University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Forecasting the urban spatial expansion of Yasouj and the change in uses of its suburbs

Vajihe Ghorbannia Kheybari[1]✉ | **Elahe Azimi**[2]

1. Corresponding Author, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran. E-mail: v.ghorbannia@yu.ac.ir
2. Department of Urban Planning, Faculty of Art and Architecture, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: el.azimi@stu.yazd.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 19 February 2026

Received in revised form 10 April 2026

Accepted 21 April 2026

Keywords:

Land Use,
Prediction,
Satellite Images,
Urban development,
Yasouj City.

ABSTRACT

Uncontrolled and scattered urban development in growing cities has created serious challenges for environmental sustainability. This research was conducted to predict the spatial development of Yasouj city and the changes in its surrounding land uses from 2001 to 2037. Landsat 7 satellite data were used for 2001 and 2013, and Landsat 8 data for 2025. After performing radiometric and atmospheric corrections on the images using ENVI 5.6 software, supervised classification was performed using the Maximum Likelihood Classification (MLC) method, and its accuracy was validated. To simulate and predict changes, the CA-Markov model was used within the TerrSet 2020 software environment. The results of this study showed that during the studied period, the area of residential and agricultural lands increased. The classification results for all three studied years had acceptable accuracy; therefore, it can be claimed that the model possesses acceptable spatial and quantitative accuracy. The growth of residential and agricultural areas primarily occurred at the expense of the quantitative and qualitative reduction of forests and fertile rangelands surrounding the city. The prediction map for the year 2037 shows an intensification of urban sprawl, extensive expansion of scattered settlements, and further weakening of natural land covers. The findings highlight the necessity of revising urban development patterns in Yasouj and adopting approaches based on compact growth, defining urban growth boundaries, and preserving green belts to ensure a balance between development needs and ecological sustainability. Therefore, it is recommended to utilize the inner capacity of the city (infill development) instead of urban growth in peripheral and suburban areas.

Cite this article: Ghorbannia Kheybari, V., & Azimi, E. (2026). Forecasting the urban spatial expansion of Yasouj and the change in uses of its suburbs. *Journal of Natural Environment*, 79 (1), 189-208. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.411363.2895

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

Urban development, as one of the most important spatial-demographic trends, has expanded at a significant pace in recent decades, influenced by factors such as population growth, intensified migration to cities, concentration of economic and service activities, and increased demand for housing and infrastructure. This trend has occurred in many countries, especially developing countries, mainly horizontally and uncontrolledly, leading to the seizure of fertile agricultural lands, destruction of vegetation, and loss of wetlands, which has resulted in a decrease in the quality of the urban environment and a threat to future food security. In fact, uncontrolled and scattered urban development in growing cities has created serious challenges for environmental sustainability. Given the complexity of land use changes and the widespread impacts of urban development, quantitative analysis of spatial trends through urban development modeling is essential. Spatial modeling of urban development is a process that simulates and predicts physical growth patterns of a city using analytical and computer techniques. There are various methods for modeling land use changes, each with its own advantages and limitations. The results of these models help planners and policymakers to better understand the spatial and temporal consequences of urban growth and to formulate effective strategies for sustainable development and natural resource management. This research aimed to predict the spatial development of Yasuj and the changes and developments of its suburban land uses during the years 2001 to 2037.

Material and Methods

Yasouj city, due to its unique natural and cultural features and specific geographical location, has a significant capacity to achieve urban growth and is one of the main centers of population attraction in the southwestern region of the country. However, the increasing acceleration of population growth and physical development of the city has created serious challenges in the field of urban management, spatial planning and infrastructure provision. The study area is limited to the outskirts of Yasouj city from the north to Yasuj Forest Park and the slopes of Mount Dena to Deh Baraftab, from the south to the Maleshore Pass to Dashtroom, from the west to Rahmali and Firouzabad, and from the east to the Maparviz Pass and Qalat. This area is located in a geographical location of 51°20'40' to 51°51'00'51'00' and 30°22'00' to 30°48'30' north latitude. The maximum and minimum altitudes of the region are 3263 and 1622 meters above sea level, respectively. Predicting land use changes and urban expansion, as one of the most basic needs of urban planning and land management, has become an important tool in environmental and urban research today using satellite data and complex models such as Markov Chain and Cellular Automata. Satellite data from Landsat 7 ETM+ sensor for the years 2001 and 2013 and Landsat 8 OLI/TIRS sensor for the year 2025 were used. After performing radiometric and atmospheric corrections on the images in the ENVI 5.6 software environment, supervised classification was performed using the maximum likelihood method (MLC) and its accuracy was validated with the total accuracy and kappa coefficient indices. In order to model and prepare a land use prediction map, the Cellular Markov Network (Ca-Markov) model was used in the TerrSet 2020 software environment. In this software, conditional probability images, transition probability matrices, and transition level matrices were extracted for the time periods 2001 to 2013 and 2013 to 2025 using Markov chain analysis.

Results

The results of this study indicate that during the study period, the area of residential and agricultural areas has increased continuously, so that from 2001 to 2013, residential areas have increased by 2365.2 hectares and agricultural areas by 34.480 hectares, and from 2013 to 2025, residential areas have increased by 1462.59 hectares and agricultural areas by 8643.05 hectares. The predictions also showed that from 2025 to 2037, the area of residential areas will increase by 1335.6 hectares and agricultural areas by 2532.24 hectares. The classification results in all three years studied had acceptable accuracy. Therefore, it can be claimed that the model has acceptable spatial and quantitative accuracy. High values of kappa indices indicate the appropriate performance of the model in predicting land use/cover changes. The Kappa value for no information equal to 0.89 indicates the high ability of the model compared to the random state. The Klocation index with a value of 0.87 indicates that a large part of the predicted cells are located in their correct location in terms of location relative to the real map. Also, the Kappa

value for location strata equal to 0.65 indicates the acceptable accuracy of the model in predicting the correct land use class of the cells in each spatial area. Finally, the K standard value equal to 0.83 confirms that the Markov Autonomic Network model has high accuracy and validity for spatial simulation in this study. The growth of residential and agricultural areas has mainly occurred at the cost of a quantitative and qualitative decrease in the forests and fertile pastures around the city. The forecast map for the year 2037 indicates an intensification of the urban sprawl trend, a widespread expansion of scattered settlements, and further weakening of natural covers.

Discussion and Conclusion

The pattern of land use changes in the outskirts of Yasouj in all the time periods studied has been a function of the process of horizontal urban growth and the gradual penetration of the city into the surrounding lands. In all three time periods, a continuous decrease in natural uses, including forest and pasture, is observed in contrast to a continuous increase in man-made uses, especially residential and agricultural areas, which indicates the dominance of physical development over environmental considerations in spatial management of the region. The continuous decrease in forest and pasture is a serious threat to environmental sustainability, ecological balance, and quality of urban life, and highlights the need to adopt intensive development approaches, maintain green belts, and control excessive suburban development. An examination of the general trend of land use changes in different periods shows that urban development in the outskirts of Yasouj has been gradual and continuous in nature and has been accompanied by a continuous decrease in natural uses. The continuous increase in residential areas and physical dispersion indicates the lack of a clear boundary for urban development, the weakness of growth management policies, and the lack of integration of environmental considerations in decision-making. The findings highlight the need to review the urban development patterns of Yasouj and adopt approaches based on intensive growth, determining the boundary of urban development, and preserving green belts to ensure a balance between development needs and ecological sustainability. Therefore, it is recommended to use the city's internal capacity instead of urban growth in peripheral and suburban areas.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

CRediT authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.

محیط زیست طبیعی

انتشارات دانشگاه تهران

شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

پیش‌بینی گسترش فضایی شهری یاسوج و تغییر کاربری‌های حومهٔ آن

وجیهه قربان‌نیا خیبری[۱]✉ | الهه عظیمی[۲]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی طبیعت، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: v.ghorbannia@yu.ac.ir

۲. گروه شهرسازی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه یزد، شهر یزد، ایران. رایانامه: el.azimi@stu.yazd.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۱

کلیدواژه‌ها:

پیش‌بینی،

تصاویر ماهواره‌ای،

شهر یاسوج،

کاربری اراضی،

گسترش فضای شهری.

چکیده

گسترش فضای شهری کنترل‌نشده و پراکنده در شهرهای در حال رشد، چالش‌های جدی برای پایداری محیط‌زیستی ایجاد کرده است. این پژوهش با هدف پیش‌بینی گسترش فضایی شهری یاسوج و تغییر کاربری‌های حومه آن طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۳۷ انجام شد. داده‌های ماهواره‌ای لندست ۷ برای سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۳ و لندست ۸ برای سال ۲۰۲۵ مورد استفاده قرار گرفتند. پس از انجام تصحیحات رادیومتری و اتمسفری تصاویر در محیط نرم‌افزار ENVI 5.6، طبقه‌بندی نظارت‌شده با روش حداکثر احتمال (MLC) انجام و صحت آن اعتبارسنجی شد. برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات، از مدل شبکه خودکار مارکوف (CA-Markov) در محیط نرم‌افزار TerrSet 2020 استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در دورهٔ مورد مطالعه، مساحت مناطق مسکونی و کشاورزی افزایش یافته است. نتایج طبقه‌بندی در هر سه سال مورد بررسی از دقت قابل قبولی برخوردار بوده است، بنابراین می‌توان ادعا کرد که مدل از دقت مکانی و کمّی قابل قبولی برخوردار است. رشد مناطق مسکونی و کشاورزی عمدتاً به قیمت کاهش کمّی و کیفی جنگل‌ها و مراتع حاصلخیز پیرامون شهر صورت گرفته است. نقشهٔ پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۷ تشدید روند پراکنده‌روی شهری، گسترش گستردهٔ سکونتگاه‌های پراکنده و تضعیف بیشتر پوشش‌های طبیعی را نشان می‌دهد. یافته‌ها ضرورت بازنگری در الگوهای گسترش فضای شهری یاسوج و اتخاذ رویکردهای مبتنی بر رشد فشرده، تعیین مرز گسترش فضای شهری و حفظ کمربندهای سبز برای تضمین تعادل میان نیازهای توسعه و پایداری اکولوژیک را برجسته می‌سازد. از این‌رو، توصیه می‌شود به‌جای رشد شهری در مناطق پیرامونی و حومه، از ظرفیت درونی شهر استفاده شود.

