Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences
rsgi.tabrizu.ac.ir

Modeling Urban Physical Expansion with Cellular Automaton Method (Case Study: Tabriz City)

Sana Foroughi[1*]

1. MSc. Department of remote sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz.Tabriz, Iran. E-mail: sanaforouqi@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 10 March 2025
Received in revised form: 22 April 2025
Accepted: 26 April 2025
Published online: 5 November 2025

Keywords:
CA_MARKOV,
Cellular automata,
Modeling,
Tabriz City.

ABSTRACT

Objective: Urban expansion is one of the complex and challenging issues in urban planning. Currently, cities are facing major developments such as population, population density, economic and social changes due to frequent changes and technological advancements. Cellular automata, as a powerful computer simulation method, is used to model and predict urban physical expansion. The aim of the present study is to use the cellular automata method to model and analyze the physical expansion of Tabriz. In this regard, the study aims to investigate the impact of various factors such as population growth, urban development, changes in urban structure density, and urban development policies on the physical growth of Tabriz using the Markov chain model. Using this method, it is possible to predict future changes in the city and analyze the impact of various urban development decisions on the city's physical structure. To achieve this goal, satellite images from 2017, 2019, 2021, and 2023 were first analyzed and classified using the maximum likelihood classification method. After this stage, land use maps of Tabriz city were extracted. The results of the change detection showed a significant expansion of residential areas and a significant decrease in wasteland and agricultural lands during this six-year period. These changes clearly indicate fundamental changes in the land use structure of Tabriz city and can be used as a basis for future planning and natural resource management in this region. The urban development trend forecast in 2033 was carried out using the Markov chain model with a kappa index of 81.14. The results of these analyses indicate that the Markov model has very good accuracy in simulating and predicting land use changes. In addition, the results obtained from the analyses performed using the models show that Tabriz city is progressing and expanding in a centralized and nuclear manner in different stages of its development and expansion. This progress is clearly visible in all directions and dimensions, indicating a growing trend and fundamental changes in the urban structure of this region. Therefore, emphasizing the use of more advanced models such as Markov chains can greatly help improve the accuracy of predictions and analyses related to land use changes. The results of this research can be used in urban planning and urban resource management decisions. Also, this research can contribute to sustainable development and improving the quality of life in Tabriz city.

Cite this article: Foroughi, S. (2025). Modeling Urban Physical Expansion with Cellular Automaton Method (Case Study: Tabriz City). *Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 5 (16), 19-29
http//doi.org/10.22034/rsgi.2025.66330.1123

© The Author(s).
Publisher: University of Tabriz.
DOI: http//doi.org/10.22034/rsgi.2025.66330.1123

Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences
rsgi.tabrizu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

In the present era, land use research plays a key role in urban design. The excessive development of urbanization in developing countries, such as Tabriz, has caused problems in the physical structure and irregular patterns of land use. In these societies, land use has been mainly shaped in an old-fashioned way and without prior planning, in accordance with the wishes of property owners. In recent years, the expansion and development of urban areas, especially in developing countries, has taken on an accelerated trend. This rapid growth has often been accompanied by unpleasant consequences such as damage to the ecosystem, loss of biodiversity, and the spread of slums (Kazem et al., 2015). It is estimated that by 2025, the vast majority of the world's population will reside in urban areas (Feng et al., 2009). Urban development, as a complex and self-governing complex, consists of nonlinear interactions between various factors. This trend is manifested by patterns of macro-spatial concentration and has a level of uncertainty that includes rapid and unexpected changes. Understanding this process in urban planning and management is of great importance in achieving a sustainable urban pattern. These policies seek to respond to new demands arising from the increasing concentration of population in cities. In this regard, predicting changes and trends towards development and expansion in the future is of particular importance. Urban modeling and simulation are key tools in this process. These tools help planners and decision-makers to evaluate the possible impacts of their policies on urban growth patterns by analyzing existing data and simulating different scenarios. The use of these methods can lead to improving the quality of life in cities, reducing environmental problems, and increasing the efficiency of infrastructure. As a result, the use of urban modeling and simulation as a strategic approach in urban planning helps to achieve sustainable development and optimal resource management. Today, spatial information systems and remote sensing technology are recognized as key tools in the process of urban development planning and management. These technologies, along with various urban development modeling methods, help planners to accurately analyze growth patterns and spatial changes. Urban development maps, as one of the results of these technologies, can provide valuable information about the existing structures and future needs of cities. These maps allow urban planners to effectively determine the growth path of the city and its infrastructure and make better decisions in the field of resource allocation and infrastructure development. As a result, the integration of spatial information systems and remote sensing with urban development models helps to improve the quality of urban planning and management and leads to the realization of sustainable and efficient development in cities. Cellular automata have emerged as a powerful tool for simulating urban growth due to their ability to model complex spatial dynamics and emergent behaviors. These models operate on a network in which each cell represents a specific type of use and the state of each cell evolves according to predefined rules influenced by neighboring cells. The flexibility of the automata allows them to incorporate various factors such as land use policies, access, and environmental constraints, making them suitable for urban planning and management (Abolhasani, 2016).

Therefore, researchers, architects, professionals, and policymakers in the fields of environmental management, natural resources, and urban planning increasingly require accurate data on functional developments and urban development to adopt effective solutions and provide practical suggestions for the future. This accurate and up-to-date information forms the basis for informed decision-making and the design of efficient strategies for the optimal management of urban growth and the protection of natural resources.

Data and Method

Study Area

The city of Tabriz, with an area of 244.51 square kilometers (and an urban area of 1014.45 square kilometers), is known as the third largest city in Iran in terms of area, after Tehran and Mashhad. The city is located at 46.25 degrees east longitude and 38.2 degrees north latitude from the Greenwich meridian, and its altitude varies between 1300 and 2100 meters above sea level. According to the census statistics of 1395 solar year, the population of Tabriz was 1,584,855 people (within the city limits: 1,727,476 people) and increased to 1,643,960 people in 2022; this indicates Tabriz's fifth position as the most populous city in Iran and also its 344th global rank in terms of population. Tabriz city is bordered by Varzeghan city to the north, Maragheh city to the south, Haris and Bostan Abad cities to the east, and Osku and Shabestar cities to the west. The location of the study area can be seen in Figure (1).

In this study, OLI sensor data for the years 2017, 2019, 2021, and 2023 were used to extract land use maps (Figure 2). In such a way that a 6-year period has been considered. These images have suitable conditions in terms of lack of cloud cover and precipitation before recording. Due to the presence of mountainous areas around the city of Tabriz, which may cause errors in classification, some areas were excluded from the region boundary.

