستی منطقه‌ای کمتر، کیفیت زیستگاه پایین‌تر، درجه تخریب زیستگاه بالاتر و اکوسیستم ناپایدارتر می‌شود (Tang et al., 2023). فرمول‌ها به صورت زیر بیان می‌شوند:

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

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

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

که در آن D_{xj} درجه کل تخریب زیستگاه پیکسل x در زمین نوع کاربری اراضی است (معادل (۱))، 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 با تضعیف خطی یا نمایی به دست آید (معادل (۳) و (۴)). 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 ارزش بالاتر باشد، زیستگاه بهتر است. این مقدار بر اساس تخریب زیستگاه محاسبه می‌شود و فرمول به شرح زیر است (Tang et al., 2023):

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

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 نیمی از حداکثر با مقدار پیش فرض ۰/۵ است. همچنین z یک ثابت نرمال سازی است که روی ۲/۵ در مدل تنظیم می‌شود. با توجه رویکرد رو به رشد جمعیتی و اقتصادی در منطقه مورد مطالعه، دو کاربری پر فعالیت انسانی یعنی زمین‌های کشاورزی و مناطق ساخته‌شده از عوامل تهدید در نظر گرفته شدند. بر اساس مقدار توصیه شده مدل InVEST، فاصله تأثیر، وزن و حساسیت انواع مختلف زیستگاه عوامل تهدید (جدول ۲) با توجه به مطالعات قبلی تعیین شد (Lei et al., 2021; Yang, 2022). پارامترهای فوق برای تولید نقشه کیفیت زیستگاه در مدل اعمال شد. محدوده مقادیر کیفیت زیستگاه بین ۰ و ۱ است که هرچه این مقدار کمتر باشد کیفیت زیستگاه ضعیف‌تر است. با استفاده از محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.8 مقادیر شاخص کیفیت زیستگاه به محدوده‌های مختلف: ۰-۰/۱۵، ۰/۱۵-۰/۳، ۰/۳-۰/۶، ۰/۶-۰/۸، ۰/۸-۱ تقسیم شدند تا به ترتیب نشان دهنده خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی باشد (Tang et al., 2020).

جدول ۲. عوامل تهدید و پاسخ استرسی آنها

عامل تهدید	حداکثر فاصله تأثیر (کیلومتر)	وزن	نوع تخریب
کشاورزی	۲/۰	۰/۴	خطی
ساخته شده	۱۰/۰	۱/۰	تصادفی
جاده‌ها	۴/۰	۰/۶	خطی

جدول ۳. حساسیت انواع کاربری اراضی به عوامل تهدید زیستگاه

نوع کاربری	مناسب بودن زیستگاه	کشاورزی	ساخته شده	جاده ها
ساخته شده	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
جنگل	۱/۰	۰/۵	۰/۸۵	۰/۷
کشاورزی	۰/۵	۰/۳	۰/۹	۰/۶
علفزار	۰/۸	۰/۵	۰/۶	۰/۴