استناد: قربان‌نیا خیبری، وجیهه؛ و عظیمی، الهه (۱۴۰۵). پیش‌بینی گسترش فضایی شهری یاسوج و تغییر کاربری‌های حومهٔ آن. *محیط زیست طبیعی*، ۷۹ (۱)، ۲۰۸-۱۸۹.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.411363.2895

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

گسترش فضای شهری در دهه‌های اخیر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روندهای فضایی–جمعیتی، تحت تأثیر عواملی نظیر رشد جمعیت، تشدید مهاجرت به شهرها، تمرکز فعالیت‌های اقتصادی و خدماتی و افزایش تقاضا برای مسکن و زیرساخت‌ها، با شتاب قابل‌توجهی گسترش یافته است (Lu *et al*., 2023; Pal, 2025). این روند در بسیاری از کشورها، به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، عمدتاً به‌صورت افقی و کنترل‌نشده رخ داده و منجر به تصرف زمین‌های کشاورزی حاصلخیز، تخریب پوشش گیاهی و از بین رفتن تالاب‌ها شده است که پیامد آن کاهش کیفیت محیط‌زیست شهری و تهدید امنیت غذایی آینده است (d'Amour *et al*., 2016; Xu, 2022). در بسیاری از موارد، رشد کالبدی شهرها سریع‌تر از رشد جمعیت آنها بوده و این امر به کاهش تراکم جمعیتی، شکل‌گیری الگوهای پراکنده و ناکارآمد شهری و افزایش وابستگی به حمل‌ونقل موتوری شده است که به نوبهٔ خود، افزایش زمان سفر و تشدید ترافیک شهری را در پی داشته است (Zhao *et al*., 2014; Lu *et al*., 2023). همزمان، گسترش مناطق ساخته‌شده موجب تخریب زیستگاه‌های طبیعی و کاهش تنوع زیستی در پیرامون شهرها شده است (Bebi and Iyambo, 2025; Pal, 2025). در بعد اجتماعی و اقتصادی، رشد شتابان شهرنشینی در غیاب برنامه‌ریزی منسجم، به تشدید بیکاری، افزایش قیمت مسکن و گسترش سکونتگاه‌های غیررسمی شده است؛ وضعیتی که ناشی از ناتوانی نظام رسمی تأمین مسکن و ضعف حکمرانی شهری در مدیریت توسعه است (Pilehvar, 2021; Simon, 2025). در مجموع، ناکارآمدی نظام‌های برنامه‌ریزی شهری، ضعف اجرا و ناهماهنگی نهادی، سبب شده است که گسترش فضای شهری به‌جای هدایت‌شدن در مسیر پایداری، به عاملی برای بروز چالش‌های محیط‌زیستی و اجتماعی تبدیل شود و ضرورت بازاندیشی در رویکردهای برنامه‌ریزی شهری با تأکید بر پایداری محیط‌زیستی، کارایی فضایی و عدالت اجتماعی را برجسته سازد (Enoguanbhor *et al*., 2021; Abadura and Sokido, 2024). توسعهٔ پراکنده شهری مستلزم گسترش شبکه‌های زیرساختی نظیر راه‌ها، آب، برق و فاضلاب است که هزینه‌های اقتصادی تأمین و نگهداری آن‌ها را به‌شدت افزایش می‌دهد و کارایی استفاده از زمین را کاهش می‌دهد. همچنین، تبدیل اراضی کشاورزی پیرامون شهر به کاربری‌های مسکونی، منجر به از بین رفتن منابع معیشتی و سبک زندگی ساکنان روستایی این نواحی شده است (Festus *et al*., 2020). در مجموع، پراکندگی و گسترش کنترل‌نشده شهر در تعارض آشکار با اصول توسعهٔ پایدار قرار دارد؛ چرا که از یک‌سو منابع طبیعی نسل‌های آینده را با تهدید مواجه می‌سازد و از سوی دیگر، کیفیت زندگی نسل حاضر را از طریق افزایش آلودگی، ترافیک و نابرابری‌های فضایی کاهش می‌دهد (Bueno-Suarez and Coq-Huelva, 2020). با توجه به پیچیدگی تغییرات پوشش/کاربری اراضی و تأثیرات گستردهٔ رشد شهری، تحلیل کمی روندهای فضایی از طریق مدل‌سازی گسترش فضای شهری ضروری است. مدل‌سازی فضایی گسترش شهری فرآیندی است که با استفاده از تکنیک‌های تحلیلی و کامپیوتری، الگوهای رشد فیزیکی شهر را شبیه‌سازی و پیش‌بینی می‌کند (Cheng, 2004). این مدل‌ها با ترکیب داده‌های جغرافیایی از جمله تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی، شیب زمین، شبکهٔ راه‌ها و داده‌های اجتماعی–اقتصادی مانند تراکم جمعیت، امکان تحلیل نیروهای محرک گسترش فضای شهری را فراهم می‌سازند (Jat *et al*., 2008). روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی تغییرات پوشش/کاربری اراضی وجود دارد که هر یک مزایا و محدودیت‌های خاص خود را دارند. نتایج حاصل از این مدل‌ها به برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا با درک بهتر پیامدهای فضایی و زمانی رشد شهری، استراتژی‌های مؤثر برای توسعهٔ پایدار و مدیریت منابع طبیعی تدوین کنند (Alsharif *et al*., 2022). مطالعات مختلفی در سطح جهانی و داخلی به بررسی روند گسترش شهری و تغییرات پوشش/کاربری اراضی در کشورهای مختلف پرداخته‌اند.

Omidvar و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای که با هدف ارزیابی تغییرات کاربری و درصد پوشش گیاهی در شهر و نواحی پیرامون یاسوج انجام گرفت به بررسی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان مساحت در سال ۱۹۸۶ مربوط به کاربری بایر و سپس کاربری مسکونی و فضای سبز کمترین مقدار مساحت را به‌خود اختصاص داده‌اند. در مقابل در سال ۲۰۱۰ بیشترین میزان مساحت مربوط به کاربری مسکونی و سپس کاربری بایر و در پایان پوشش گیاهی کمترین مقدار مساحت را در بر گرفته است. همچنین بیشترین میزان تغییرات در این بازهٔ زمانی، مربوط به کاربری مسکونی است، مساحت کاربری‌های بایر و فضای سبز در طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ دارای روند کاهشی است.

Farzin و Khazaei (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به تعیین و تحلیل تغییرات پوشش/کاربری اراضی در اطراف شهر یاسوج و تعیین شدت تخریب منابع طبیعی در اثر رشد شهرنشینی و پیش‌بینی روند آن در آینده با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکف پرداختند و نقشهٔ پوشش/کاربری برای سال ۱۴۰۸ را پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که مساحت مرتع و جنگل در سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۸ کاهش یافته است. بیشترین تخریب مرتع و جنگل بین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸ به وقوع پیوسته و در مقابل، سطح اراضی رهاشده، نواحی مسکونی و ساخت‌وساز افزایش یافته است. برمبنای نقشهٔ پیش‌بینی سال ۱۴۰۸، روند تخریب و تبدیل پوشش مرتعی و جنگلی در طی ۱۰ سال آینده همچنان ادامه خواهد داشت و سطح اراضی کشاورزی و ساخت‌وساز افزوده خواهد شد.
Mathanraj و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل CA-Markov در سریلانکا، روند گسترش شهر باتیکالوا را بررسی کرده و نشان دادند که مساحت مناطق ساخته‌شده از ۱۳۰۸ هکتار در سال ۱۹۹۰ به ۱۹۹۹ هکتار در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است. این مطالعه نشان داد که مدل CA-Markov ابزاری دقیق برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی است. Rufino و همکاران (۲۰۲۱) در برزیل با استفاده از مدل خودکار مارکف به شبیه‌سازی الگوهای گسترش شهری و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در شش شهر واقع در منطقهٔ خشک شمال شرقی پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که رشد شهری عمدتاً به‌صورت حاشیه‌ای اتفاق می‌افتد. در پژوهشی توسط Zandi و همکاران (۲۰۲۵) تحت عنوان ارزیابی گسترش فضاهای حاشیه‌شهری و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در شهر تربت حیدریه، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که در افق ۲۰۳۰، مساحت اراضی ساخته‌شده به‌طور متوسط ۲۸/۷ درصد افزایش خواهد یافت که می‌تواند تأثیرات منفی بر امنیت غذایی و پایداری محیطی منطقه داشته باشد. Al-Sharif و همکاران (۲۰۲۲) نیز با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست و مدل زنجیرهٔ مارکوف در منطقهٔ الباحهٔ عربستان سعودی، تغییرات پوشش/کاربری اراضی و پیش‌بینی گسترش شهری را بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که مساحت مناطق ساخته‌شده از ۱۵ کیلومتر مربع در سال ۱۹۸۵ به ۱۹۸۲ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۱ افزایش یافته و پیش‌بینی شد که تا سال ۲۰۴۷، مساحت شهری به ۲۶۰۷ کیلومترمربع خواهد رسید. این رشد می‌تواند در چارچوب "چشم‌انداز ۲۰۳۰ عربستان" برای مدیریت پایدار رشد شهری مفید باشد. در پژوهش Albasri و همکاران (۲۰۲۳) روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی در شهر نجف عراق از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ و پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۵ بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مناطق مسکونی در این شهر افزایش چشم‌گیری داشته‌اند. پیش‌بینی‌های مبتنی بر مدل زنجیرهٔ مارکوف بر لزوم برنامه‌ریزی شهری پیشگیرانه تأکید دارد. Rimal و همکاران (۲۰۲۵) با استفاده از مدل CA-Markov و تصاویر ماهواره‌ای لندست، روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی و پیش‌بینی گسترش شهری در دو کلانشهر کاتماندو و پخارا در نپال را طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۴ بررسی کردند. نتایج نشان داد که گسترش بی‌رویهٔ شهری در این مناطق عمدتاً در زمین‌های کشاورزی مرغوب رخ داده است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که گسترش شهری تا سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۵۶ ادامه خواهد یافت که پیامدهای جدی برای امنیت غذایی و پایداری محیط‌زیست در پی خواهد داشت.