Satellite Imagery Preprocessing and Classification

Satellite image preprocessing refers to the initial steps taken to correct various distortions in raw image data before further analysis. This process is crucial to ensure the accuracy and usability of satellite images in applications such as change detection, object recognition, and image classification. Preprocessing steps enhance the quality of satellite images and make them suitable for further analysis, such as classification and feature extraction. Techniques such as principal component analysis and normalized difference vegetation index (NDVI) are often used after preprocessing to analyze specific features such as vegetation cover (Navin, 2020). Preprocessing includes geometric, radiometric, and atmospheric correction. In this study, after performing atmospheric corrections and corrections using the FLAASH method, the images were highlighted, spectral indices were calculated, and images were classified using the maximum likelihood method.

Preparation of different land use layers

With a detailed understanding of the region, the existing land uses were divided into four categories including urban areas, barren lands, vegetation and agricultural lands. After the satellite image interpretation operation was completed, the additional steps included assigning appropriate colors to the map classes, removing common boundaries between polygons with the same land use using the Dissolve function in the GIS environment, and assigning appropriate codes to each class in the produced maps. Finally, the land use maps were prepared.

Estimating the accuracy of the produced maps

Estimating the accuracy is of great importance in order to better understand the results obtained and use these results in decision-making processes. Usually, the parameters related to determining accuracy include overall accuracy, producer accuracy, user accuracy, kappa coefficient, overall kappa, user error, producer error and overall error (Peters, 1991). After preparing land cover maps from satellite images, it is necessary to evaluate their accuracy to determine how well the produced map matches the ground realities. The classification accuracy of the classified images was calculated using the Kappa index and based on formula (1) presented in the following equation.

Modeling with CA-Markov Model

The cellular Markov automaton (CA_Markov) model is a hybrid modeling approach that combines cellular automata and Markov chain processes to simulate land use and land cover changes over time. The model is particularly useful for predicting spatial changes in land use by considering the probabilities of land cover transitions and spatial landscape characteristics. The model uses historical land cover data to create a matrix that specifies the probability of changes between different land cover types at specified time intervals (Pontius, 2005). CA-Markov helps analyze the complex behavior of land use systems and can simulate the interactions between different land use types. The Markov chain model is known as an effective method for modeling the temporal and spatial dynamics of land cover and use changes, and geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) data can be efficiently used in this process (Gordon and Meentemeyer, 2006). To monitor spatial patterns of land cover and use in Tabriz city, first a Markov chain model was used to create a matrix of transition probability and area of changes of various land cover classes, which provides more accurate information about the transition between different classes. After that, land cover change prediction was performed using the CA-Markov model based on the transition probabilities obtained from the Markov chain analysis, which allows for the preparation of a map of land cover simulation in the future.

Validation of Modeled Maps

Evaluation of modeled maps using the error matrix, also known as the confusion matrix, is a standard method for assessing the accuracy of thematic maps. This approach provides a quantitative measure of the degree to which map classifications match reference data. In recent research, CA models are usually validated by comparing simulated output with real observations (using comparative, visual, and error and confusion matrices) (Sante et al., 2010). Therefore, in this study, methods such as the kappa index and the error matrix have been used to evaluate the model.

Results and Discussion

Land Use Change Map

The results obtained from measuring the area of land uses in the study area in specific time intervals are presented in Table (2) and Figure (3). These results show that in the first two years, the area of land under vegetation, urban areas and agricultural lands increased, while wasteland, rangelands and watersheds decreased. Since 2019, except for residential areas that have grown, other lands, especially vegetation, agricultural lands and wasteland, have experienced a significant decrease. In general, during the years under study, the area of residential areas has increased by about 2 thousand hectares, which shows an increase compared to the first year, which was 14,525 hectares. In contrast, vegetation has decreased from 6 hectares to 5 hectares since 2017. Also, watersheds and rangelands have not changed much over the years.

The assessment of land use changes between 2017 and 2023 showed an increase in area in urban and residential areas by approximately (1700 hectares), pastures (141 hectares) and a decrease in area in barren lands (1000 hectares), vegetation (0.7 hectares), water areas (0.7 hectares), and agricultural lands (793 hectares). As can be seen in Table (2), the largest increase in area has occurred in urban areas. These areas have allocated 1746.9 hectares of other land uses during the 8-year period, the largest amount of which includes 670 hectares of pastures, 570 hectares of agricultural lands, and 480 hectares of barren lands. The results of land use changes in the years under review can also be seen in the form of a graph. These results show that Tabriz city has developed rapidly due to increased migration and fundamental changes have been made in its internal structure and texture. Also, these changes have had significant impacts on agricultural and wasteland lands. In addition, during the mentioned period, agricultural lands have decreased in area, most of which has been occupied by built-up areas.

Evaluation of the CA_MARKOV model

Land cover maps for the years 2017 and 2019 were used to predict the land cover status in 2021. This was done to examine the efficiency and validity of the model in forecasting and modeling using maps produced by the Markov chain model and actual land cover maps. To create the 2021 land use forecast map, the 2017 and 2019 land use maps and the area transfer probability matrix that was previously created with the MARKOV tool were combined using the CA spatial mechanism to predict the 2021 land use map in the TerrSet environment. The kappa coefficient calculated from the error matrix between the map obtained from modeling and the land use map (Figure 3) of 2021 was 81.14%. Also, the difference between the predicted and processed area in 2021 is shown in Table (3).

Land cover maps for 2017 and 2023 were used to estimate the land cover status in 2033. As can be seen in Table (4) and Figure (5) comparing 2023 and 2033, except for the urban land use area, which has increased significantly, the rest of the land uses will decrease in 2033. Rangeland, agricultural land, and barren land land uses will decrease more than watershed and vegetation land uses. In general, what is clear from this simulation is that due to the increase in population in Tabriz city in 2033, the area of urban land will increase. Table (5) also shows the area of land uses predicted in 2033 using CA_MARKOV.

Conclusion

In this study, in order to clarify the changes, the post-classification comparison method and horizontal tabulation were used. The assessment of land use changes between 2017 and 2023 showed an increase in area in urban and residential areas by approximately 1700 hectares, rangelands by 141 hectares, and a decrease in area in barren lands by 1000 hectares, vegetation by 0.7 hectares, water area by 0.7 hectares, and agricultural lands by 793 hectares. The study concluded that the largest increase in area occurred in urban areas. These areas have allocated about 1746.9 hectares of other land uses during the 8-year period, of which the largest share includes 670 hectares of rangelands, 570 hectares of agricultural lands, and 480 hectares of barren lands. The results of land use changes in the years under study show that Tabriz city has developed rapidly due to increased immigration and fundamental changes have been made in its internal structure and texture. In many previous studies that have analyzed the physical development of cities, only the trend of this development has been examined in a specific time period, and in many of these studies, the physical development of cities has been evaluated up to the present. In the present study, in addition to evaluating the physical development trend of Tabriz city in four time periods corresponding to the years 2017, 2019, 2021, and 2023 using the Markov chain model, its development has also been predicted until 2033. Also, the physical development of the study area in

relation to the geomorphological condition of the region has been examined. Also, in the results of this study, the changes have had significant effects on agricultural lands and wastelands. In addition, in the aforementioned period, agricultural lands have decreased in area, most of which has been occupied by built-up areas. Given that preventing the expansion of residential land as a response to population growth and the one-way flow of migration from villages to cities for settlement and employment creation and economic growth seems to be an inevitable process, providing appropriate management solutions, such as the establishment and development of industrial estates and the identification and location of new areas for urban and industrial development, is absolutely necessary. Tabriz city is expanding in a concentrated manner and in all directions at various stages of its growth.