نتایج و بحث

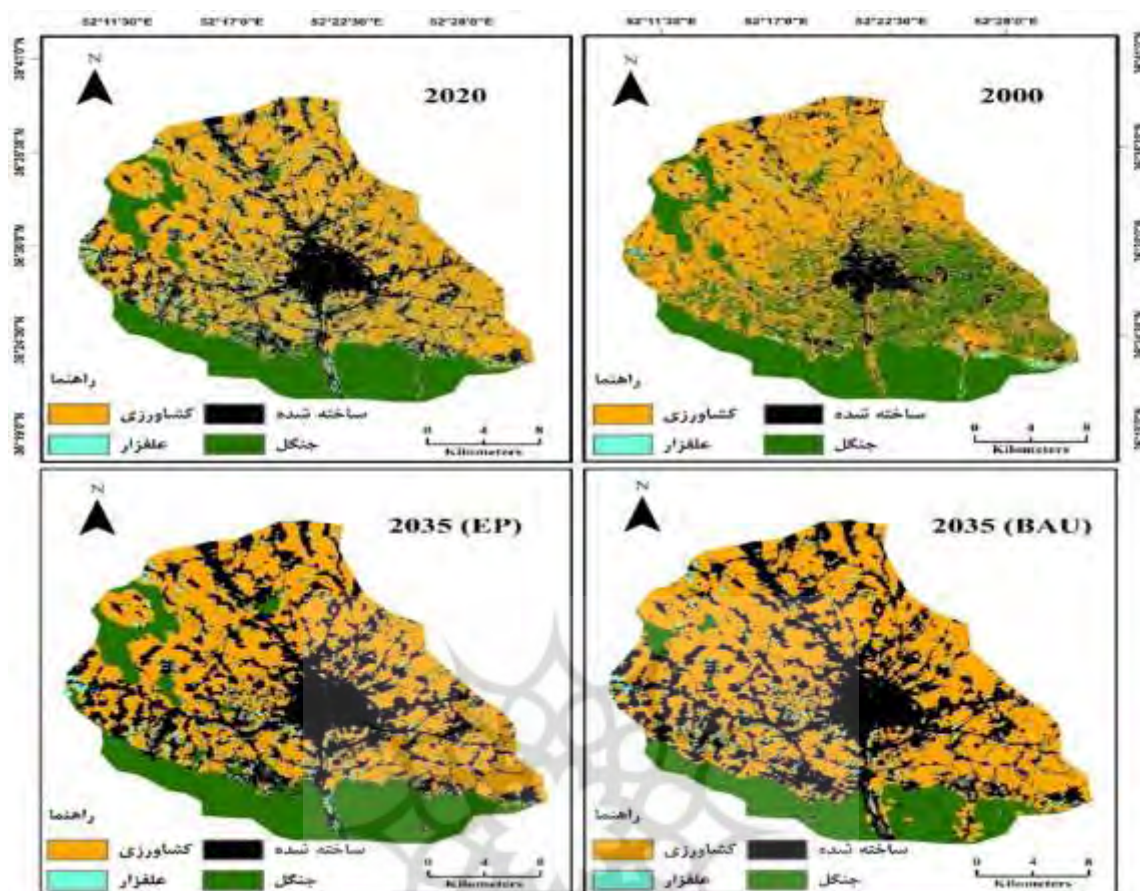
صحت یابی نقشه های طبقه بندی شده

حدود ۳۰۵ نقطه به صورت تصادفی و بر اساس نسبت مساحت هر کلاس برای هر سال در گوگل ارث تهیه شد. بعد از تبدیل فرمت در ArcMap با تصویر طبقه بندی شده در نرم افزار Envi جهت بدست آوردن ضریب کاپا مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که دقت کلی و ضریب کاپا برای نقشه کاربری و پوشش اراضی سال ۲۰۰۰ به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۸۱ و برای سال ۲۰۲۰ به ترتیب ۰/۹۰ و ۰/۸۷ بود (جدول ۴). دلیل بالا بودن دقت در سال ۲۰۲۰ را می توان به تفاوت نوع ماهواره (لندست ۸) با تصویر ۲۰۰۰ (لندست ۵) نسبت داد. روندی که در تحقیق Babbar و همکاران (2021) نیز مشاهده شد.

جدول ۴. دقت طبقه بندی کلاس های مختلف

سال	کاربری اراضی	ساخته شده	جنگل	کشاورزی	علفزار	مجموع	صحت یابی
۲۰۰۰	ساخته شده	۵۷	۲	۲	۱	۶۲	۹۱/۹۴
	جنگل	۸	۸۱	۶	۱	۹۶	۸۴/۳۸
	کشاورزی	۲	۶	۹۶	۴	۱۰۸	۸۸/۸۹
	علفزار	۲	۰	۶	۳۱	۳۹	۷۹/۴۹
	مجموع	۶۹	۸۹	۱۱۰	۳۷	۳۰۵	۸۶/۸۹
۲۰۲۰	ساخته شده	۸۹	۰	۰	۱	۹۷	۹۱/۷۵
	جنگل	۰	۷۹	۲	۱	۸۲	۹۶/۳۴
	کشاورزی	۰	۰	۸۱	۲	۸۳	۹۷/۵۹
	علفزار	۲	۰	۱۳	۲۷	۴۲	۶۴/۲۹
	مجموع	۹۱	۷۹	۹۶	۳۸	۳۰۴	۹۰/۷۹

نقشه کاربری و پوشش اراضی طبقه بندی شده محدوده اطراف شهر آمل برای سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ بر اساس ساختار اصلی منطقه و همچنین هدف پژوهش تهیه شد. پس از اطمینان از دقت مناسب صحت یابی طبقه بندی (۰/۸۶) برای سال ۲۰۰۰ و ۰/۹۰ برای سال ۲۰۲۰ و با استناد بر مناسب بودن ضریب کاپا، نقشه کاربری و پوشش اراضی سال ۲۰۳۵ بر اساس دو سناریو پیش بینی شد (شکل ۳).



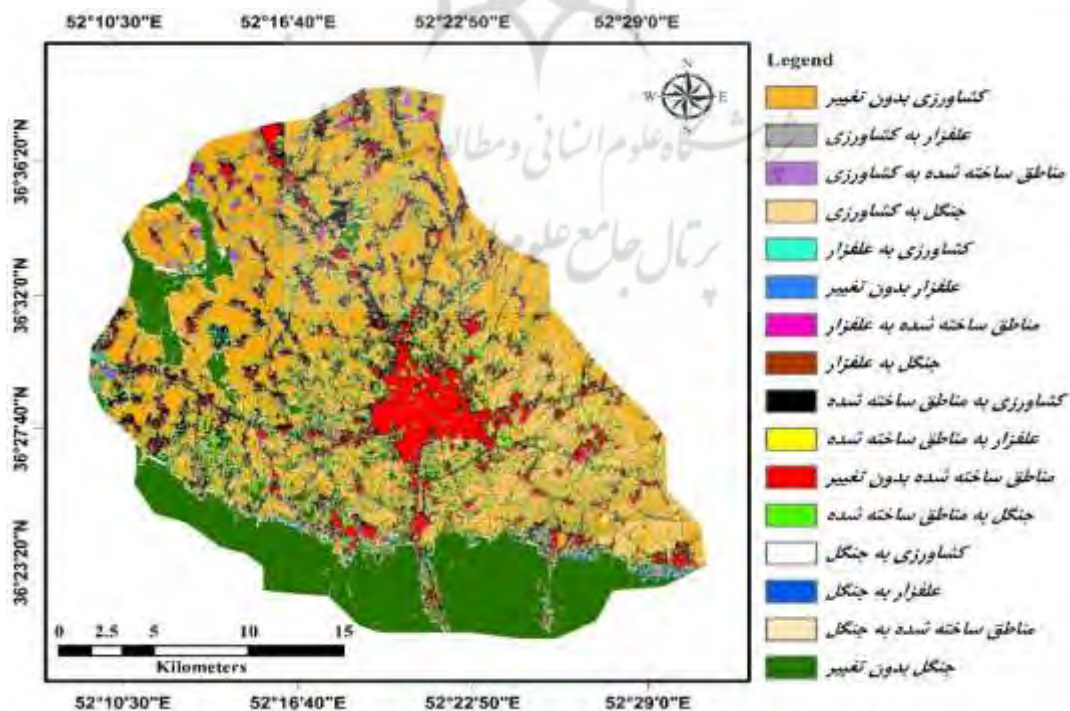
شکل ۳. نقشه کاربری و پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و نقشه‌های پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۳۵. بخش عمده نقشه کاربری و پوشش اراضی در منطقه مورد مطالعه را در سال ۲۰۰۰ کشاورزی (۴۹/۴ درصد) و جنگل (۳۸/۵ درصد) تشکیل می‌دهد و مناطق ساخته‌شده و علفزار هر کدام به ترتیب ۹/۶ و ۲/۵ درصد از کل مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس جدول ۵ از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، مقوله رشد شهری به عنوان پویاترین ویژگی زمین روند افزایشی ثابتی را با توجه به نرخ رشد جمعیت نشان می‌دهد. همچنین با توجه به جدول احتمال انتقال از دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰ پیش‌بینی شد که این روند افزایشی مناطق شهری و ساخته‌شده از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۵ طبق روند موجود (سناریو BAU) ادامه خواهد داشت. با این حال، زمین‌های جنگلی بیشترین کاهش را در هر دو دوره را نشان می‌دهند.