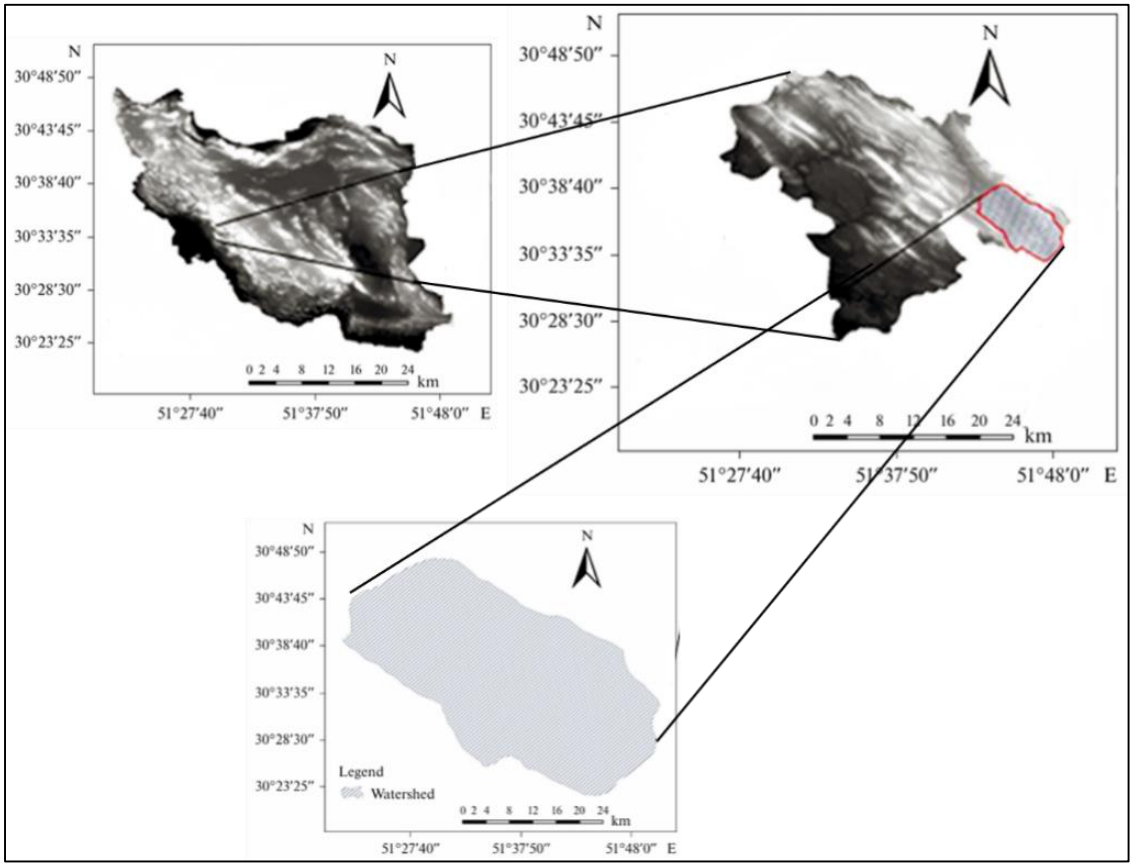
شهر یاسوج به‌واسطهٔ برخورداری از ویژگی‌های طبیعی و فرهنگی منحصر به‌فرد و موقعیت جغرافیایی خاص، از ظرفیت قابل‌توجهی برای دستیابی به رشد شهری و یکی از کانون‌های اصلی جذب جمعیت در منطقه جنوب غرب کشور است. با این حال، شتاب فزایندهٔ رشد جمعیت و گسترش فیزیکی شهر، چالش‌های جدی در حوزهٔ مدیریت شهری، برنامه‌ریزی فضایی و تأمین زیرساخت‌ها ایجاد کرده است (Salamatnia, 2025). رشد طبیعی جمعیت، مهاجرت‌های روستا به شهر و تمرکز فزایندهٔ فعالیت‌های اداری، آموزشی و خدماتی در یاسوج، طی دهه‌های اخیر موجب افزایش قابل‌توجه جمعیت این شهر شده است. با توجه به رشد شتابان جمعیت شهر یاسوج، پژوهشی برای تحلیل و پیش‌بینی روندهای فضایی گسترش شهری ضروری است. این پژوهش با بهره‌گیری از مدل‌های فضایی پیشرفته، از جمله مدل‌های ترکیبی شبکهٔ خودکار مارکوف[1] (CA–Markov) قادر خواهد بود الگوهای رشد شهر و تحولات پوشش/کاربری اراضی حومه را شناسایی و سناریوهای توسعهٔ آینده را پیش‌بینی کند که این امر زمینه‌ساز تصمیم‌گیری‌های آگاهانه، مدیریت منابع طبیعی، حفاظت از خدمات اکوسیستمی، افزایش کارایی فضایی و ارتقای کیفیت زندگی ساکنان خواهد بود و مسیر توسعهٔ پایدار شهر یاسوج را تضمین می‌کند.

[1] Cellular Automata - Markov

پیش‌بینی گسترش فضایی شهری یاسوج و تغییرات پوشش/کاربری اراضی حومهٔ آن، می‌تواند ابزاری مهم در فرآیند برنامه‌ریزی شهری و مدیریت رشد شهری پایدار باشد. استفاده از مدل‌های پیش‌بینی مانند CA-Markov می‌تواند کمک کند تا روند گسترش شهری شبیه‌سازی شود و این پیش‌بینی‌ها امکان شناسایی مناطقی در معرض خطر مانند اراضی کشاورزی، باغات و مناطق ژئومورفولوژیک حساس را فراهم کند. در نهایت، این پیش‌بینی‌ها می‌توانند به تصمیم‌گیرندگان کمک کنند تا با اتخاذ سیاست‌های مؤثر، از گسترش بی‌ضابطه و ایجاد آثار منفی جلوگیری کنند و به توسعهٔ پایدار شهری و حفظ منابع طبیعی منطقهٔ یاسوج دست یابند.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مورد مطالعه: بخش مورد مطالعه در محدودهٔ حومهٔ شهر یاسوج با مساحت ۱۲۴۱۰۳ هکتار، از شمال به پارک جنگلی یاسوج و دامنه‌های کوه دنا تا ده برآفتاب، از جنوب به گردنهٔ ملەشوره تا دشتروم، از غرب به راه‌مالی و فیروزآباد و از شرق به گردنهٔ ماپرویز و قلات محدود است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی ″۴۰ ′۲۰ °۵۱ تا ″۵۰ ′۱۵ °۵۱ طول شرقی و ″۰ ′۲۲ °۳۰ تا ″۳۰ ′۴۸ °۳۰ عرض شمالی واقع شده است. حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه به‌ترتیب ۳۲۶۳ و ۱۶۲۲ متر از سطح دریا است. میانگین بارندگی در منطقهٔ مورد مطالعه حدود ۸۲۳/۹ میلی‌متر محاسبه شده است. موقعیت کلی منطقهٔ مورد مطالعه در کشور ایران و استان کهگیلویه و بویراحمد در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت کلی منطقهٔ مورد مطالعه در استان کهگیلویه و بویراحمد و کشور ایران

Figure 1. General location of the study area in Kohgiluyeh va BoyerAhmad province and Iran

پردازش داده‌های ماهواره‌ای: در این مطالعه برای بررسی تغییرات پوشش/کاربری اراضی در دورهٔ زمانی سال‌های ۲۰۰۱ (معادل سال ۱۳۸۰ شمسی) تا ۲۰۲۵ (معادل سال ۱۴۰۴ شمسی) و پیش‌بینی تغییرات آن در سال ۲۰۳۷ (معادل سال ۱۴۱۶ شمسی) از داده‌های ماهوارهٔ لندست ۷ سنجندهٔ ETM^+ سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۳ (معادل سال ۱۳۹۲ شمسی) و لندست ۸ سنجندهٔ OLI/TIRS سال ۲۰۲۵

استفاده شده است. ابتدا تصاویر از سایت USGS[۲] دانلود شدند. سپس وارد نرم‌افزار ENVI 5.6 شدند. مهمترین ویژگی این نرم‌افزار نسبت به سایر نرم‌افزارهای پردازش تصاویر این است که در زمینهٔ تحلیل‌های طیفی و پردازش‌های طیف مبنا توانایی بسیار زیادی دارد و می‌توان تمامی مراحل پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای را داخل آن انجام داد. ابتدا تصحیح رادیومتریک با استفاده از دستور Radiometric Calibration و سپس تصحیح اتمسفری برای تعدیل اثر پخش و جذب اتمسفری با استفاده از دستورFLASH Atmospheric Correction انجام شد.

طبقه‌بندی تصاویر: برای آشکارسازی طیف‌های مختلف تصاویر، ابتدا طبقه‌بندی نظارت نشده تصاویر با استفاده از دستور Iso Data Classification انجام شد. بعد از طبقه‌بندی نظارت نشده و امکان تفکیک نسبی پدیده‌ها و عارضه‌ها بر روی تصاویر و همچنین با استفاده از تصاویر Google Earth، پلی‌گون‌های نمونه از هر کلاس یا طبقهٔ کاربری برای طبقه‌بندی نظارت شده تهیه شد. نمونه‌های پلی‌گونی تهیه شده به دو دسته نمونه‌های ورودی طبقه‌بندی کننده برای طبقه‌بندی و نمونه‌های تست برای صحت‌سنجی طبقه‌بندی تقسیم شدند. با استفاده از روش طبقه‌بندی Maximum Likelihood Classification نقشهٔ پوشش/کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۵ تهیه شد. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی، دقت کل تصویر[۳] و ضریب کاپا محاسبه شد، اگرچه ضریب کاپا در مقایسه با دقت کل معتبرتر است. مقدار ضریب کاپا بین صفر و یک است که هر چه به یک نزدیک‌تر باشد دقت طبقه‌بندی بیشتر است.