The CA-Markov model, which is a combination of two Markov chain and autonomous cell models, is widely used to predict land use changes. This model helps to analyze and simulate spatial and temporal changes in land use and is especially important in studies related to natural resource management and urban planning. This model is a powerful tool for predicting and analyzing land use changes that, by combining the features of Markov chain and autonomous cells, allows for a more detailed examination of spatial and temporal trends. This model has many applications, especially in the fields of natural resource management and urban planning. Based on the results obtained from this study, a comparison was made between the simulated map and the reference map extracted from the 2021 image classification to examine the capability of the CA-Markov model. This comparison showed the accuracy and precision of the combined model of autonomous cells and Markov chain in predicting future land use changes. In particular, the calculated Kappa index for this model was 81.14, indicating its high capability in simulating and predicting land use changes. These findings clearly show that the CA-Markov model can be used as an effective tool in analyzing and predicting future developments in the field of land use..

References

Ghanbari, A., & Heydarinia, S. A. (2016). Land management and urban network analysis of Hamadan province (1976-2011). Retrieved from https://civilica.com/doc/1808208 (in Persian)

Karimzadeh Motlagh, Z., Lotfi, A., Pourmanafi, S., & Ahmadizadeh, S. S. R. (2022). Evaluation and prediction of land use changes using CA_Markov model. Journal of Geography and Regional Planning, 33(2), 67-84. https://doi.org/10.22108/gep.2022.131858.1525 (in Persian)

Kazem, A. H., Hosseinali, F., & Alesheikh, A. A. (2015). Urban growth modeling using medium resolution satellite imagery based on cellular automata (Case study: Tehran). Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 24(94), 45-58. https://doi.org/10.22131/sepehr.2015.14476 (in Persian)

Maleki, M., Malekani, L., & Valizadeh Kamran, K. (2019). Modeling the occurrence and spread of fire front using cellular automata method (Case study: Arasbaran protected area). Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources, 37(1), 1-15. https://doi.org/10.22059/jne.2020.286679.1785 (in Persian)

Mirakhourlo, M. S., & Rahimzadegan, M. (2018). Land use change modeling using Markov-cellular automata model and multi-criteria decision making in Talar watershed. Journal of Geomatics Science and Technology, 8(1), 85-99. https://doi.org/10.22108/gep.2022.130601.1458 (in Persian)

Nazemfar, R., Mohammadzadeh, P., & Ghanbari, A. (2013). Residential location choice by households in Tabriz city. In National Conference on Sustainable Architecture and Urban Development, Bukan, Iran. https://civilica.com/doc/214227 (in Persian)

Rezazadeh, R., & Mirahmadi, M. (2009). Cellular automata model, a new approach in urban growth simulation. Technology of Education Journal, 4(1), 47-55. https://sid.ir/paper/155505/fa (in Persian)

Abolhasani, S., Taleai, M., Karimi, M., & Rezaee Node, A. (2016). Simulating urban growth under planning policies through parcel-based cellular automata (ParCA) model. International Journal of Geographical Information Science, 30(11), 2276-2301. https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1184271

Duan, Y. (2014). Relative radiometric correction methods for remote sensing images and their applicability analysis. National Remote Sensing Bulletin, 3(2), 24-32. https://doi.org/10.11834/jrs.20143204

Feng, L., Xusheng, L., Dan, H., Rusong, W., Wenrui, Y., Dong, L., & Dan, Z. (2009). Measurement indicators

and an evaluation approach for assessing urban sustainable development: A case study for China's Jining City. Landscape and Urban Planning, 90(3-4), 134-142. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.11.007

Gordon, E., & Meentemeyer, R. K. (2006). Effects of dam operation and land use on stream channel morphology and riparian vegetation. Geomorphology, 82(3), 412-429. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.001

Hasegawa, M., Kishino, H., & Saitou, N. (1991). On the maximum likelihood method in molecular phylogenetics. Journal of Molecular Evolution, 32(5), 443-445. https://doi.org/10.1007/BF02101285

Li, J., Pei, Y., Zhao, S., Xiao, R., Sang, X., & Zhang, C. (2020). A review of remote sensing for environmental monitoring in China. Remote Sensing, 12(7), 1130. https://doi.org/10.3390/rs12071130

Navin, M. S., Agilandeeswari, L., & Anjaneyulu, G. S. G. N. (2020). Dimensionality reduction and vegetation monitoring on LISS III satellite image using principal component analysis and normalized difference vegetation index. In 2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE) (pp. 1-6). https://doi.org/10.1109/ic-ETITE47903.2020.466

Otgonbayar, M., Badarifu, T., Ranatunga, T., Onishi, T., & Hiramatsu, K. (2018). Cellular automata modelling approach for urban growth. Robotics and Autonomous Systems, 6, 93-104. https://doi.org/10.7831/RAS.6.93-104

Peters, G. A. (1991). Azolla and other plant-cyanobacteria symbioses: Aspects of form and function. Plant and Soil, 137(1), 25-36. https://doi.org/10.1007/BF02101285

Pontius, R. G., & Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. International Journal of Geographical Information Science, 19(2), 243-262. https://doi.org/10.1080/13658810410001713434

Ranneby, B. (2016). The maximum spacing method: An estimation method related to the maximum likelihood method. Scandinavian Journal of Statistics. https://doi.org/10.1002/sjss.2016.691c48e38ca53297fef723dfb6ee858454972010

Rumora, L., Miler, M., & Medak, D. (2020). Impact of various atmospheric corrections on Sentinel-2 land cover classification accuracy using machine learning classifiers. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(4), 277. https://doi.org/10.3390/ijgi9040277

Shimizu, E. (2019). Satellite remote sensing. In Dictionary of geotourism (pp. 2152). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2538-0_2152

Wang, S., Zheng, X., & Zang, X. (2012). Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. Procedia Environmental Sciences, 13, 1238-1245. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.114

Ye, B., & Bai, Z. (2007). Simulating land use/cover changes of Nenjiang County based on CA-Markov model. In Computer and Computing Technologies in Agriculture, Volume I (pp. 321–329). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6320-6_40

UnitedNations, (2014). Human Development Report, New York: 10017.