جدول ۵. مساحت و تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه

۲۰۳۵-EP		۲۰۳۵-BAU		۲۰۲۰		۲۰۰۰		کاربری و پوشش اراضی
(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	
۲۹/۹	۲۰۵۹۲	۳۲/۴	۲۲۳۳۵	۲۳/۰	۱۵۸۵۶	۹/۶	۶۶۱۳	ساخته شده
۲۲/۲	۱۵۲۵۴	۱۳/۵	۹۲۷۴	۲۰/۰	۱۳۷۸۴	۳۸/۵	۲۶۵۱۹	جنگل
۴۴/۳	۳۰۴۸۱	۵۰/۴	۳۴۶۹۰	۴۶/۲	۳۱۷۸۱	۴۹/۴	۳۴۰۳۸	کشاورزی
۳/۶	۲۵۲۹	۳/۷	۲۵۵۷	۱۰/۸	۷۴۳۵	۲/۵	۱۶۸۶	علفزار

کلاس ساخته‌شده از ۹/۶ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۲۳ درصد در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است و انتظار می‌رود در سناریوی BAU به ۳۲/۴ درصد افزایش یابد. هرچند طبق پیش‌بینی بر اساس سناریو EP روند افزایش مناطق ساخته‌شده تا حدودی کنترل

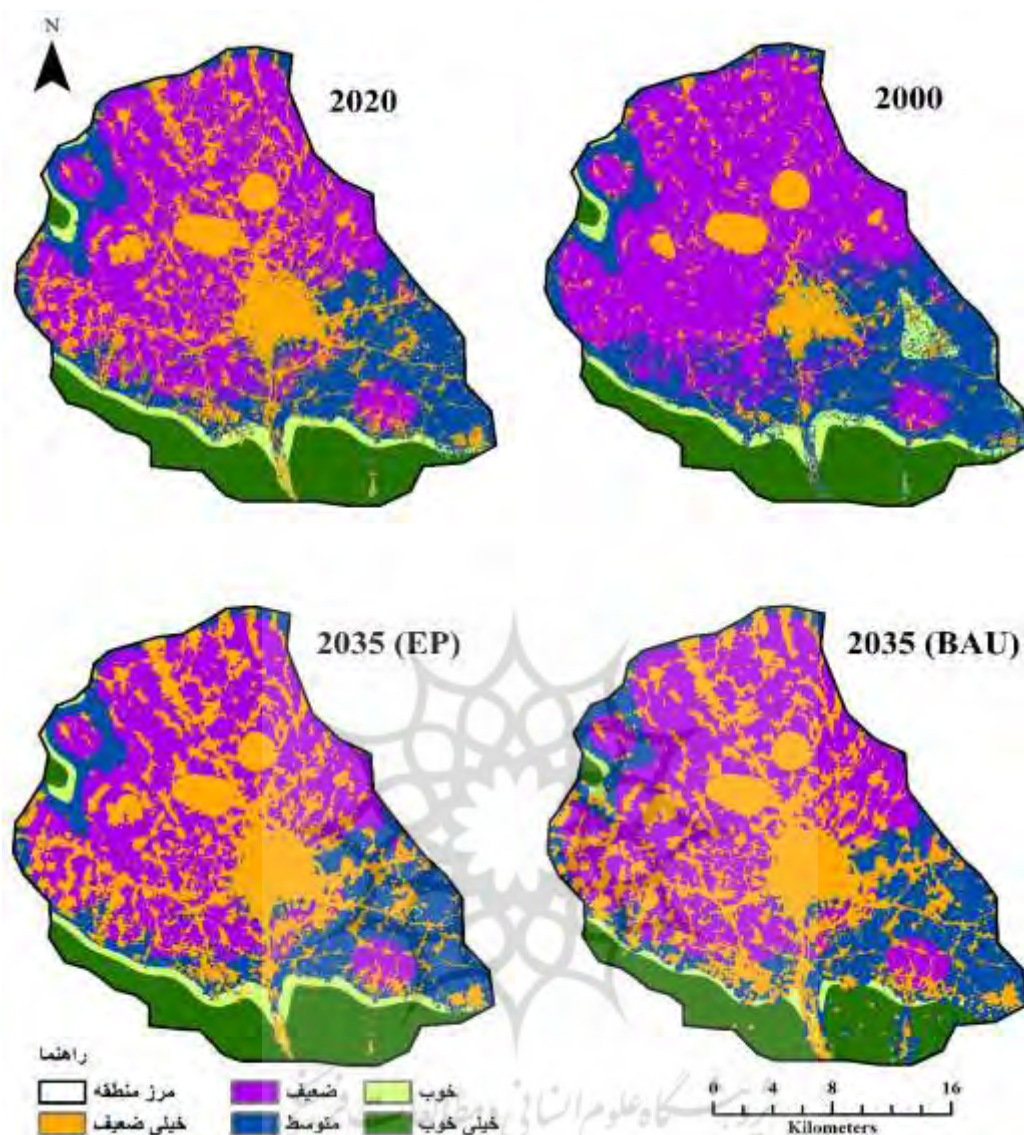
شده و نسبت به سناریو BAU، ۱۷۴۳ هکتار کاهش مساحت مشاهده می‌شود. این نشان می‌دهد که شهرنشینی و توسعه در این منطقه در حال انجام است و تا زمانی که اقداماتی برای حفاظت از محیط زیست انجام نشود، ادامه خواهد یافت (Chen et al., 2023c). کلاس جنگل روند متفاوتی نسبت به مناطق ساخته شده نشان می‌دهد، به طوری که مساحت این کلاس از ۳۸/۵ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۲۰ درصد در سال ۲۰۲۰ کاهش یافته است و انتظار می‌رود در سناریوی BAU به ۱۳/۵ درصد برسد. اما در سناریو EP که رویکرد آن حفاظت از جنگل بوده تفاوت قابل توجه ۴۲۰۹ هکتاری را نسبت به BAU نشان می‌دهد. روند تغییرات در کاربری کشاورزی که بیشترین سهم منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است نسبت به سایر کاربری‌ها بسیار کمتر بوده است. می‌توان اشیاع شدن منطقه از گسترش کشاورزی و عدم ظرفیت منطقه برای رشد این کاربری را عامل این موضوع دانست. همچنین رشد ۴ برابری مناطق علفزار در سال ۲۰۲۰ نسبت به ۲۰۰۰ را می‌توان به کاهش چشمگیر جنگل و قطع درختان گسترده در این منطقه نسبت داد (Pourmajidian & Rahmani, 2009). در واقع از بین رفتن و تخریب جنگل اغلب با گسترش بیوم‌های علفزار همراه است که می‌توانند در دوره‌های طولانی باقی بمانند و به راحتی به جنگل تبدیل نمی‌شوند (Veldman et al., 2015). به طور خلاصه، نتایج نشان می‌دهد که این منطقه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در کاربری‌های خود دستخوش تغییرات قابل توجهی شده است و در آینده نیز در صورت عدم کنترل (سناریوی BAU) این روند ادامه‌دار خواهد بود. در حالی که سناریوی EP نتیجه بهتری نشان می‌دهد اما همچنان شامل از دست دادن برخی زیستگاه‌های طبیعی و تنوع زیستی است. بنابراین، اجرای برخی سیاست‌ها و اقداماتی که بتواند نیازهای توسعه و حفاظت را در منطقه متعادل کند، دارای اهمیت است. شکل ۴، نیز روند کلی تغییرات و تبدیل کاربری‌های مختلف به یکدیگر را نشان می‌دهد که متناسب با توضیحات داده شده در بالا بیشترین تغییر مربوط به تبدیل کاربری جنگل به کشاورزی می‌باشد که بیشتر در مرکز منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. همچنین، تغییرات متعددی در لبه جنگل مشاهده می‌شود که نشان از آسیب‌پذیر بودن این منطقه است. Franklin و همکاران (2021)، در مطالعه خود که بر روی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر لبه جنگل در ۵۵ کشور مختلف به اهمیت لبه‌های جنگلی و آسیب‌پذیر بودن آنها تحت فعالیت‌های انسانی اشاره کرده‌اند.