مدل شبکهٔ خودکار مارکف: به‌منظور مدل‌سازی و تهیهٔ نقشه پیش‌بینی پوشش/کاربری اراضی، از مدل شبکهٔ خودکار مارکف در محیط نرم‌افزار TerrSet 2020 استفاده شد. در این نرم‌افزار با استفاده از تحلیل زنجیرهٔ مارکف، تصاویر احتمال شرطی، ماتریس احتمال انتقال و ماتریس سطوح انتقال برای دوره‌های زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۵ استخراج شد. تصاویر احتمال شرطی استخراج شده از مدل مارکف به‌عنوان ورودی وارد ماژول STCHOICE شد. ماژول STCHOICE از یک توزیع همگن، برای هر سلول یک ارزش تصادفی بین صفر و یک ایجاد می‌کند. سپس برای هر سلول، به‌طور مکرر احتمالات شرطی را به‌ترتیب فایل احتمالات شرطی اضافه می‌کند تا اینکه از ارزش تصادفی بیشتر گردد. کلاسی که واجد ارزش تصادفی بیشتری شود، پوشش زمین پیش‌بینی شده برای آن موقعیت مکانی در دورهٔ زمانی آینده خواهد بود. خروجی STCHOICE به‌صورت یک تصویر دانه‌دانه‌ای است که اگر چه در این تصویر احتمالات انتقال در هر کاربری دارای دقت زیادی است، اما اطلاعاتی از توزیع مکانی مربوط به کاربری‌ها وجود ندارد. بنابراین، مدل تصادفی مارکف فاقد هر گونه اطلاعات وابستگی مکانی است (Salman Mahiny and Kamiab, 2010). به‌همین دلیل از ترکیب شبکهٔ خودکار و زنجیرهٔ مارکف (شبکهٔ خودکار مارکف) برای ایجاد نتایج وابسته به مکان استفاده گردید. طبق تعریف، یک شبکهٔ خودکار، عاملی است که توانایی تغییر وضعیتش را براساس به‌کارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت همسایگانش نشان می‌دهد، دارا است. از فیلتر شبکهٔ خودکار برای توسعهٔ یک فاکتور وزن‌دهی—مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول‌ها براساس وضعیت همسایه‌اش استفاده خواهد شد. بنابراین، به وضعیت جغرافیایی اهمیت بیشتری داده می‌شود (Salman Mahiny and Kamiab, 2010). شبکهٔ خودکار از خروجی تحلیل زنجیرهٔ مارکف به‌ویژه فایل سطوح انتقال برای اعمال فیلتر همسایگی به‌منظور تعیین تغییرات پوشش/کاربری اراضی از دورهٔ زمانی دوم به دورهٔ زمانی بعدی استفاده می‌کند. در حقیقت، شبکهٔ خودکار یک فاکتور وزن‌دهی سادهٔ مکانی را توسعه می‌دهد که وزن بیشتر به مناطقی که نزدیک به کاربری زمین کنونی هستند، داده می‌شود. این کار موجب می‌شود که تغییرات پوشش/کاربری اراضی در نزدیکی کلاس‌های کاربری زمین کنونی ایجاد گردد و کاملاً تصادفی نباشد (Salman Mahiny and Kamiab, 2010).

در این مطالعه، پس از پیاده‌سازی مدل زنجیرهٔ مارکوف (Markov Chain) برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش زمین، از تلفیق سلولی خودکار و مارکوف (CA-Markov) به‌منظور پیش‌بینی نقشه‌های پوشش زمین مربوط به سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۵ استفاده گردید؛ همچنین جهت ارزیابی صحت و اعتبارسنجی کارایی مدل، نقشه‌های پیش‌بینی‌شده برای افق‌های زمانی ۲۰۲۵ و ۲۰۳۷ تولید و مورد تحلیل قرار گرفتند. بنابراین، برای اجرای شبکهٔ خودکار مارکف به یکسری پارامتر نیاز است که شامل موارد زیر است:

[2]United States Geological Survey

[3]Overall accuracy

- تصویر پوشش زمین مبنا که در این مطالعه تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۰۱ برای پیش‌بینی سال ۲۰۲۵ و سال ۲۰۱۳ برای پیش‌بینی سال ۲۰۳۷ است.
- فایل ماتریس سطوح انتقال که از خروجی‌های مدل مارکف است.
- تصاویر مطلوبیت در واقع شایستگی یک سلول برای یک پوشش زمین خاص است.

به‌عنوان مثال تصویر مطلوبیت برای کاربری جنگل ممکن است شامل معیارهایی از قبیل فاصله از جاده، شیب زمین و غیره باشد. در مطالعهٔ حاضر جهت تهیهٔ تصاویر مطلوبیت از معیارهای زیر استفاده شد. متغیرهای فیزیکی شامل ارتفاع، شیب و جهت که از مدل رقومی ارتفاع استخراج شدند. نقشهٔ زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی)، سنجه‌های سیمای منظر در مطالعات انجام شده توسط محققان مختلف ثابت شده که معیارهای فاصله نقش و اهمیت زیادی در تغییر پوشش گیاهی دارند (Salman Mahiny, 2006). از این‌رو فاصله از جاده، فاصله از روستا و فاصله از شبکهٔ زهکشی سطحی نیز در تهیهٔ تصاویر مطلوبیت مورد استفاده قرار گرفتند. از بین پارامترهای تصویر ماهواره‌ای از شاخص تغییرات پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)[4] برای تهیهٔ تصاویر مطلوبیت استفاده شد. برای تهیهٔ نقشه‌های مطلوبیت از رگرسیون لجستیک استفاده شد. رگرسیون لجستیک روشی آماری است که ارتباط بین مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل و پیوسته و یک متغیر وابستهٔ دوتایی را ارزیابی کرده و آن را به‌صورت مدل بیان می‌کند. رگرسیون لجستیک از روش برآورد حداکثر احتمال[5] (MLE) برای پیدا کردن بهترین مجموعه پارامترهایی که مدل را بهتر برازش می‌کنند، استفاده می‌کند. در این مرحله نقشهٔ تغییرات هر یک از کاربری‌ها در دوره‌های زمانی مختلف به‌عنوان متغیر وابسته و نقشه‌های ۵ معیار مطلوبیت به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل شد که حاصل این فرآیند تولید نقشهٔ مطلوبیت هر یک از کاربری‌ها در دوره‌های زمانی مختلف است. برای بررسی صحت در مدل‌سازی رگرسیون لجستیک از آمارهای Pseudo R^2 و ROC مشخصه نسبی (اجرایی)[6] استفاده شد. Pseudo R^2 ۲۰ برابر به‌عنوان برازش خوب در نظر گرفته می‌شود (Clark and Hosking, 1989). ROCآمارهٔ مناسبی برای ارزیابی اعتبار مدل است و می‌توان از آن برای مقایسهٔ تصویر پیش‌بینی شده با تصویر واقعی استفاده کرد. ارزش ۱ نشان‌دهندهٔ توافق مکانی کامل و ارزش ۰/۵ نشان‌دهندهٔ توافق کم مدل با واقعیت است (Pantiusjr and Spencer, 2005). بعد از تهیهٔ نقشهٔ معیارهای مطلوبیت با استفاده از ماژولRCLASS نقشهٔ تغییرات هر یک از کاربری‌ها به‌صورت جداگانه در دوره‌های زمانی ۲۰۱۳–۲۰۰۱ و ۲۰۲۵–۲۰۱۳ تهیه شد.

اعتبارسنجی مدل: پس از اجرای مدل خودکار مارکف، این مدل با استفاده از ماژول VALIDATE و قرار دادن نقشهٔ پوشش زمین طبقه‌بندی شده سال ۲۰۲۵ به‌عنوان نقشهٔ مرجع و نقشه‌های پوشش زمین پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۲۵ به‌عنوان نقشهٔ مقایسه‌ای، اعتبارسنجی شد. به‌منظور ارزیابی کمّی صحت یک نقشهٔ طبقه‌بندی‌شده، می‌توان آن را به‌صورت پیکسل به پیکسل با داده‌های میدانی (واقعیت زمینی) مقایسه نموده و نتایج را در جدولی تحت عنوان ماتریس خطا (ماتریس درهم‌ریختگی) تدوین کرد. براساس این ماتریس، معیارهای کمّی از جمله صحت کلی[7] و ضریب کاپا[8] قابل محاسبه بوده و به‌عنوان شاخص‌های استاندارد برای بیان کمّی دقت نتایج طبقه‌بندی به‌کار گرفته شد (Yuan *et al*., 2005). صحت کلی از نسبت مجموع پیکسل‌هایی که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند (در قطر اصلی ماتریس طبقه‌بندی قرار دارند) به کل پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده به‌دست آمد. همان‌طور که از نام آن مشخص است، صحت کلی تنها درصد صحت در سطح کلیهٔ طبقات کاربری را ارائه می‌دهد و قادر به محاسبهٔ درصد صحت هر یک از طبقات به‌صورت مجزا نمی‌باشد. صحت کلی با رابطهٔ ۱ به قابل بیان است.

رابطهٔ ۱

$$OA = \frac{\sum_{K=1}^{N} n_{kk}}{n} * 100$$

OA: صحت کلی، $\sum_{K=1}^{N} n_{kk}$: مجموع پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده و N: کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده است.

[4]Normalized Difference Vegetation Index
[5]Maximum Likelihood Classification
[6]Relative metric
[7]Overall Accuracy
[8]Kappa Coefficient

با توجه به اینکه برای نهایی کردن نقشهٔ کاربری اراضی، باید همهٔ شاخص‌های صحت طبقه‌بندی با یک و یا چند شاخص آماری معتبر برازش داده شود. شاخص کاپا از جمله روش‌های آماری است که با رابطهٔ ۲ قابل بیان است (Congalton and Green, 1999).