نشریه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی
rsgi.tabrizu.ac.ir

مدلسازی گسترش کالبدی شهری با روش اتوماتای سلولی (مطالعه موردی: شهر تبریز)

سنا فروغی[1*]

۱. کارشناسی ارشد، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: sanaforouqi@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴

کلیدواژه‌ها:
زنجیره مارکوف، اتوماتای سلولی، مدلسازی، شهر تبریز

چکیده

گسترش شهری یکی از مسائل پیچیده و چالش‌برانگیز در برنامه‌ریزی شهری است. در حال حاضر، شهرها با تغییرات مکرر و پیشرفت فناوری با تحولات عمده از جمله جمعیت، تراکم جمعیتی، تغییرات اقتصادی و اجتماعی روبرو هستند. اتوماتای سلولی به عنوان یک روش شبیه‌سازی کامپیوتری قدرتمند، برای مدلسازی و پیش‌بینی گسترش کالبدی شهری استفاده می‌شود. هدف از تحقیق حاضر، با استفاده از روش اتوماتای سلولی در جهت مدلسازی و تحلیل کالبدی شهر تبریز میباشد. در این راستا به تحقیق بررسی تأثیر عوامل مختلف مانند رشد جمعیت، توسعه شهری، تغییرات در تراکم ساختار شهری و سیاست‌های شهرسازی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف بر رشد کالبدی شهر تبریز است. با استفاده از این روش، می‌توان تغییرات آینده شهر را پیش‌بینی کرده و تأثیر تصمیمات مختلف شهرسازی را بر روی کالبد شهر تحلیل کرد. برای دستیابی به این هدف، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۳ با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال تحلیل و طبقه‌بندی شدند. پس از این مرحله، نقشه‌های کاربری اراضی شهر تبریز استخراج گردیدند. نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات نشان‌دهنده گسترش قابل توجه مناطق مسکونی و در عین حال کاهش چشمگیر در اراضی بایر و اراضی کشاورزی در طول این دوره شش ساله بود. این تغییرات به وضوح نمایانگر تحولات اساسی در ساختار کاربری اراضی شهر تبریز است و می‌تواند به عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های آینده و مدیریت منابع طبیعی در این منطقه مورد استفاده قرار گیرد. پیش‌بینی روند توسعه شهری در سال ۲۰۳۳ با بهره‌گیری از مدل زنجیره مارکوف با شاخص کاپای ۸۱/۱۴ انجام شده است. نتایج این تحلیل‌ها حاکی از آن است که مدل مارکوف از دقت بسیار خوبی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برخوردار است. علاوه بر این، نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل‌های انجام شده با استفاده از مدل‌ها نشان می‌دهد که شهر تبریز در مراحل مختلف توسعه و گسترش خود به صورت متمرکز و هسته‌ای در حال پیشرفت و گسترش است. این پیشرفت در تمامی جهات و ابعاد مختلف به وضوح قابل مشاهده است، که نشان‌دهنده روند رو به رشد و تحولات اساسی در ساختار شهری این منطقه می‌باشد. بنابراین، تأکید بر استفاده از مدل‌های پیشرفته‌تر مانند زنجیره مارکوف می‌تواند به بهبود دقت پیش‌بینی‌ها و تحلیل‌های مربوط به تغییرات کاربری اراضی کمک شایانی نماید. از نتایج این پژوهش می‌توان در تصمیم‌گیری‌های شهرسازی و مدیریت منابع شهری استفاده کرد. همچنین، این تحقیق می‌تواند به توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی در شهر تبریز کمک کند.

استناد: فروغی، سنا. (۱۴۰۴). مدلسازی گسترش کالبدی شهری با روش اتوماتای سلولی (مطالعه موردی:شهر تبریز). *کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی*، ۵ (۱۶)، ۲۹-۱۹.

http//doi.org/10.22034/rsgi.2025.66330.1123

ناشر: دانشگاه تبریز.

© نویسندگان.

مقدمه

در عصر حاضر، تحقیقات مربوط به استفاده از اراضی نقش کلیدی در طراحی شهری ایفا می‌کنند. توسعه بی‌رویه شهرنشینی در ممالک رو به پیشرفت، نظیر تبریز، سبب بروز معضلاتی در ساختار فیزیکی و بی‌نظمی در الگوهای بهره‌برداری از زمین گردیده است. در این جوامع، نحوه استفاده از اراضی عمدتاً به شیوه‌ای قدیمی و بدون برنامه‌ریزی قبلی، مطابق با خواسته‌های صاحبان املاک شکل گرفته است. طی سال‌های اخیر، گسترش و پیشرفت مناطق شهری، خصوصاً در کشورهای در مسیر توسعه، روندی شتابان به خود گرفته است. این رشد سریع غالباً با عواقب ناخوشایندی همچون آسیب به اکوسیستم، کاهش گوناگونی زیستی و رواج حاشیه‌نشینی همراه بوده است (کاظم و همکاران، ۱۳۹۴). توسعه شهری به مثابه یک مجموعه پیچیده و خودگردان، از برهم‌کنش‌های غیرخطی میان عوامل گوناگون تشکیل شده است. این جریان با الگوهای تمرکز فضایی کلان تجلی می‌یابد و دارای سطحی از عدم قطعیت است که مشتمل بر دگرگونی‌های سریع و غیرمنتظره می‌باشد. فهم این فرآیند در برنامه‌ریزی و اداره شهری جهت نیل به یک الگوی شهری پایدار از اهمیت بسزایی برخوردار است. را به کار گرفته‌اند. این سیاست‌ها به دنبال پاسخگویی به تقاضاهای جدید ناشی از تمرکز روزافزون جمعیت در شهرها هستند. در این راستا، پیش‌بینی تغییرات و گرایش‌ها به سمت توسعه و گسترش در آینده، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مدل‌سازی و شبیه‌سازی شهری ابزارهای کلیدی در این فرآیند به شمار می‌روند. این ابزارها به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کنند تا با تحلیل داده‌های موجود و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، تأثیرات احتمالی سیاست‌های خود را بر روی الگوهای رشد شهری ارزیابی کنند. به‌کارگیری این روش‌ها می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی در شهرها، کاهش مشکلات زیست‌محیطی و افزایش کارایی زیرساخت‌ها منجر شود. در نتیجه، استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی شهری به عنوان یک رویکرد استراتژیک در برنامه‌ریزی شهری، به تحقق توسعه پایدار و مدیریت بهینه منابع کمک می‌کند. امروزه، سیستم‌های اطلاعات مکانی[1] و فناوری سنجش از دور به عنوان ابزارهای کلیدی در فرآیند برنامه‌ریزی و مدیریت توسعه شهری شناخته می‌شوند. این فناوری‌ها به همراه روش‌های مختلف مدل‌سازی توسعه شهری، به برنامه‌ریزان کمک می‌کنند تا الگوهای رشد و تغییرات فضایی را به دقت تحلیل کنند.نقشه‌های توسعه شهری، به عنوان یکی از نتایج این فناوری‌ها، می‌توانند اطلاعات ارزشمندی را در مورد ساختارهای موجود و نیازهای آینده شهرها ارائه دهند. این نقشه‌ها به برنامه‌ریزان شهری این امکان را می‌دهند که مسیر رشد شهر و زیرساخت‌های آن را به طور مؤثری تعیین کنند و تصمیمات بهتری در زمینه تخصیص منابع و توسعه زیرساخت‌ها اتخاذ نمایند.در نتیجه، ادغام سیستم‌های اطلاعات مکانی و سنجش از دور با مدل‌های توسعه شهری، به بهبود کیفیت برنامه‌ریزی و مدیریت شهری کمک کرده و به تحقق توسعه پایدار و کارآمد در شهرها منجر می‌شود. اتوماتای سلولی به دلیل توانایی آنها در مدل‌سازی پویایی فضایی پیچیده و رفتارهای نوظهور، به عنوان ابزاری قدرتمند برای شبیه‌سازی رشد شهری ظاهر شده‌اند. این مدل‌ها بر روی شبکه‌ای کار می‌کنند که در آن هر سلول یک نوع کاربری خاص را نشان می‌دهد و وضعیت هر سلول بر اساس قوانین از پیش تعریف‌شده تحت تأثیر سلول‌های همسایه تکامل می‌یابد. انعطاف پذیری اتوماتای اجازه می دهد تا عوامل مختلفی مانند سیاست های کاربری زمین، دسترسی و محدودیت‌های محیطی را در بر بگیرد و آنها را برای برنامه ریزی و مدیریت شهری مناسب کند (ابوالحسنی، ۲۰۱۶).