شکل ۴. تغییرات کاربری و پوشش اراضی در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۰ در منطقه مورد مطالعه

گام بعدی مدل‌سازی کیفیت و درجه تخریب زیستگاه در محدوده شهر آمل برای دوره‌های گذشته (۲۰۰۰)، جاری (۲۰۲۰) و آینده (۲۰۳۵) تحت دو سناریو BAU و EP بود. مناطق با ارزش زیستگاهی بالا در محدوده شهر آمل از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ عمدتاً در مناطق جنگلی و کوهستانی جنوب شهر توزیع شده است (شکل ۵). این منطقه به دلیل پوشش جنگلی و مرتعی و همچنین محدود بودن فعالیت‌های انسانی منطقه با کیفیت زیستگاه بالاتری نسبت به مناطق پست‌تر شمالی دارد که به طور گسترده زیر کشت محصولات کشاورزی رفته است. روند گسترش شهری و مناطق ساخته شده در مرکز محدوده در این دوره ۲۰ ساله کاهش شدید کیفیت زیستگاه را به دنبال داشته است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۳۵ تحت سناریو BAU این روند بیشتر کیفیت زیستگاه را تحت تأثیر قرار دهد. هر چند در سناریو حفاظتی (EP) کیفیت زیستگاه مناطق جنوبی به واسطه حفاظت از مناطق جنگلی و مرتعی حفظ می‌شود اما عدم کنترل رشد مناطق ساخته شده در محدوده شهر تغییری در وضعیت کیفیت زیستگاه در مرکز منطقه مورد مطالعه نداشته است. به طور کلی در مقیاس فضای کیفیت زیستگاه در منطقه مورد مطالعه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۵ در مناطق مرکزی به دلیل مناطق ساخته شده شهری دارای کیفیت زیستگاه پایین و مناطق جنوب منطقه به دلیل وجود جنگل و عدم دخالت کمتر انسان دارای کیفیت زیستگاه بالاتری می‌باشد. همچنین در مقیاس زمانی کیفیت زیستگاه روندی کاهشی را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۵ نشان می‌دهد. با این وجود کیفیت زیستگاه تحت سناریو EP وضعیت بهتری دارد (جدول ۵).





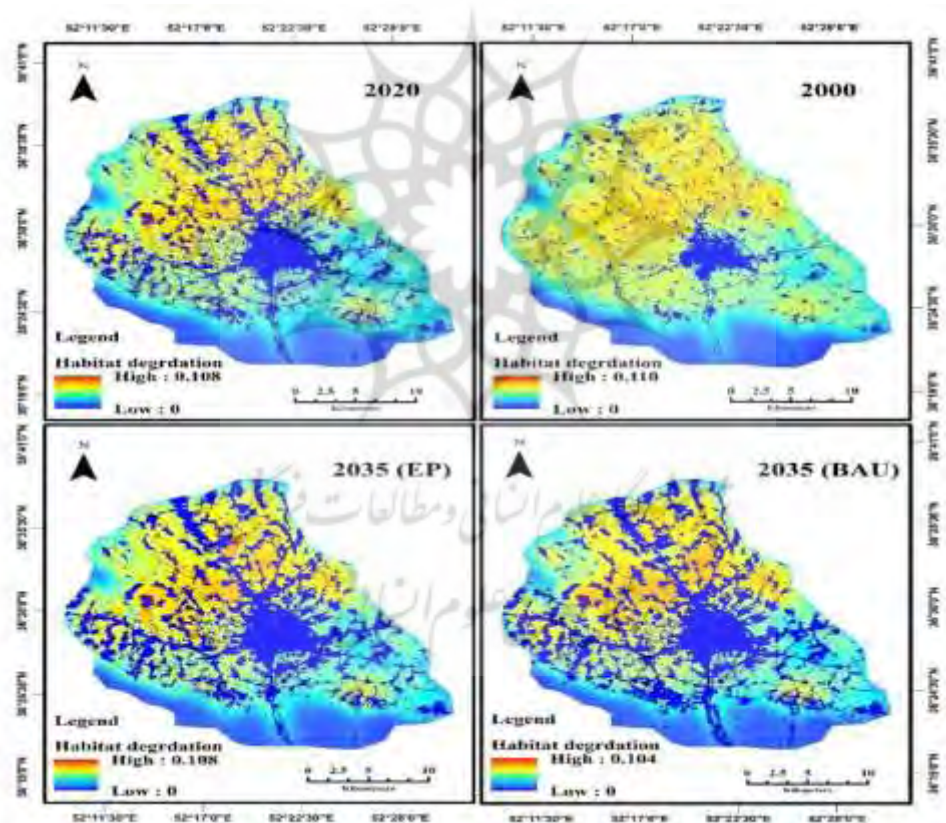
شکل ۵. کیفیت زیستگاه منطقه مورد مطالعه در دوره‌های مختلف