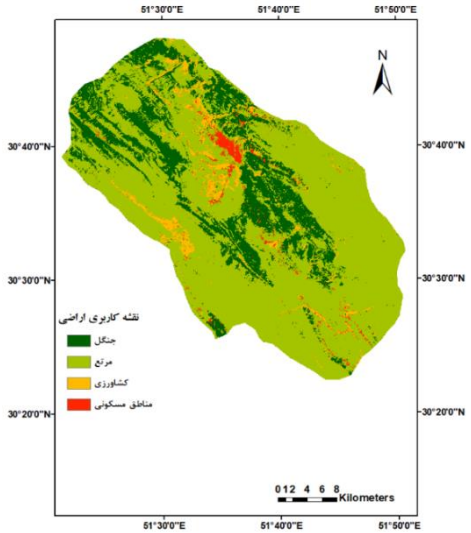
$$K=N^{\sum_{i=1}^{r} Xii - \sum_{i=1}^{r}(Xio * Xoi)/N^2 - \sum_{i=1}^{r}(Xio * Xoi)}$$ رابطهٔ ۲

K: شاخص کاپا، r: تعداد ردیف ماتریس طبقه‌بندی،Xii: تعداد مشاهدات در ردیف و ستون (محور اصلی ماتریس) ،Xio: مجموع مشاهدات در ردیف (مجموع ردیف برای هر کاربری)، Xoi: مجموع مشاهدات در ستون (مجموع ستون برای هر کاربری) و N: مجموع کل مشاهدات ماتریس طبقه‌بندی می‌باشد. در محاسبهٔ ضریب کاپا، علاوه بر پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند، پیکسل‌هایی که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند نیز دخالت داده می‌شوند؛ از این‌رو معیار مناسبی برای مقایسهٔ نتایج طبقه‌بندی‌های مختلف است.

یافته‌های پژوهش

نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی: ساختار پوشش/کاربری اراضی منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۰۱ عمدتاً تحت کاربری‌های طبیعی قرار داشته است. در این سال، کاربری مرتع با اختصاص ۷۱/۸۵ درصد از کل مساحت منطقه، بیشترین سهم را به‌خود اختصاص داده که نشان‌دهندهٔ غلبهٔ پوشش‌های طبیعی و استفاده سنتی از اراضی است. کاربری جنگل با ۲۰/۸ درصد در رتبهٔ دوم قرار دارد و بیانگر وجود پهنه‌های قابل‌توجه جنگلی در منطقه است. در مقابل، کاربری کشاورزی تنها ۵/۷۵ درصد از مساحت منطقه را شامل می‌شود که نشان‌دهندهٔ محدود بودن فعالیت‌های زراعی در این مقطع زمانی است. همچنین، مناطق مسکونی با ۱/۵۹ درصد کمترین سهم را دارند که حاکی از توسعهٔ اندک سکونتگاه‌ها و پایین بودن شدت شهرنشینی در حومهٔ شهر یاسوج در سال ۲۰۰۱ است. به‌طور کلی، الگوی پوشش/کاربری اراضی در این سال بیانگر شرایط نسبتاً بکر و فشار انسانی محدود بر محیط طبیعی منطقه است. در شکل ۲، نقشهٔ کاربری اراضی حومهٔ شهر یاسوج در سال ۲۰۰۱ نشان داده شده است. جدول ۱، مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش/کاربری اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۰۱ نشان می‌دهد.

در سال ۲۰۱۳ همچنان کاربری مرتع با ۷۰/۰۶ درصد بیشترین سهم را در منطقهٔ مورد مطالعه دارد، اما نسبت به سال ۲۰۰۱ کاهش نشان می‌دهد که بیانگر آغاز روند تغییر پوشش/کاربری اراضی طبیعی است. مساحت جنگل نیز به ۲۰/۳ درصد کاهش یافته که می‌تواند ناشی از تخریب، بهره‌برداری بی‌رویه یا تبدیل به سایر کاربری‌ها باشد. در مقابل، کاربری کشاورزی با افزایش به ۶/۱۳ درصد، گسترش فعالیت‌های زراعی را در منطقه نشان می‌دهد. مهم‌ترین تغییر مربوط به مناطق مسکونی است که سهم آنها به ۳/۴۹ درصد افزایش یافته و بیانگر رشد قابل‌توجه سکونتگاه‌ها و گسترش فیزیکی شهر در این دورهٔ زمانی است. این تغییرات نشان‌دهندهٔ حرکت تدریجی منطقه از یک ساختار طبیعی به‌سمت الگوی انسان‌ساخت است. در شکل ۳، نقشهٔ پوشش/کاربری اراضی حومهٔ شهر یاسوج و در جدول ۲، مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش/کاربری اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۱۳ نشان داده شده است.



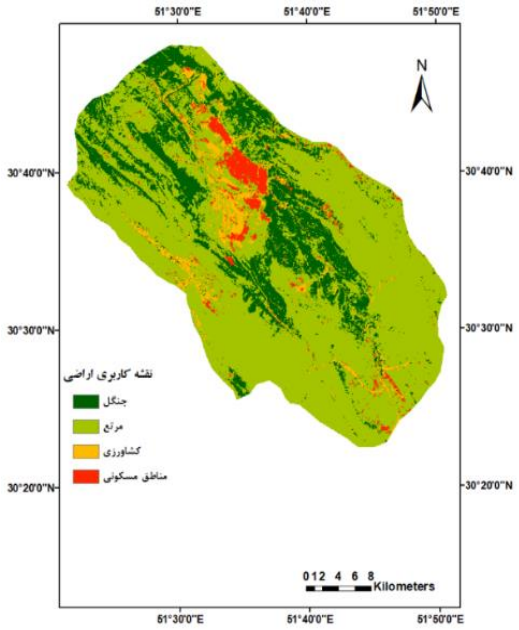
شکل ۲– نقشهٔ پوشش/کاربری اراضی منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۰۱

Figure 2. Land cover/land use map of the study area in 2001

جدول ۱- مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش/ کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۱

Table 1. Area and percentage allocated to each land cover/land use class in the study area in 2001

کلاس پوشش/کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
جنگل	25820.1	20.8
مرتع	89171.19	71.85
کشاورزی	7135.02	5.75
مناطق مسکونی	1976.67	1.59
مجموع	124103	100



شکل ۳– نقشهٔ پوشش/کاربری اراضی منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۱۳

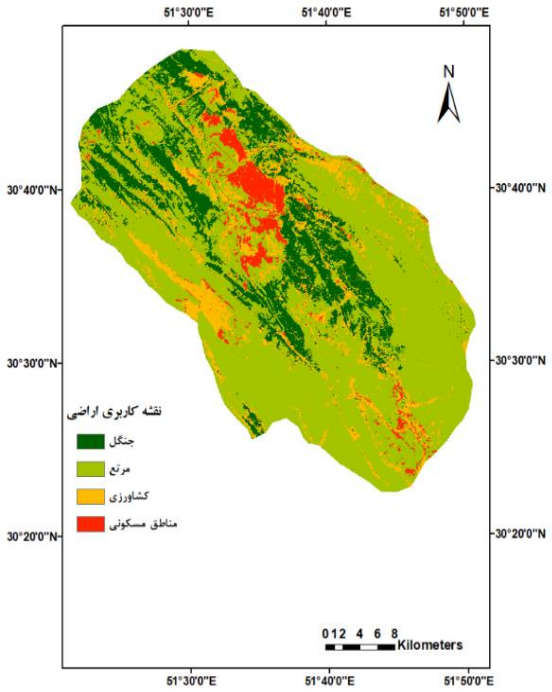
Figure 3. Land cover/land use map of the study area in 2013

جدول ۲- مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش/کاربری اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۱۳

Table 2 - Area and percentage allocated to each land cover/land use class in the study area in 2013

کلاس پوشش/کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
جنگل	25198.37	20.3
مرتع	86947.38	70.06
کشاورزی	7615.36	6.13
مناطق مسکونی	4341.87	3.49
مجموع	124103	100

در سال ۲۰۲۵ روند کاهش کاربری‌های طبیعی با شدت بیشتری ادامه یافته است. سهم کاربری مرتع به ۶۳/۹۲ درصد کاهش پیدا کرده که افت قابل‌توجهی نسبت به سال‌های گذشته دارد. همچنین، مساحت جنگل با ۱۸/۲۹ درصد کاهش بیشتری را تجربه کرده است که بیانگر تداوم فشار انسانی بر منابع جنگلی منطقه است. در مقابل، کاربری کشاورزی با افزایش چشمگیر به ۱۳/۱ درصد رسیده که نشان‌دهندهٔ تبدیل بخش قابل توجهی از اراضی طبیعی به اراضی زراعی است. مناطق مسکونی نیز با ۴/۶۸ درصد رشد بیشتری نسبت به سال‌های قبل داشته‌اند که بیانگر گسترش کالبدی شهر و افزایش تقاضا برای سکونت است. به‌طور کلی، الگوی پوشش/کاربری اراضی در این سال نشان‌دهندهٔ تشدید فرآیند شهرنشینی و کاهش پایداری اکولوژیک منطقه است. در شکل ۴، نقشهٔ پوشش/کاربری اراضی حومهٔ شهر یاسوج و در جدول ۳، مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش/کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵ نشان داده شده است.