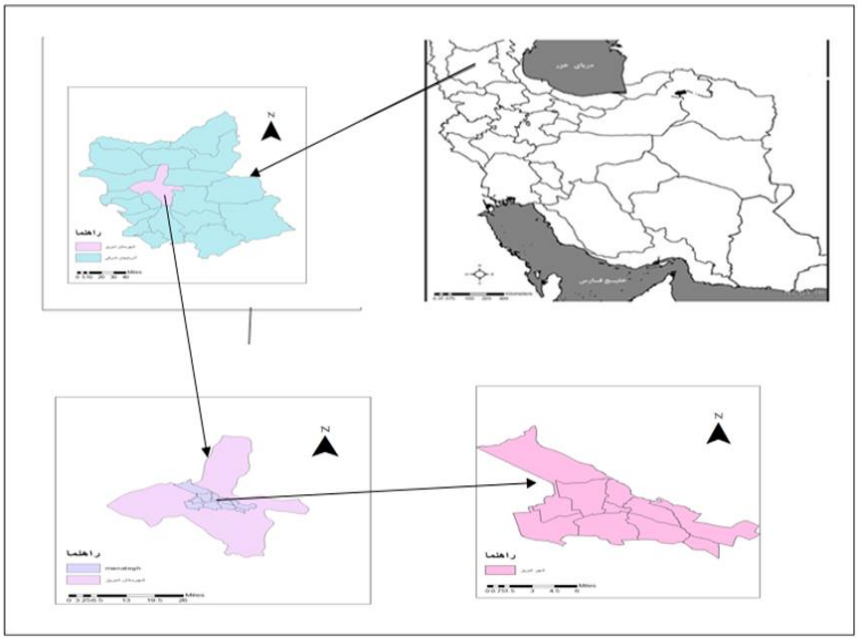
بنابراین، محققان، معماران، متخصصان و سیاست‌گذاران در عرصه‌های مدیریت محیط زیست، منابع طبیعی و برنامه‌ریزی شهری، برای اتخاذ راهکارهای مؤثر و ارائه پیشنهادات عملی جهت آینده، به طور فزاینده‌ای نیازمند داده‌های دقیق در خصوص تحولات کاربردی و توسعه شهری هستند. این اطلاعات دقیق و به‌روز، پایه و اساس تصمیم‌گیری‌های آگاهانه و طراحی استراتژی‌های کارآمد برای مدیریت بهینه رشد شهری و حفاظت از منابع طبیعی را تشکیل می‌دهند.

1. GIS

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

شهر تبریز با وسعتی معادل ۲۴۴/۵۱ کیلومتر مربع (و حریم شهری به مساحت ۱۰۱۴/۴۵ کیلومتر مربع) به عنوان سومین شهر بزرگ ایران از نظر مساحت، پس از تهران و مشهد شناخته می‌شود. این شهرستان در موقعیت جغرافیایی ۴۶ و ۲۵ درجه طول شرقی و ۳۸ و ۲ درجه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۱۳۰۰ تا ۲۱۰۰ متر متغیر است. بر اساس آمار سرشماری سال ۱۳۹۵ خورشیدی، جمعیت تبریز بالغ بر ۱٬۵۸۴٬۸۵۵ نفر (در حریم شهر: ۱٬۷۲۷٬۴۷۶ نفر) بوده و در سال ۲۰۲۲ میلادی به ۱٬۶۴۳٬۹۶۰ نفر افزایش یافته است. شهرستان تبریز از شمال به شهرستان ورزقان، از جنوب به شهرستان مراغه، از شرق به شهرستان‌های هریس و بستان آباد، و از غرب به شهرستان‌های اسکو و شبستر محدود می‌شود. در شکل(۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است.