بر اساس جدول ۶ میانگین کیفیت زیستگاه محدوده شهر آمل در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۳۵ تحت دو سناریو BAU و EP به ترتیب ۰/۳۵۶۸، ۰/۳۰۵۷، ۰/۲۶۲۴ و ۰/۲۸۹۴ بوده است، که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نزدیک به ۱۴/۳ درصد کاهش یافته است و بیانگر کاهش شدید کیفیت زیستگاه با گذشت زمان است. اما تغییر کیفیت زیستگاه بین سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۵ تحت دو سناریو BAU و EP به ترتیب ۱۴/۱ درصد و ۵/۳ درصد کاهش بوده است. به عبارت دیگر، درجه کیفیت زیستگاه در کل روندی کاهشی داشته و فقط در صورت حفاظت اکولوژیکی میزان کاهش کیفیت کمتر می‌باشد. منطقه با کیفیت زیستگاه ضعیف در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ بیشترین نسبت را به خود اختصاص داده است در حالی که در سناریو پیشنهادی منطقه با کیفیت زیستگاه خیلی ضعیف درصد غالب را شامل می‌شود.

جدول ۶. نسبت مساحت و میانگین ارزش کیفیت زیستگاه در محدوده شهر آمل از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۵

۲۰۳۵-EP		۲۰۳۵-BAU		۲۰۲۰		۲۰۰۰		کیفیت زیستگاه
(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	درجه کیفیت
۳۲/۴	۲۲۳۳۰	۳۴/۹	۲۴۰۶۵	۲۶/۸	۱۸۴۵۲	۱۲/۹	۸۸۵۰	خیلی ضعیف
۳۲/۳	۲۲۲۳۷	۳۲/۸	۲۲۶۰۴	۳۵/۹	۲۴۷۲۴	۴۲/۹	۲۹۵۸۰	ضعیف
۱۸/۶	۱۳۷۷۸	۱۹/۱	۱۳۱۷۲	۲۱/۰	۱۴۴۰۴	۲۶/۵	۱۸۲۵۶	متوسط
۳/۸	۲۶۳۰	۱/۸	۱۱۷۹	۳/۷	۲۵۳۷	۴/۹	۳۳۵۸	خوب
۱۲/۹	۸۸۸۱	۱۱/۴	۷۸۳۶	۱۲/۶	۸۷۳۹	۱۲/۸	۸۸۱۲	عالی
۰/۲۸۹۴		۰/۲۶۲۴		۰/۳۰۵۷		۰/۳۵۶۸		میانگین

شکل ۶ نقشه تخریب زیستگاه را برای سه دوره مورد بررسی در بازه بین صفر تا حدود ۰/۱۲ را نشان می‌دهد که به طور کلی حاکی از تخریب زیستگاه با گذشت زمان است. بیشترین تخریب بین سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ و در قسمت شمالی منطقه مشاهده می‌شود که مربوط به تخریب جنگل و مرتع در این قسمت و تبدیل آن به کشاورزی و مناطق ساخته‌شده است.



شکل ۶. درجه تخریب زیستگاه منطقه مورد مطالعه در دوره‌های مختلف

به طور کلی، مطالعه حاضر تغییرات زمانی و مکانی در کیفیت زیستگاه محدوده شهر آمل را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ تجزیه و تحلیل کرد. بر اساس نتایج پیش‌بینی سناریوهای مختلف در سال ۲۰۳۵، توزیع مکانی کیفیت زیستگاه تجزیه و تحلیل شد. در سناریوهای مختلف در سال ۲۰۳۵ مشخص شد که سناریوی EP برای بهبود کیفیت زیستگاه منطقه مورد مطالعه مساعد است. روند و نتیجه‌ای که در مطالعات متعددی نیز بدست آمده است (Wei et al., 2022). نتایج این مطالعه مبنایی برای حفاظت از تنوع زیستی و برنامه‌ریزی اکولوژیکی منطقه‌ای در حومه‌های شهری فراهم می‌کند. با این وجود، عواملی که بر تغییرات کیفیت زیستگاه تأثیر می‌گذارند، پیچیده و متنوع هستند که باید این عوامل تأثیرگذار بر تغییرات کیفیت زیستگاه شناسایی و بررسی شوند.