شکل ٤- نقشهٔ پوشش/کاربری اراضی منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵

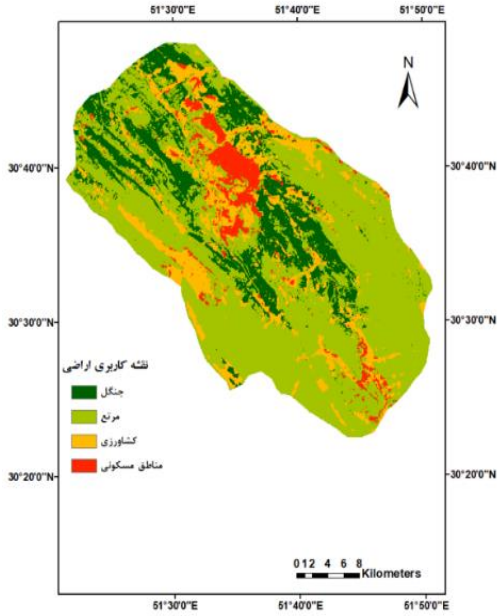
Figure 3. Land cover/land use map of the study area in 2025

جدول ۳- مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش/کاربری اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵

Table 3 - Area and percentage allocated to each land cover/land use class in the study area in 2025

کلاس پوشش/کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
جنگل	22706.46	18.29
مرتع	79333.65	63.92
کشاورزی	16258.41	13.1
مناطق مسکونی	5804.46	4.68
مجموع	124103	100

نقشه‌های پیش‌بینی پوشش/کاربری اراضی: در افق زمانی ۲۰۳۷ کاربری مرتع با ۶۰/۹۷ درصد همچنان کاربری غالب منطقه باقی می‌ماند، اما کاهش مستمر آن نسبت به دوره‌های قبل ادامه دارد. سهم جنگل به ۱۸/۱۳ درصد کاهش یافته که نشان‌دهندهٔ تداوم روند تخریب یا تبدیل اراضی جنگلی است. در مقابل، کاربری کشاورزی با افزایش به ۱۵/۱۴ درصد بیشترین رشد نسبی را در میان کاربری‌ها نشان می‌دهد که بیانگر گسترش فعالیت‌های زراعی در آینده است. همچنین، مناطق مسکونی با ۵/۷۵ درصد افزایش قابل‌توجهی را تجربه کرده‌اند که نشان‌دهندهٔ گسترش فیزیکی شهر و افزایش فشار جمعیتی بر اراضی اطراف است. این نتایج حاکی از آن است که در صورت عدم مدیریت مناسب، روند توسعه می‌تواند منجر به کاهش بیشتر منابع طبیعی منطقه شود. در شکل ۵، نقشهٔ پیش‌بینی شدهٔ پوشش/کاربری اراضی حومهٔ شهر یاسوج و در جدول ۴ مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش/کاربری اراضی پیش‌بینی شده در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۳۷ ارائه شده است.



شکل ۵– نقشهٔ پیش‌بینی شده پوشش/کاربری اراضی منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۳۷
Figure 4. Predicted land cover/land use map of the study area in 2037

جدول ٤– مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس کاربری اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۳۷
Table 4. Area and percentage allocated to each land use class in the study area in 2037

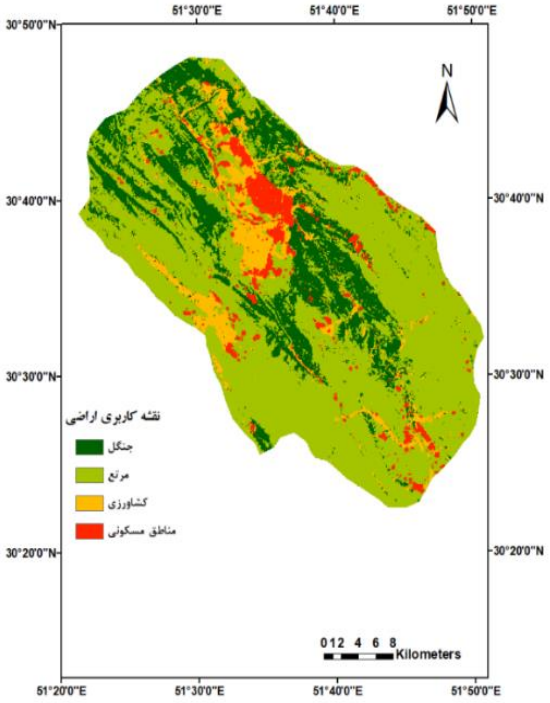
کلاس پوشش/کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
جنگل	22507.11	18.13
مرتع	75665.16	60.97
کشاورزی	18790.16	15.14
مناطق مسکونی	7140.06	5.75
مجموع	124103	100

اعتبارسنجی طبقه‌بندی: می‌توان گفت که دقت کلی (Overall Accuracy) نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده در هر سه سال مورد بررسی قابل قبول است؛ به‌طوری‌که این شاخص از ۸۵/۵ درصد در سال ۲۰۰۱ به ۸۷ درصد در سال ۲۰۲۵ افزایش یافته است. همچنین مقدار ضریب کاپا در تمامی سال‌ها بیشتر از ۸۰ درصد است که نشان‌دهندهٔ توافق قوی بین نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده و داده‌های مرجع می‌باشد. روند افزایشی هر دو شاخص بیانگر بهبود کیفیت طبقه‌بندی در طول زمان و اطمینان‌پذیری زیاد نتایج استخراج شده از تصاویر و داده‌های مورد استفاده در این پژوهش است. در جدول ۵، نتایج اعتبارسنجی نقشه‌های طبقه‌بندی شده ارائه شده است.

جدول ۵- اعتبارسنجی طبقه‌بندی
Table 5. Classification validation

سال	صحت کلی	ضریب کاپا
2001	85.5 Percentage	0.81
2013	85.5 Percentage	0.82
2025	87 Percentage	0.84

ارزیابی مدل: نتایج پیش‌بینی‌شدهٔ پوشش/کاربری اراضی در سال ۲۰۲۵ تطابق بالایی با وضعیت واقعی این سال دارد که نشان‌دهندهٔ دقت مناسب مدل مورد استفاده در پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری اراضی است به‌طوری که کاربری مرتع با ۶۳/۸۷ درصد همچنان بیشترین سهم را دارد، اما کاهش آن نسبت به سال‌های قبل ادامه یافته است. سهم جنگل برابر با ۱۸/۳۴ درصد برآورد شده که تغییر اندکی نسبت به وضعیت موجود دارد. کاربری کشاورزی با ۱۳ درصد و مناطق مسکونی با ۴/۷۱ درصد روند افزایشی خود را حفظ کرده‌اند. در شکل ۶، نقشهٔ پیش‌بینی شدهٔ پوشش/کاربری اراضی حومهٔ شهر یاسوج و در جدول ۶ مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش/کاربری اراضی پیش‌بینی شده در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵ نشان داده شده است.



شکل ٦- نقشهٔ پیش‌بینی شدهٔ کاربری اراضی منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵
Figure 5. Predicted land use map of the study area in 2025

جدول ٦- مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس کاربری اراضی پیش‌بینی شده در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵
Table 6. Area and percentage allocated to each predicted land use class in the study area in 2025

کلاس پوشش/کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
جنگل	22767.08	18.34
مرتع	79265.16	63.87
کشاورزی	16128.41	13
مناطق مسکونی	5852.33	71.4
مجموع	124103	100

براساس جدول ۷، مقادیر بالای شاخص‌های کاپا نشان‌دهندهٔ عملکرد مناسب مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش زمین است. مقدار Kappa for no information برابر با ۰/۸۹ بیانگر توانایی بالای مدل نسبت به حالت تصادفی است. شاخص Klocation با مقدار ۰/۸۷ نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از سلول‌های پیش‌بینی‌شده، از نظر مکانی در موقعیت صحیح خود نسبت به نقشهٔ واقعی قرار گرفته‌اند. همچنین مقدار Kappa for location strata برابر با ۰/۶۵ حاکی از دقت قابل قبول مدل در پیش‌بینی طبقهٔ کاربری صحیح سلول‌ها در هر پهنهٔ مکانی است. در نهایت مقدار K standard معادل ۰/۸۳ تأیید می‌کند که مدل شبکهٔ خودکار مارکف از صحت و اعتبار بالایی برای شبیه‌سازی فضایی در این مطالعه برخوردار است. در جدول ۷، شاخص‌های اعتبارسنجی مدل شبکهٔ خودکار مارکف نشان داده شده است.

جدول ۷- شاخص‌های اعتبارسنجی مدل شبکه خودکار مارکف

Table 7. Validation indicators of the Markov chain automatic model

سال	شاخص‌های اعتبارسنجی مدل شبکهٔ خودکار مارکف			
	Kappa for no information (K no)	Kappa for Location (K location)	Kappa for Location strata	Kappa standard (K standard)
2025	0.89	0.87	0.65	0.83

تغییرات پوشش/کاربری اراضی: براساس جدول‌های بالا، الگوی تغییرات پوشش/کاربری اراضی در حومهٔ شهر یاسوج در تمام دوره‌های زمانی مورد بررسی، تابعی از فرآیند رشد شهری افقی و نفوذ تدریجی شهر به اراضی پیرامونی بوده است. در هر سه بازهٔ زمانی، کاهش پیوستهٔ کاربری‌های طبیعی شامل جنگل و مرتع، در مقابل افزایش مداوم کاربری‌های انسان‌ساخت به‌ویژه مناطق مسکونی و کشاورزی مشاهده می‌شود که بیانگر غلبهٔ توسعهٔ کالبدی بر ملاحظات محیط‌زیستی در مدیریت فضایی منطقه است. در دورهٔ زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳، اگرچه میزان تغییرات از نظر درصدی نسبتاً محدود است، اما جهت تغییرات کاملاً معنی‌دار و هشداردهنده است. کاهش جنگل و مرتع در این دوره همزمان با افزایش محسوس مناطق مسکونی نشان‌دهندهٔ آغاز شکل‌گیری الگوی پراکندگی شهری و رشد سکونتگاه‌های حاشیه‌ای است. این مرحله را می‌توان دورهٔ «شروع نفوذ کالبدی شهر» دانست که در آن توسعه عمدتاً بدون چارچوب مشخص و کنترل مؤثر پوشش/کاربری زمین صورت گرفته و زمینه‌ساز تغییرات شدیدتر در دوره‌های بعدی شده است. در دورهٔ ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۵، شدت و شتاب تغییرات پوشش/کاربری اراضی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است، کاهش چشمگیر مرتع و جنگل در این بازهٔ زمانی، همزمان با افزایش قابل‌توجه کشاورزی و مناطق مسکونی، نشان‌دهندهٔ مرحله‌ای از توسعهٔ ناپایدار و مصرف‌گرای زمین است. این دوره بیانگر گسترش رشد افقی شهر، افزایش فاصلهٔ میان محل سکونت و خدمات و فشار مضاعف بر زیرساخت‌های شهری است. توسعهٔ سکونتگاه‌ها در این مرحله بیش از آنکه حاصل سیاست‌های برنامه‌ریزی‌شده باشد، تابع تقاضای زمین، رشد جمعیت و ضعف ابزارهای کنترلی در طرح‌های گسترش شهری بوده است. در دورهٔ ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۷، اگرچه شدت درصدی تغییرات نسبت به دورهٔ قبل اندکی کاهش یافته، اما جهت تغییرات همچنان ثابت باقی مانده است. تداوم کاهش کاربری‌های طبیعی و افزایش کاربری‌های مسکونی و کشاورزی نشان می‌دهد که الگوی توسعه تثبیت شده و به مرحله‌ای از «نهادینه‌شدن پراکندگی شهری» رسیده است، این وضعیت بیانگر آن است که در صورت عدم مداخلهٔ مؤثر، توسعهٔ آینده نیز به‌صورت پراکنده، کم‌تراکم و پرهزینه ادامه خواهد یافت و بازگشت به الگوی توسعهٔ پایدار دشوارتر خواهد شد. در مجموع تغییرات پوشش/کاربری اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه نه‌تنها نتیجه رشد جمعیتی، بلکه بازتابی از ضعف نظام برنامه‌ریزی فضایی، نبود مرز رشد شهری و عدم یکپارچگی میان سیاست‌های گسترش شهری و مدیریت اراضی است. ادامهٔ این روند می‌تواند منجر به از دست رفتن اراضی با ارزش اکولوژیک، کاهش کیفیت محیط شهری، افزایش هزینه‌های مدیریت شهری و تشدید ناپایداری فضایی شود. در جدول‌های ۸ تا ۱۰ تغییرات پوشش/کاربری اراضی به‌ترتیب در دوره‌های زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳، ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۵ و ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۷ نشان داده شده است.