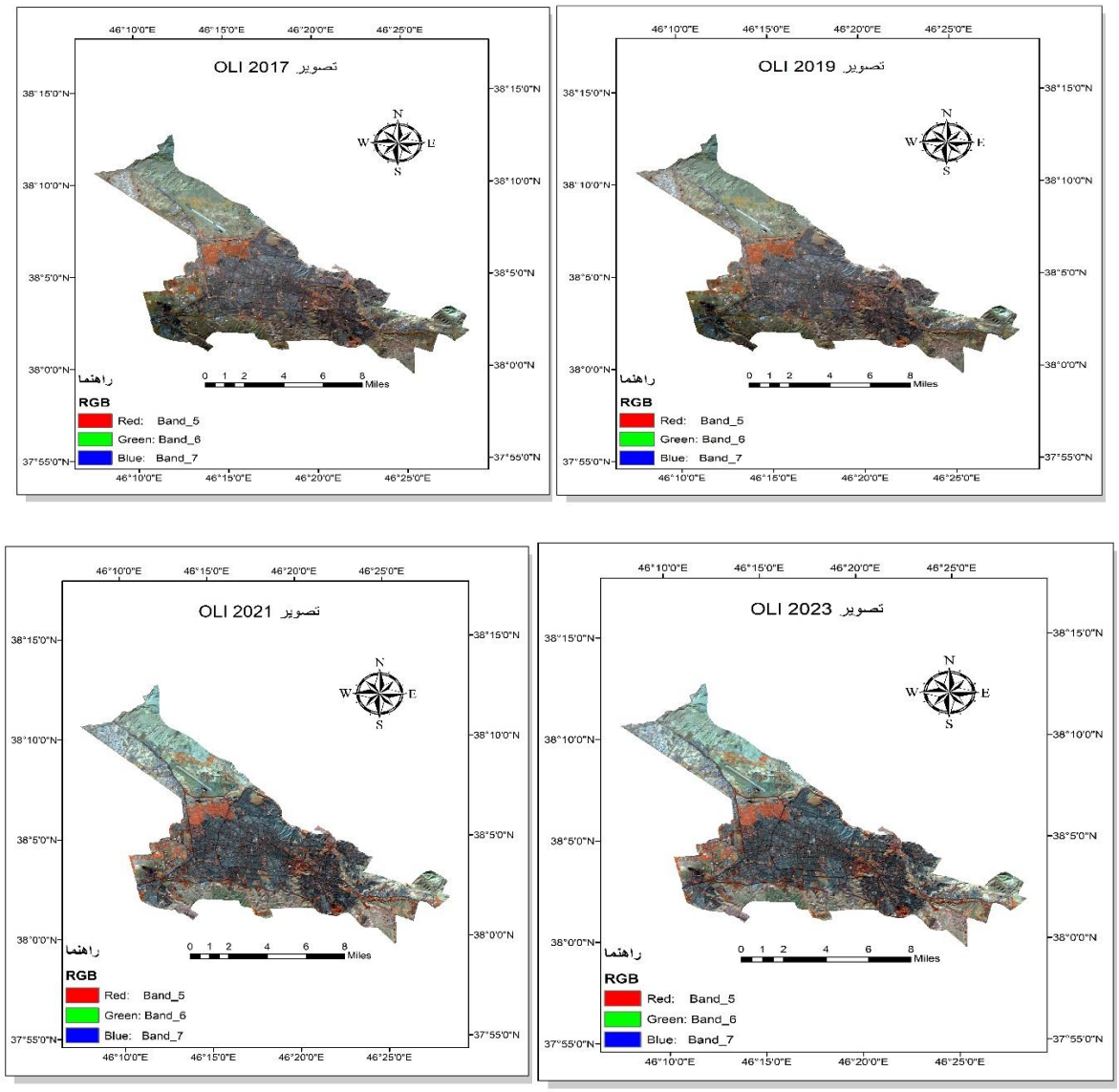
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان و ایران (منبع: نگارندگان)

Fig 1. Location of the study area in the province and Iran (Source: Authors)

تهیه نقشه کاربری اراضی

در این تحقیق، برای استخراج نقشه‌های کاربری اراضی از داده‌های سنجنده‌های OLI[1] مربوط به سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹،۲۰۲۱، ۲۰۲۳، استفاده شده است (شکل ۲). به‌گونه‌ای که یک دوره ۶ ساله در نظر گرفته شده است. این تصاویر از نظر عدم پوشش ابر و بارندگی قبل از ثبت، شرایط مناسبی دارند. با توجه به وجود مناطق کوهستانی در اطراف شهر تبریز که ممکن است در طبقه‌بندی خطا ایجاد کند، برخی از نواحی از مرز منطقه حذف شدند.

1. Operational Land Imager



شکل ۲. تصاویر ماهواره ای مورد استفاده (منبع: نگارندگان)
Fig 2. Satellite images used (authors)

پیش‌پردازش و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

پیش پردازش تصاویر ماهواره ای به اقدامات اولیه انجام شده برای اصلاح اعوجاج های مختلف در داده های تصویر خام قبل از تجزیه و تحلیل بیشتر اشاره دارد. این فرآیند برای اطمینان از دقت و قابلیت استفاده از تصاویر ماهواره ای در کاربردهایی مانند تشخیص تغییر، شناسایی اشیا و طبقه بندی تصویر بسیار مهم است. مراحل پیش پردازش کیفیت تصاویر ماهواره ای را افزایش می دهد و آنها را برای تجزیه و تحلیل بیشتر، مانند طبقه بندی و استخراج ویژگی، مناسب می کند. تکنیک هایی مانند تجزیه و تحلیل اجزای اصلی و شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI) اغلب پس از پیش پردازش برای تجزیه و تحلیل ویژگی های خاص مانند پوشش گیاهی استفاده می شوند(ناوین، ۲۰۲۰). پیش پردازش شامل تصحیح هندسی، رادیومتریک و اتمسفری میباشد. که در این پژوهش پس از انجام تصحیحات و تصحیح اتمسفری با روش FLAASH، به بارزسازی تصاویر، محاسبه شاخص های طیفی و طبقه بندی تصاویر با روش حداکِر احتمال پرداخته شد.

تهیه لایه‌های مختلف کاربری اراضی

با شناخت دقیق از منطقه، کاربری‌های موجود به چهار دسته شامل مناطق شهری، اراضی بایر، پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی تقسیم‌بندی شدند. پس از پایان عملیات تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، مراحل تکمیلی شامل اختصاص رنگ مناسب به طبقات نقشه‌ها، حذف مرزهای مشترک بین پلیگون‌های با کاربری یکسان با استفاده از تابع Dissolve در محیط GISو تخصیص کد مناسب به هر طبقه در نقشه‌های تولیدی انجام گرفت. در نهایت، نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شدند.

برآورد دقت نقشه‌های تهیه شده

برآورد دقت به منظور درک بهتر نتایج به‌دست‌آمده و استفاده از این نتایج در فرآیندهای تصمیم‌گیری از اهمیت بالایی برخوردار است. معمولاً پارامترهای مرتبط با تعیین دقت شامل دقت کلی، دقت تولیدکننده، دقت کاربر، ضریب کاپا، کاپای کلی، خطای کاربر، خطای تولیدکننده و خطای کلی می‌باشند(پیترز، ۱۹۹۱). پس از تهیه نقشه‌های پوشش اراضی از تصاویر ماهواره‌ای، ضروری است که صحت آن‌ها ارزیابی شود تا مشخص گردد که نقشه تولید شده تا چه اندازه با واقعیت‌های زمینی همخوانی دارد. دقت طبقه‌بندی تصاویر طبقه‌بندی‌شده با بهره‌گیری از شاخص کاپا و بر اساس رابطه(۱) ارائه شده در رابطه زیر محاسبه گردید.