(Xiao et al., 2023). به عنوان مثال در برخی از تحقیقات سناریوی حفاظتی نتیجه مطلوبی به دلایلی همچون گسترش شهرنشینی شدید و اشغال فضاهای طبیعی دیگر نداشته است (Nie et al., 2023). درواقع ارزیابی کاربری و پوشش اراضی یک اکوسیستم پیچیده است و فعالیت‌های انسانی تأثیر بسزایی در توسعه و تغییرات آن دارد که در تحقیق Wei و همکاران (2022) نیز مورد بحث و نتیجه‌گیری قرار گرفته است. گسترش زمین‌های ساخت و ساز شهری در محدوده شهر آمل از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ ارتباط نزدیکی با کیفیت زیستگاه و تنوع زیستی منطقه دارد. در میان انواع کاربری اراضی، مناطق ساخته‌شده شهری بارزترین تأثیر را بر کیفیت زیستگاه داشت و زمین‌های زیر کشت نیز یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت زیستگاه شناسایی شد. به طور مشخص نتیجه‌گیری شده که تغییر در مساحت کاربری‌ها مختلف مستقیماً بر تغییر کیفیت زیستگاه در یک منطقه شهری تأثیر می‌گذارد. بنابراین، ما می‌توانیم بهترین رویکردها و سیاست‌ها را برای دستیابی به تعادل بین توسعه اجتماعی-اقتصادی و حفاظت از کیفیت زیستگاه در محدوده‌های شهری که محیط زیست‌بوم‌شناختی ذاتاً شکننده است، پیش‌بینی کنیم.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و مدل‌سازی تاثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی در محدوده‌ی شهر آمل در استان مازندران انجام گرفت و تحلیلی جامع از پویایی مکانی-زمانی کیفیت زیستگاه از طریق پیوند دادن مدل‌های CA-Markov و InVEST با استفاده از داده‌های سنجش از دور موجود ارائه می‌کند. نتایج پژوهش حاضر نشان داده است که منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر تغییرات شدید کاربری و پوشش اراضی قرار دارد. کاهش فضاهای اکولوژیکی همچون پوشش‌های جنگلی و مراتع همگام با گسترش فضاهای انسان ساخت همچون مناطق ساخته‌شده و کشاورزی در منطقه چشمگیر است. این روند برای آینده در سناریو BAU نیز قابل پیش‌بینی است. هرچند در سناریو پیشنهادی (EP) که بر اساس اصول حفاظت از فضاهای اکولوژیکی تنظیم شده روند تخریبی و تغییرات کاربری و پوشش اراضی تا حدودی قابل پیشگیری است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، کیفیت زیستگاه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۳۵ به‌طور چشمگیری کاهش یافته و روند کاهشی موجود برای سال ۲۰۳۵ نیز پیش‌بینی می‌شود. گسترش شهرنشینی و افزایش فعالیت‌های انسانی همچون توسعه کشاورزی به عنوان عامل اصلی کاهش کیفیت زیستگاه در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. علاوه بر این، افزایش قابل‌توجهی در تخریب زیستگاه به دلیل از دست‌دادن فضاهای اکولوژیکی محیطی مانند پوشش درختان، مراتع و کشاورزی مشاهده شد. برای غلبه بر این، استراتژی‌های مدیریت کاربری موثر زمین برای به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی فعالیت‌های انسانی بر ظرفیت کیفیت زیستگاه ضروری است. بر همین اساس سناریو حفاظت اکولوژیکی (EP) نتایج مطلوب‌تری در بهبود کیفیت زیستگاه در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. این تحقیق بر نقش مهم سنجش از دور در نظارت بر تغییرات کاربری و پوشش اراضی برای سناریوهای کوتاه مدت و بلندمدت تأکید می‌کند. در این پژوهش پیوند دادن مدل‌های CA-Markov و InVEST به عنوان یک رویکرد نوآورانه به ما کمک کرد تا تحلیل‌های مکانی-زمانی کیفیت زیستگاه را بر اساس تغییرات کاربری و پوشش اراضی را مدل‌سازی کنیم. در نهایت، تحقیقات ما درک عمیق‌تری از پیوندهای بین کاربری و پوشش اراضی ناشی از برنامه‌های بازسازی محیطی و تغییرات کیفیت زیستگاه را نشان می‌دهد. نتیجه‌گیری شد که برخی از اقدامات مانند کنترل توسعه شهری، کاهش فعالیت‌های انسانی و برنامه‌های احیای جنگل می‌تواند اثرات نامطلوب تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر کیفیت زیستگاه را کاهش دهد.

پیشنهادهای سیاستی

- ≠ گسترش شهری و رشد جمعیت عامل کلیدی در تغییرات کیفیت زیستگاه است از این رو سیاست‌های کنترل جمعیت و شهرنشینی در برنامه‌ریزی‌های کلان در حفظ تنوع زیستی محیط زیست شهری موثر است.
- ≠ استفاده از داده‌های سنجش از دور (لندست) و فن‌آوری‌های نوین (CA-Markov و InVEST) در مدل‌سازی اکولوژیکی، به‌ویژه در مناطقی همچون ایران که با محدودیت داده روبه‌رو هستند، در دستیابی به شهرها و جوامع پایدارتر مفید می‌باشد.
- ≠ استراتژی‌های مدیریت کاربری زمین و حفاظت از فضاهای اکولوژیکی همچون جلوگیری از تخریب جنگل، مرتع و کنترل توسعه شهری می‌توانند تأثیرات تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر کیفیت زیستگاه را کاهش دهند.
- ≠ برنامه‌ریزی جامع‌تر در مناطقی همچون شمال ایران که با رشد شهرنشینی سریع و افزایش جمعیت مواجه هستند جهت مقابله با چالش تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر کاهش کیفیت زیستگاه و تخریب زمین لازم است.