جدول ۸– تغییرات پوشش/کاربری اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه در دورهٔ ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳

Table 8. Land cover/land use changes in the study area during the period 2001 to 2013

کلاس کاربری	سال 2001		سال 2013		مساحت تغییرات	درصد تغییرات	روند تغییرات
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد			
جنگل	25820.1	20.8	25198.37	20.3	621.37	0.5	کاهشی
مرتع	89171.17	71.85	86947.38	70.06	2223.81	0.79	کاهشی
کشاورزی	7135.02	5.75	7615.63	6.13	480.34	0.38	افزایشی
مناطق مسکونی	1976.67	1.59	4341.87	3.49	2365.2	1.9	افزایشی

جدول ۹– تغییرات پوشش/کاربری اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه در دوره‌ی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۵

Table 9. Land cover/land use changes in the study area during the period 2013 to 2025

کلاس کاربری	سال 2013		سال 2025		مساحت تغییرات	درصد تغییرات	روند تغییرات
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد			
جنگل	25198.37	20.3	22706.46	18.29	2491.91	2.01	کاهشی
مرتع	86947.38	70.06	79333.65	63.92	7613.73	6.14	کاهشی
کشاورزی	7615.36	6.13	16258.41	13.1	8643.05	6.97	افزایشی
مناطق مسکونی	4341.87	3.49	5804.46	4.68	1462.59	1.19	افزایشی

جدول ۱۰– تغییرات پوشش/کاربری اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه در دوره‌ی ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۷

Table 10. Land cover/land use changes in the study area during the period 2025 to 2037

کلاس کاربری	سال 2025		سال 2037		مساحت تغییرات	درصد تغییرات	روند تغییرات
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد			
جنگل	22706.46	18.29	22507.11	18.13	199.35	0.16	کاهشی
مرتع	79333.65	63.92	75665.16	60.97	3668.49	2.95	کاهشی
کشاورزی	16258.41	13.1	18790.65	15.14	2532.24	2.04	افزایشی
مناطق مسکونی	5804.46	4.68	7140.06	5.75	1335.6	1.07	افزایشی

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل پوشش/کاربری اراضی در حومهٔ شهری یاسوج در بازهٔ زمانی ۲۰۰۱، ۲۰۱۳، ۲۰۲۵ و ۲۰۳۷ حاکی از آن است که در تحلیل پوشش/کاربری اراضی در سال ۲۰۰۱، حومهٔ شهر عمدتاً تحت حداقل مداخلهٔ انسانی قرار داشته و ساختار فضایی منطقه مبتنی بر فرآیندهای طبیعی و اکولوژیک بوده است. سهم غالب مرتع و جنگل، بیانگر ظرفیت بالای اکولوژیک و فرصت مناسب برای هدایت توسعهٔ شهری به‌صورت پایدار است، در حالی‌که سهم محدود مناطق مسکونی حاکی از تمرکز توسعه در محدودهٔ شهر اصلی و فقدان پراکنش کالبدی در حومه است. این شرایط نشان می‌دهد که در آن مقطع، برنامه‌ریزی شهری می‌توانست از ظرفیت‌های طبیعی بهره‌برداری کند و توسعهٔ حومه را به‌صورت هوشمند و کنترل‌شده هدایت نماید. در سال ۲۰۱۳، کاهش نسبی کاربری‌های طبیعی و افزایش کاربری‌های انسانی نشانه ورود منطقه به مرحلهٔ گذار توسعهٔ شهری است. افزایش سهم مناطق مسکونی و رشد کاربری کشاورزی، حاکی از فشار جمعیتی، مهاجرت به حومه و آغاز پراکنش شهری است. این روند، ضعف ابزارهای کنترل کاربری اراضی و نبود سیاست‌های یکپارچهٔ مدیریت رشد شهری را آشکار می‌سازد و در صورت تداوم، می‌تواند به توسعهٔ نامتوازن، افزایش هزینه‌های خدمات شهری و تخریب اراضی با ارزش اکولوژیک منجر شود. تحلیل روند تغییرات در سال ۲۰۲۵ نشان می‌دهد که توسعهٔ کالبدی حومه به شکل افزایش نفوذ شهر در اراضی پیرامونی و کاهش محسوس مرتع و جنگل همراه با افزایش کشاورزی و مناطق مسکونی ادامه یافته است. پیش‌بینی سال ۲۰۳۷ نشان‌دهندهٔ افزایش چشمگیر سهم مناطق مسکونی و گسترش گستردهٔ سکونتگاه‌ها در حومه است که می‌تواند به تشدید پدیدهٔ پراکنده‌روی شهری و رقابت شدید میان کاربری‌های شهری، کشاورزی و اراضی طبیعی منجر شود. کاهش مستمر جنگل و مرتع تهدیدی جدی برای پایداری محیطی، تعادل اکولوژیک و کیفیت زندگی شهری است و ضرورت اتخاذ رویکردهای توسعهٔ فشرده، حفظ کمربندهای سبز و کنترل توسعهٔ بی‌رویهٔ حومه را

برجسته می‌سازد. بررسی روند کلی تغییرات پوشش/کاربری اراضی در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد که گسترش فضای شهری در حومهٔ شهر یاسوج ماهیتی تدریجی و مستمر داشته و با کاهش پیوسته کاربری‌های طبیعی همراه بوده است. افزایش مستمر مناطق مسکونی و پراکنش کالبدی، نشان‌دهندهٔ فقدان مرز مشخص گسترش فضای شهری، ضعف سیاست‌های مدیریت رشد و عدم ادغام ملاحظات محیط‌زیستی در تصمیم‌گیری‌ها است. از دیدگاه برنامه‌ریزی شهری، این روند می‌تواند پیامدهایی نظیر رشد افقی شهر، افزایش وابستگی به حمل‌ونقل شخصی و فشار بر زیرساخت‌ها و خدمات شهری، شکل‌گیری سکونتگاه‌های کم‌تراکم و ناپایدار، افزایش هزینه‌های مدیریت شهری، کاهش کارایی شبکه‌های خدماتی و تشدید نابرابری فضایی به‌دنبال داشته باشد. نتایج این پژوهش از نظر روند کلی تغییرات پوشش/کاربری اراضی و گسترش شهری با مطالعات پیشین همخوانی دارد. در همین راستا پژوهش‌های Rimal و همکاران (۲۰۲۵)، Mathanraj و همکاران (۲۰۲۱)، Alsharif و همکاران (۲۰۲۲) و Zandi و همکاران (۲۰۲۵) نشان می‌دهد که اراضی ساخته‌شده در طول زمان به‌صورت مستمر افزایش یافته و این روند در افق‌های آینده نیز تداوم خواهد داشت. کاهش کاربری‌های طبیعی و کشاورزی در مقابل رشد مناطق مسکونی، یکی از الگوهای مشترک میان پژوهش حاضر و مطالعات داخلی و خارجی است که بیانگر فشار فزایندهٔ گسترش فضای شهری بر اراضی پیرامونی و ضعف کنترل فضایی رشد شهرها می‌باشد. همچنین استفاده از مدل CA–Markov در تمامی این پژوهش‌ها، دقت بالای این مدل را در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری اراضی تأیید می‌کند. از منظر الگوی مکانی گسترش شهری نیز نتایج این تحقیق با پژوهش‌های Lu و همکاران (۲۰۲۳)، Rufino و همکاران (۲۰۲۱)، Rezaei و همکاران (۲۰۲۰) و Asadi و همکاران (۲۰۲۱) هم‌راستاست. افزایش پراکنش افقی، نفوذ تدریجی شهر به اراضی پیرامونی و کاهش انسجام فضایی توسعه، ویژگی‌هایی است که هم در حومهٔ شهری یاسوج و هم در سایر مطالعات گزارش شده است. این شباهت‌ها نشان می‌دهد که پدیده‌هایی مانند رشد سریع و پراکنده شهری، کاهش کارایی زیرساخت‌ها و افزایش فشار بر محیط‌زیست، صرف‌نظر از تفاوت مقیاس و موقعیت جغرافیایی، الگوهای مشترک گسترش شهری در بسیاری از شهرها هستند و نتایج پژوهش حاضر در چارچوب نظری و تجربی ادبیات موجود قابل تبیین و تأیید است. نتایج این پژوهش از طریق تلفیق رویکردهای برنامه‌ریزی شهری و مدیریت محیط‌زیست، کاربردی مستقیم در هدایت گسترش فضایی شهر یاسوج به‌سوی الگوهای پایدار دارد. شناسایی روند گسترش کالبدی حومه و کاهش تدریجی کاربری‌های طبیعی، امکان ادغام ملاحظات اکولوژیک در تصمیم‌گیری‌های فضایی و سیاست‌های مدیریت رشد شهری را فراهم می‌سازد؛ به‌گونه‌ای که برنامه‌ریزی کاربری اراضی نه‌تنها بر تأمین نیازهای سکونتی و خدماتی تمرکز داشته باشد، بلکه حفاظت از جنگل‌ها، مراتع و ظرفیت‌های محیط‌زیستی پیرامون شهر را نیز تضمین کند. این پژوهش با ارائهٔ پیش‌بینی‌های مکانی مبتنی بر مدل CA–Markov، می‌تواند مبنایی برای تعیین مرز گسترش شهری، حفظ کمربندهای سبز، کنترل پراکنده‌روی شهری و کاهش فشار بر منابع طبیعی باشد و در نهایت به ایجاد تعادل میان توسعهٔ کالبدی شهر و پایداری محیط‌زیست در چارچوب رشد هوشمند شهری کمک کند.