$$Kappa = \frac{eP-P}{eP-1}$$ ۱) رابطه

مدلسازی با مدل CA-Markov

مدل خودکار سلولی مارکوف (CA_Markov) یک رویکرد مدل‌سازی ترکیبی است که اتوماتای سلولی و فرآیندهای زنجیره مارکوف را برای شبیه‌سازی کاربری زمین و تغییرات پوشش زمین در طول زمان ترکیب می‌کند. این مدل به ویژه برای پیش‌بینی تغییرات فضایی در کاربری زمین با در نظر گرفتن احتمالات انتقال انواع پوشش زمین و ویژگی‌های فضایی منظر مفید است. این مدل از داده های تاریخی پوشش زمین برای ایجاد ماتریسی استفاده می کند که احتمال تغییرات بین انواع مختلف پوشش زمین را در بازه های زمانی مشخص مشخص می کند(پونتوس، ۲۰۰۵). زنجیره مارکوف به تحلیل رفتارهای پیچیده سیستم‌های کاربری اراضی کمک می‌کند و می‌تواند اثرات متقابل بین انواع مختلف کاربری‌ها را شبیه‌سازی نماید. مدل زنجیره مارکوف به عنوان یک روش مؤثر برای مدلسازی دینامیک زمانی و مکانی تغییرات پوشش و کاربری زمین شناخته می‌شود و داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) می‌توانند به‌طور کارآمد در این فرآیند مورد استفاده قرار گیرند (گوردون و مینتیمر، ۲۰۰۶). برای نظارت بر الگوهای مکانی پوشش و کاربری اراضی در شهر تبریز، ابتدا از مدل زنجیره‌ای مارکوف برای ایجاد ماتریس احتمال انتقال و مساحت تغییرات انواع طبقات پوشش اراضی استفاده شد که اطلاعات دقیق‌تری درباره انتقال بین طبقات مختلف ارائه می‌دهد. پس از آن، پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی با بهره‌گیری از مدل CA-Markov و بر اساس احتمالات انتقال به‌دست‌آمده از تحلیل زنجیره‌های مارکوف انجام شد، که این امکان را فراهم می‌کند تا نقشه‌ای از شبیه‌سازی پوشش اراضی در آینده تهیه شود.

ارزیابی اعتبار نقشه های مدلسازی شده

ارزیابی نقشه‌های مدل‌سازی شده با استفاده از ماتریس خطا، که به عنوان ماتریس سردرگمی نیز شناخته می‌شود، یک روش استاندارد برای ارزیابی دقت نقشه‌های موضوعی است. این رویکرد یک اندازه گیری کمی از میزان مطابقت طبقه بندی های نقشه با داده های مرجع ارائه می دهد. در پژوهش‌های اخیر، مدل‌های CA معمولاً از طریق مقایسه خروجی شبیه‌سازی شده با مشاهدات واقعی (با استفاده از روش‌های مقایسه‌ای، بصری، و ماتریس‌های خطا و Confusion) اعتبارسنجی می‌شوند(سانته و همکاران، ۲۰۱۰). لذا، در این مطالعه نیز از روش‌هایی مانند شاخص کاپا و ماتریس خطا برای ارزیابی مدل بهره‌برداری شده است.

نتایج و بحث

نقشه تغییرات کاربری اراضی

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری مساحت کاربری‌های منطقه مورد مطالعه در بازه‌های زمانی مشخص، در جدول (۱) ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهند که در دو سال ابتدایی، مساحت اراضی تحت پوشش گیاهی، نواحی شهری و اراضی کشاورزی افزایش یافته، در حالی که اراضی بایر و مراتع و پهنه آبی کاهش یافته‌اند. از سال ۲۰۱۹ به بعد، به جز نواحی مسکونی که رشد داشته‌اند، سایر اراضی به‌ویژه پوشش گیاهی، اراضی کشاورزی و بایرکاهش زیادی را تجربه کرده‌اند. به‌طور کلی، در طول سال‌های مورد بررسی، مساحت مناطق مسکونی حدوداً ۲ هزار هکتار افزایش یافته است که نسبت به سال اول، که ۱۴۵۲۵ هکتار بود، افزایش را نشان می‌دهد. در مقابل، پوشش گیاهی از سال ۲۰۱۷ از ۶ هکتار به ۵ هکتار کاهش یافته است. همچنین پهنه آبی و مراتع تغییر چندانی در طی چند سال نداشته‌اند.

جدول۱. تغییرات مساحت کاربری های اراضی درسال های مورد بررسی به واحد هکتار

کاربری / سال	پهنه آبی	پوشش گیاهی	کشاورزی	شهری	بایر	مرتع
تغییرات مساحت هر کاربری در سال های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹						
۲۰۱۷	۱۰/۱۲۹۱	۶/۰۱۶۳۸	۱۹۷۳	۱۴۵۲۵/۷	۱۸۷۹/۹۴	۶۰۵۸/۵۶
۲۰۱۹	۹/۷۱۰۱۴	۸/۱۱۲۰۵	۲۵۳۱/۴۷	۱۵۰۷۶/۴	۱۰۴۸/۰۱	۵۷۷۹/۷۶
تغییر مساحت هر کاربری	-۰/۴۱۸۶۸۶	+۲/۰۹۵۶۷	+۵۵۸/۴۷	+۵۵۰/۷	-۸۳۱/۹۳	-۲۷۸/۸
تغییرات مساحت هر کاربری در سال های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱						
۲۰۱۹	۹/۷۱۰۱۴	۸/۱۱۲۰۵	۲۵۳۱/۴۷	۱۵۰۷۶/۴	۱۰۴۸/۰۱	۵۷۷۹/۷۶
۲۰۲۱	۷/۲۵۸۵۸	۳/۹۰۲۴۵	۱۷۰۶/۵۷	۱۵۵۴۸/۷	۸۴۴/۰۳۸	۶۳۴۳/۳۳
تغییر مساحت هر کاربری	-۲/۴۵۱۵۶	-۴/۲۰۹۶	-۸۲۴/۹	+۴۷۲/۳	-۲۰۳/۹۷۲	+۵۶۳/۵۷
تغییرات مساحت هر کاربری در سال های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۳						
۲۰۲۱	۷/۲۵۸۵۸	۳/۹۰۲۴۵	۱۷۰۶/۵۷	۱۵۵۴۸/۷	۸۴۴/۰۳۸	۶۳۴۳/۳۳
۲۰۲۳	۹/۳۴۸۶۱	۵/۳۱۵۴	۱۱۷۹/۳	۱۶۲۷۲/۶	۷۸۷/۰۷	۶۱۹۹/۹۴
تغییرات مساحت هر کاربری	+۲/۰۹۰۰۳	+۱/۴۱۲۹۵	-۵۲۷/۲۷	+۷۲۳/۹	-۵۶/۹۶۸	-۱۴۳/۳۹
تغییرات مساحت هر کاربری در سال های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۳						
۲۰۱۷	۱۰/۱۲۹۱	۶/۰۱۶۳۸	۱۹۷۳	۱۴۵۲۵/۷	۱۸۷۹/۹۴	۶۰۵۸/۵۶
۲۰۲۳	۹/۳۴۸۶۱	۵/۳۱۵۴	۱۱۷۹/۳	۱۶۲۷۲/۶	۷۸۷/۰۷	۶۱۹۹/۹۴
تغییرات مساحت هر کاربری	-۰/۷۸۰۴۹	-۰/۷۰۰۹۸	-۷۹۳/۷	+۱۷۴۶/۹	-۱۰۹۲/۸۷	+۱۴۱/۳۸