منابع

- جهاننداری، جاوید؛ حجازی، رخشاد؛ جوزی، سید علی و مرادی، عباس (۱۴۰۱). اثرات توسعه شهری بر الگوهای مکانی، زمانی خدمت اکوسیستمی ذخیره کرین در حوزه آبخیز بندرعباس با نرم افزار InVEST. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲ (۴)، ۹۱-۱۰۶. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11069.1097>
- دانشی، علیرضا؛ نجفی نژاد، علی؛ پناهی، مصطفی و زرنیدیان، اردوان (۱۳۹۹). پیش بینی اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت زیستگاه حوزه سد نرماب در استان گلستان. *تخریب و احیاء اراضی طبیعی*، ۱ (۱)، ۱۲۰-۱۳۱. <http://drnl.sanru.ac.ir/article-1-155-fa.html>
- رستمی، رحیمه؛ محمد خورشید دوست، علی و باکویی، مائده (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات کاربری حاشیه شرق دریاچه ارومیه با تاکید بر شوری خاک به روش شی گرا. *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۶ (۸۲)، ۸۳-۹۳. <https://doi.org/10.22034/gp.2023.10835>
- رضائی مقدم، محمد حسین؛ رجبی، معصومه و موسوی، سیده معصومه (۱۴۰۲). بررسی و پایش تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز رود زرد با استفاده از سنجش از دور و مدل زنجیره مارکوف. *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۷ (۸۳)، ۴۹-۶۱. <https://doi.org/10.22034/gp.2023.14704>
- زاهدی کلاکی، ابراهیم؛ متولی، صدرالدین؛ محمودزاده، حسن و غلامرضا، جانباز قبادی (۱۴۰۰). تبیین ساختار اکولوژی شهری در راستای ارتقای ضریب تاب آوری زیست محیطی با استفاده از تحلیل متریکهای سیمای سرزمین (مطالعه موردی شهر بهشهر). *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۵ (۷۸)، ۱۹۷-۲۱۸. <https://doi.org/10.22034/gp.2021.42841.2741>
- زرنیدیان، اردوان؛ یآوری، احمدرضا؛ جعفری، حمیدرضا و امیرنژاد، حمید (۱۳۹۴). مدل سازی آثار تغییر پوشش زمین بر کیفیت زیستگاه در سرزمین جنگلی سرولات و جواهردشت. *پژوهش های محیط زیست*، ۶ (۱۲)، ۱۸۳-۱۹۴. <https://sid.ir/paper/192330/fa>
- سادات، مهدیس؛ ذوقی، محمود و امیری، محمدجواد (۱۴۰۳). بررسی اثرهای برخی از شاخص های اکولوژیکی لکه های جنگلی بر روی عرضه خدمات اکوسیستمی منتخب (منطقه مورد مطالعه: بخش شرقی استان گیلان). *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۵ (۱)، ۸۹-۱۱۰. <https://10.22108/gep.2023.138399.1595>
- 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>
- Abdulrahman, A. I., & Ameen, S. A. (2020). Predicting Land use and land cover spatiotemporal changes utilizing CA-Markov model in Duhok district between 1999 and 2033. *Academic Journal of Nawroz University*, 9(4), 71-80. <https://doi.org/10.25007/ajnu.v9n4a892>
- Babbar, D., Areendran, G., Sahana, M., Sarma, K., Raj, K., & Sivadas, A. (2021). Assessment and prediction of carbon sequestration using Markov chain and InVEST model in Sariska Tiger Reserve, India. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123333>
- Bahrani, A., Emadodin, I., Ranjbar Atashi, M., & Rudolf Bork, H. (2010). Land-use change and soil degradation: A case study, North of Iran. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 600-605.
- Berta Aneseyee, A., Noszczyk, T., Soromessa, T., & Elias, E. (2020). The InVEST habitat quality model associated with land use/cover changes: A qualitative case study of the Winike Watershed in the Omo-Gibe Basin, Southwest Ethiopia. *Remote Sensing*, 12(7), 1103. <https://doi.org/10.3390/rs12071103>
- Chen, C., Liu, J., & Bi, L. (2023b). Spatial and temporal changes of habitat quality and its influential factors in China based on the InVEST model. *Forests*, 14(2), 374. <https://doi.org/10.3390/f14020374>

- Chen, R., Chen, Y., Lyulyov, O., & Pimonenko, T. (2023c). Interplay of urbanization and ecological environment: Coordinated development and drivers. *Land*, 12(7), 1459. <https://doi.org/10.3390/land12071459>
- Chen, X., Yu, L., Cao, Y., Xu, Y., Zhao, Z., Zhuang, Y., ... & Gong, P. (2023a). Habitat quality dynamics in China's first group of national parks in recent four decades: Evidence from land use and land cover changes. *Journal of Environmental Management*, 325, 116505. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116505>
- de Mendonça, M. J. C., Sachsida, A., & Loureiro, P. R. (2003). A study on the valuing of biodiversity: the case of three endangered species in Brazil. *Ecological Economics*, 46(1), 9-18. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00080-6)
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., Arneth, A., ... & Zayas, C. N. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366(6471), eaax3100. DOI:10.1126/science.aax3100
- Dinguirard, M., & Slater, P. N. (1999). Calibration of space-multispectral imaging sensors: A review. *Remote Sensing of Environment*, 68(3), 194-205. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00111-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00111-4)
- Firozjaei, M. K., Fatholoulumi, S., Kiavarz, M., Arsanjani, J. J., & Alavipanah, S. K. (2020). Modelling surface heat island intensity according to differences of biophysical characteristics: A case study of Amol city, Iran. *Ecological Indicators*, 109, 105816. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105816>
- 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>
- Franklin, C. M., Harper, K. A., & Clarke, M. J. (2021). Trends in studies of edge influence on vegetation at human-created and natural forest edges across time and space. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(2), 274-282. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0308>
- Fu, F., Deng, S., Wu, D., Liu, W., & Bai, Z. (2022). Research on the spatiotemporal evolution of land use landscape pattern in a county area based on CA-Markov model. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103760. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103760>
- Ghalehtemouri, K. J., Shamsoddini, A., Mousavi, M. N., Ros, F. B. C., & Khedmatzadeh, A. (2022). Predicting spatial and decadal of land use and land cover change using integrated cellular automata Markov chain model based scenarios (2019–2049) Zarriné-Rūd River Basin in Iran. *Environmental Challenges*, 6, 100399. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100399>
- Hack, J., Molewijk, D., & Beißler, M. R. (2020). A conceptual approach to modeling the geospatial impact of typical urban threats on the habitat quality of river corridors. *Remote Sensing*, 12(8), 1345. <https://doi.org/10.3390/rs12081345>
- 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>
- Hurt, G. C., Chini, L., Sahajpal, R., Frolking, S., Bodirsky, B. L., Calvin, K., ... & Zhang, X. (2020). Harmonization of global land use change and management for the period 850–2100 (LUH2) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 13(11), 5425-5464. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-5425-2020>
- IRIMO (2020). Islamic Republic of Iran Meteorological Organization. Tehran, Iran.
- Islami, F. A., Tarigan, S. D., Wahjunie, E. D., & Dasanto, B. D. (2022). Accuracy assessment of land use change analysis using Google Earth in Sadar watershed mojokerto regency. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 950, No. 1, p. 012091). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/950/1/012091>
- Kamran, J. G., Musa, K. K., & Sadegh, G. F. (2020). An investigation into urban development patterns with sprawl and other corresponding changes: A case study of Babol City. *Journal of Urban Culture Research*, 20, 26-43. <https://doi.org/10.14456/jucr.2020.2>