پیشنهادها

- استخراج الگوهای بومی گسترش شهری با انجام تحلیل‌های مقایسه‌ای چندمقیاسی میان شهر یاسوج و سایر شهرهای متوسط و کوچک ایران که دارای ویژگی‌های اکولوژیک مشابه هستند.
- ارزیابی پیامدهای بلندمدت توسعهٔ کالبدی با بررسی همزمان تغییرات پوشش/کاربری اراضی و شاخص‌های محیط‌زیستی شهر، از جمله جزایر حرارتی، پوشش گیاهی، فرسایش خاک و خطر سیلاب.
- استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای طبقه‌بندی دقیق‌تر پوشش/کاربری اراضی، پیش‌بینی تغییرات و شناسایی الگوهای پیچیدهٔ فضایی که با روش‌های سنتی قابل کشف نیستند.
- استفادهٔ همزمان از داده‌های کمی (نظیر آمار جمعیتی، نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی و تصاویر ماهواره‌ای) و داده‌های کیفی (مصاحبه با کارشناسان شهری، بررسی اسناد برنامه‌ریزی) برای درک دقیق‌تر از فرآیندهای گسترش شهری و پیامدهای آن.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه یاسوج انجام شد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیهٔ مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به‌طور کامل از اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد و نویسندگان در قبال ارائه خود وجهی دریافت ننموده‌اند.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان (نویسنده مسئول) قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائهٔ نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

References

Abadura, D.A., Sokido, D.L., 2024. The practice of urban planning in managing urban expansion: The case of level-I towns in southern Ethiopia. Landscape Architecture and Regional Planning 9(2), 38-53.

Albasri, N.A.H., Al-Jawari, S.M., Al-Mosherefawi, O.J., 2022. Prediction of Urban Spatial Changes Pattern Using Markov Chain. Civil Engineering Journal 8(4), 717-730.

Alsharif, A.A.A., Pradhan, B., Shafri, H.Z.M., 2022. Urban expansion and environmental sustainability assessment using remote sensing and GIS techniques. Environmental Monitoring and Assessment 194(5), 1-18.

Asadi, A., Akbari, A., Shafiei, N., 2021. Prediction of the physical development of Qaen city using satellite imagery. Geographical Data (Sepehr) 10(1), 67-84. (In Persian)

Bebi, B. B., Iyambo, S. N., 2025. A study of spatial and temporal variation of urban population growth in Windhoek, Namibia. Environmental Research Communications, 7,055012.

Bhushan, V., 2025. Assessing the effects of urban sprawl on local ecosystems and biodiversity. International Journal for Multidisciplinary Research, 7(4), Article IJFMR250454608.

Bueno-Suárez, C., Coq-Huelva, D., 2020. Sustaining what is unsustainable: A review of urban sprawl and urban socio-environmental policies in North America and Western Europe. Sustainability 12(11), 4445.

Cheng, J., Masser, I., 2004. Understanding Spatial and Temporal Processes of Urban Growth: Cellular Automata Modelling. Environment and Planning B: Planning and Design 31(6), 895-920.

Clark, W.A., Hosking, P.L., 1986. Statistical methods for geographers (Chapter 13), New York. John Wiley and Sons, 528 p.

Congalton, R.G., Green, K., 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices, Boca Raton: Lewis Publications.

Enoguanbhor, E. C., Gollnow, F., Walker, B.B., Nielsen, J.O., Lakes, T., 2021. Key challenges for land use planning and its environmental assessments in the Abuja city-region, Nigeria. Land 10(5), 443.

Farzin, M., Khazaei, M., 2021. Monitoring, forecasting, and analyzing the trend of 40 years of land cover/land use change around Yasuoj city, Iranian Journal of Forest 12(4), 525-539.

Fenta, A.A., Yasuda, H., Haregeweyn, N., Belay, A.S., Hadush, Z., Gebremedhin, M.A., Mekonnen, G., 2017. The dynamics of urban expansion and land use/land cover changes using remote sensing and spatial metrics: The case of Mekelle City of northern Ethiopia. International Journal of Remote Sensing 38(14), 4107–4129.

Festus, I.A., Omoboye, I.F., Andrew, O.B., 2020. Urban sprawl: Environmental consequence of rapid urban expansion. Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities 5(6), 110-120.

Jat, M. K., Garg, P. K., Khare, D., 2008. Modelling of urban growth using spatial analysis techniques: A case study of Ajmer city (India). International Journal of Remote Sensing 29(2), 543--567.

Kang, J., Fang, L., Li, S., Wang, X., 2019. Parallel cellular automata Markov model for land use change prediction over MapReduce framework. ISPRS International Journal of Geo-Information 8(10), 454.

Lu, H., Shang, Z., Ruan, Y., Jiang, L., 2023. Study on urban expansion and population density changes based on the inverse S-shaped function. Sustainability 15(13), 10464.

Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Cabral, P., Ali, A.A., Olafsson, H., Zhang, H., Krzyszczak, J., 2023. Investigation and prediction of the land use/land cover (LU/LC) and land surface temperature (LST) changes for Mashhad City in Iran during 1990-2030. Atmosphere 14(4), 741.

Mathanraj, S., Ling, T.Y., 2021. Assessment of urban growth and its environmental impacts using geospatial techniques. Sustainable Cities and Society 64, 102528.

Mostafa, E., Li, X., Sadek, M., Dossou, J.F., 2021. Monitoring and forecasting of urban expansion using machine learning-based techniques and remotely sensed data: A case study of Gharbia Governorate, Egypt. Remote Sensing 13(22), 4498.

Omidvar, K., Narengi Fard, M., Abasi, H., 2015. Detecting changes in land use and vegetation cover in Yasuj city using remote sensing, Journal: Geography and Urban-Regional Planning 5(16),111-126.

Pal, M., 2025. An investigation of urban expansion and environmental impacts in a Class I city of eastern India: A geospatial perspective. International Journal of Research Publication and Reviews 6(5), 12325-12334.

Pantiusjr, R.G., Spencer, J., 2005. Uncertainty in extrapolations of predictive land cover models. Environment and Planning and Design 33, 230-211.

Pilehvar, A.A., 2021. Spatial-geographical analysis of urbanization in Iran. Humanities and Social Sciences Communications 8(1), 63.

Rezaei, H., Karimi, S., Mohammadi, A., 2020. Examining the relationship between land use changes and geomorphological hazards using multi-criteria decision-making models (AHP and fuzzy). Journal of Geographical Sciences 19(74), 111-126. (In Persian)

Rimal, B., Sharma, R., Kunwar, R.M., Keshtkar, H., 2025. Urbanization-induced environmental challenges in mountainous regions: Implications for sustainable urban planning. Journal of Environmental Management 352, 120019.

Rimal, B., Zhang, L., Stork, N., Sloan, S., Rijal, S., 2017. Urban expansion occurred at the expense of agricultural lands in the Tarai region of Nepal from 1989 to 2016. Sustainability 9(6), 1-17.

Rufino, I., Djordjević, S., Costa de Brito, H., Alves, P. B. R., 2021. Multi-temporal built-up grids of Brazilian cities: How trends and dynamic modelling could help on resilience challenges? Sustainability 13(2), 748.

Salamatnia, A., Balist, J., Nahavandchi, M., 2025. Developing and accessing a sustainable strategy for Yasuj City: Integrating SWOT, Strategic Position, and Action Evaluation Matrix, and scenario planning. Urban Planning and Construction 3(1), 94-109.

Salman Mahiny, A., 2006. Refining of training samples in supervised classification of satellite imagery. A case study: Gorgan and suburbs. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. unpublished paper.14 p.

Salman Mahiny, A., Kamiab, H., 2010. Remote Sensing and Geographic Information Systems using IDRISI software. Office of Environmental.

Simon, O., Ngereja, Z.R., 2025. Drivers of informal settlement growth and land use change in Dar es Salaam: Insights from remote sensing and GIS (1995–2024). Journal of the Geographical Association of Tanzania 45(1), 23-43.

Xu, H., Wang, Y., Guan, H., Shi, T., Fang, C., 2022. Evaluation of ecological environment quality and its association with urbanization in China using remote sensing ecological index. Remote Sensing 14(2), 198.

Yuan, F., Sawaya, K.E., Loeffelholz, B.C., Bauer, M.E., 2005. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. Remote Sensing of Environment 98, 317-328.

Zandi, R., Shahriyar, F., Zanganeh, Y., Ckganeh, M., 2025. Assessment of suburban space development and prediction of land use changes (Case study: Torbat Heydarieh city). Journal of Suburban Space Development 1(7), 27-54. (In Persian)

Zhao, J., Xiao, L., Tang, L., Shi, L., Su, X., Wang, H., Song, Y., Shao, G., 2014. Effects of spatial form on urban commute for major cities in China. International Journal of Sustainable Development & World Ecology 21(6), 548-555.