- Karimi, H., Jafarnezhad, J., Khaledi, J., & Ahmadi, P. (2018). Monitoring and prediction of land use/land cover changes using CA-Markov model: a case study of Ravansar County in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3940-5>
- Krause, A., Haverd, V., Poulter, B., Anthoni, P., Quesada, B., Rammig, A., & Arneeth, A. (2019). Multimodel analysis of future land use and climate change impacts on ecosystem functioning. *Earth's Future*, 7(7), 833-851. <https://doi.org/10.1029/2018EF001123>
- 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>
- Li, X., Liu, Z., Li, S., & Li, Y. (2022). Multi-scenario simulation analysis of land use impacts on habitat quality in Tianjin based on the PLUS model coupled with the InVEST model. *Sustainability*, 14(11), 6923. <https://doi.org/10.3390/su14116923>
- Moreira, M., Fonseca, C., Vergílio, M., Calado, H., & Gil, A. (2018). Spatial assessment of habitat conservation status in a Macaronesian island based on the InVEST model: a case study of Pico Island (Azores, Portugal). *Land use policy*, 78, 637-649. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.015>
- Nie, Y., Zhang, X., Yang, Y., Liu, Z., He, C., Chen, X., & Lu, T. (2023). Assessing the impacts of historical and future land-use/cover change on habitat quality in the urbanizing Lhasa River Basin on the Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 148, 110147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110147>
- Poncet, A. M., Knappenberger, T., Brodbeck, C., Fogle Jr, M., Shaw, J. N., & Ortiz, B. V. (2019). Multispectral UAS data accuracy for different radiometric calibration methods. *Remote Sensing*, 11(16), 1917. <https://doi.org/10.3390/rs11161917>
- Pourmajidian, M. R., & Rahmani, A. (2009). The influence of single-tree selection cutting on silvicultural properties of a northern hardwood forest in Iran. *American-Eurasian J Agric Environ Sci*, 5(4), 526-532.
- Sallustio, L., De Toni, A., Strollo, A., Di Febbraro, M., Gissi, E., Casella, L., ... & Marchetti, M. (2017). Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. *Journal of Environmental Management*, 201, 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.031>
- Shao, Z., Chen, R., Zhao, J., Xia, C. Y., He, Y., & Tang, F. (2022). Spatio-temporal evolution and prediction of carbon storage in Beijing's ecosystem based on FLUS and InVEST models. *Acta Ecol. Sin*, 42, 9456-9469.
- Shihab, T. H., Al-Hameedawi, A. N., & Hamza, A. M. (2020). Random forest (RF) and artificial neural network (ANN) algorithms for LULC mapping. *Engineering and Technology Journal*, 38(4A), 510-514. <https://doi.org/10.30684/etj.v38i4A.399>
- Tang, F., Fu, M., Wang, L., & Zhang, P. (2020). Land-use change in Changli County, China: Predicting its spatio-temporal evolution in habitat quality. *Ecological Indicators*, 117, 106719. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106719>
- 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>
- Terrado, M., Sabater, S., Chaplin-Kramer, B., Mandle, L., Ziv, G., & Acuña, V. (2016). Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning. *Science of the Total Environment*, 540, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.064>
- Veldman, J. W., Overbeck, G. E., Negreiros, D., Mahy, G., Le Stradic, S., Fernandes, G. W., ... & Bond, W. J. (2015). Where tree planting and forest expansion are bad for biodiversity and ecosystem services. *BioScience*, 65(10), 1011-1018. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv118>
- Wang, B., & Cheng, W. (2022). Effects of land use/cover on regional habitat quality under different geomorphic types based on InVEST model. *Remote Sensing*, 14(5), 1279. <https://doi.org/10.3390/rs14051279>
- Wang, Q., Guan, Q., Lin, J., Luo, H., Tan, Z., & Ma, Y. (2021). Simulating land use/land cover change in an arid region with the coupling models. *Ecological Indicators*, 122, 107231. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107231>

- Watson, K. B., Galford, G. L., Sonter, L. J., Koh, I., & Ricketts, T. H. (2019). Effects of human demand on conservation planning for biodiversity and ecosystem services. *Conservation Biology*, 33(4), 942-952. <https://doi.org/10.1111/cobi.13276>
- 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>
- Xiao, P., Zhou, Y., Li, M., & Xu, J. (2023). Spatiotemporal patterns of habitat quality and its topographic gradient effects of Hubei Province based on the InVEST model. *Environment, Development and Sustainability*, 25(7), 6419-6448. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02310-w>
- Xie, X., & Zhu, Q. (2023). Research on the Impact of Urban Expansion on Habitat Quality in Chengdu. *Sustainability*, 15(7), 6271. <https://doi.org/10.3390/su15076271>
- Yang, Y. (2021). Evolution of habitat quality and association with land-use changes in mountainous areas: A case study of the Taihang Mountains in Hebei Province, China. *Ecological Indicators*, 129, 107967. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107967>
- Yohannes, H., Soromessa, T., Argaw, M., & Dewan, A. (2021). Spatio-temporal changes in habitat quality and linkage with landscape characteristics in the Beressa watershed, Blue Nile basin of Ethiopian highlands. *Journal of Environmental Management*, 281, 111885. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111885>
- Yousefi, S., Moradi, H. R., Keesstra, S., Pourghasemi, H. R., Navratil, O., & Hooke, J. (2019). Effects of urbanization on river morphology of the Talar River, Mazandarn Province, Iran. *Geocarto International*, 34(3), 276-292. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1386722>
- Zhou, X., Liu, C., Xue, Y., Akbar, A., Jia, S., Zhou, Y., & Zeng, D. (2022). Radiometric calibration of a large-array commodity CMOS multispectral camera for UAV-borne remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112, 102968. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102968>