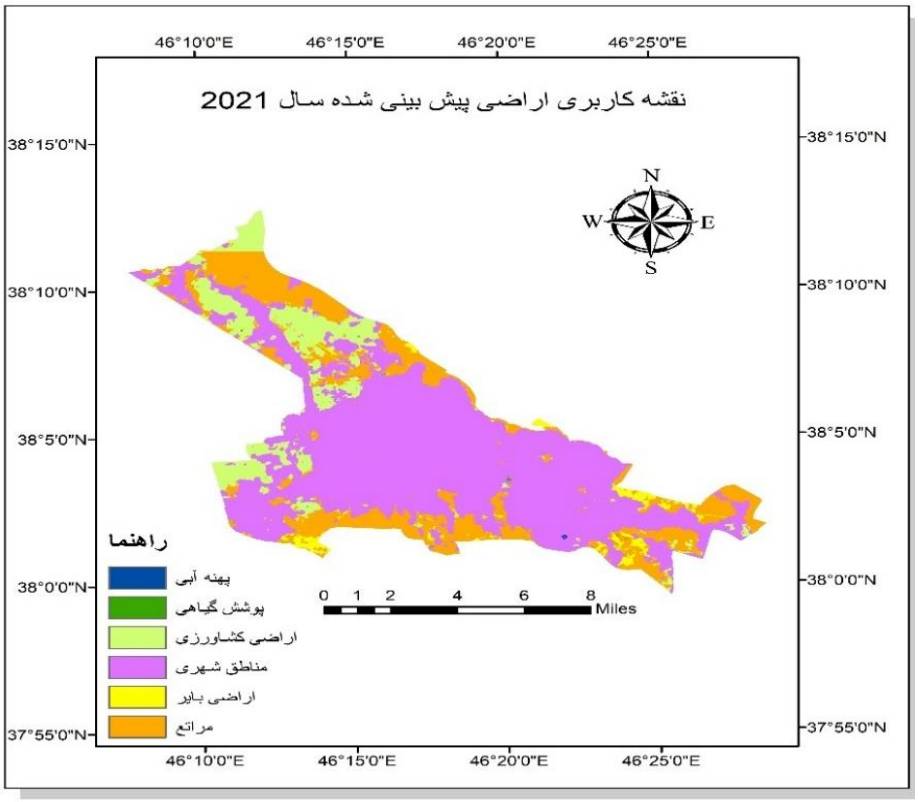
ارزیابی تغییرات کاربری زمین بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ نشان‌دهنده افزایش مساحت در مناطق شهری و مسکونی بصورت تقریبی (۱۷۰۰ هکتار)، مراتع(۱۴۱هکتار) و کاهش مساحت در زمین‌های بایر (۱۰۰۰ هکتار)، پوشش گیاهی (۰/۷هکتار)، پهنه آبی (۰/۷هکتار) ، اراضی کشاورزی (۷۹۳ هکتار) بود. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، بیشترین افزایش مساحت در مناطق شهری اتفاق افتاده است. این مناطق در طی دوره ۸ ساله، ۱۷۴۶/۹هکتار از کاربری‌های دیگر را به خود اختصاص داده‌اند که بیشترین مقدار آن شامل ۶۷۰ هکتار از مراتع ، ۵۷۰ هکتار از اراضی کشاورزی و ۴۸۰ هکتار از اراضی بایر می‌باشد.

نتایج تغییرات کاربری‌ها در سال‌های مورد بررسی به شکل نمودار نیز قابل مشاهده است. این نتایج نشان می‌دهد که

شهرتبریز به دلیل افزایش مهاجرپذیری، به سرعت توسعه یافته و تحولات اساسی در ساختار و بافت داخلی آن ایجاد شده است. همچنین، این تغییرات تأثیرات قابل توجهی بر اراضی در اراضی کشاورزی و زمین های بایر داشته است. علاوه بر این، در دوره مذکور، اراضی کشاورزی کاهش مساحت داشته که بیشترین میزان آن توسط مناطق ساخته‌شده تصرف شده است. در تحقیقات پیشین، معمولاً تنها مسیر توسعه فیزیکی شهرها در یک بازه زمانی محدود تحلیل می‌شد و توسعه فیزیکی تا زمان حال ارزیابی می‌گردید. در این مطالعه، علاوه بر ارزیابی روند توسعه فیزیکی شهر تبریز در چهار بازه زمانی (۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۳) با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، و همچنین مقایسه کاربری ها با یکدیگر در طی دوره های مذکور و به پیش‌بینی توسعه آن تا سال ۲۰۳۳ نیز انجام شده است. علاوه بر این، تأثیر توسعه فیزیکی محدوده مطالعاتی بر وضعیت ژئومورفولوژیکی (از نظر کوهستانی بودن) منطقه منطقه نیز بررسی شده است. در نتایج این تحقیق، تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه در اراضی کشاورزی و زمین‌های بایر تأثیرات قابل توجهی داشته است.

ارزیابی مدل CA_MARKOV

نقشه‌های پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ برای پیش‌بینی وضعیت پوشش اراضی در سال ۲۰۲۱ به کار گرفته شدند. این اقدام به منظور بررسی کارایی و اعتبار مدل در پیش‌بینی و مدلسازی با استفاده از نقشه‌های تولید شده توسط مدل زنجیره مارکوف و نقشه‌های واقعی پوشش اراضی انجام شد. برای ساخت نقشه پیش بینی کاربری اراضی ۲۰۲۱، نقشه کاربری اراضی ۲۰۱۷ ،۲۰۱۹ و ماتریس احتمال انتقال مناطق که از قبل با ابزار MARKOV ساخته شده بود ، با استفاده از مکانیزم مکانی CA برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۱ در محیط TerrSet با یکدیگر ترکیب شدند. ضریب کاپای محاسبه‌شده از ماتریس خطا میان نقشه‌ای که از مدلسازی به‌دست آمده و نقشه کاربری اراضی(شکل۳) سال ۲۰۲۱، برابر با ۸۱/۱۴ درصد به دست آمد. همچنین، مقدار اختلاف بین مساحت پیش‌بینی‌شده و پردازش‌شده در سال ۲۰۲۱ در جدول (۲) نمایش داده شده است.



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی پیش بینی شده سال ۲۰۲۱ در مدل CA_MARKOV (منبع:نگارندگان)

Fig 3. Projected land use map for 2021 in the CA_MARKOV model

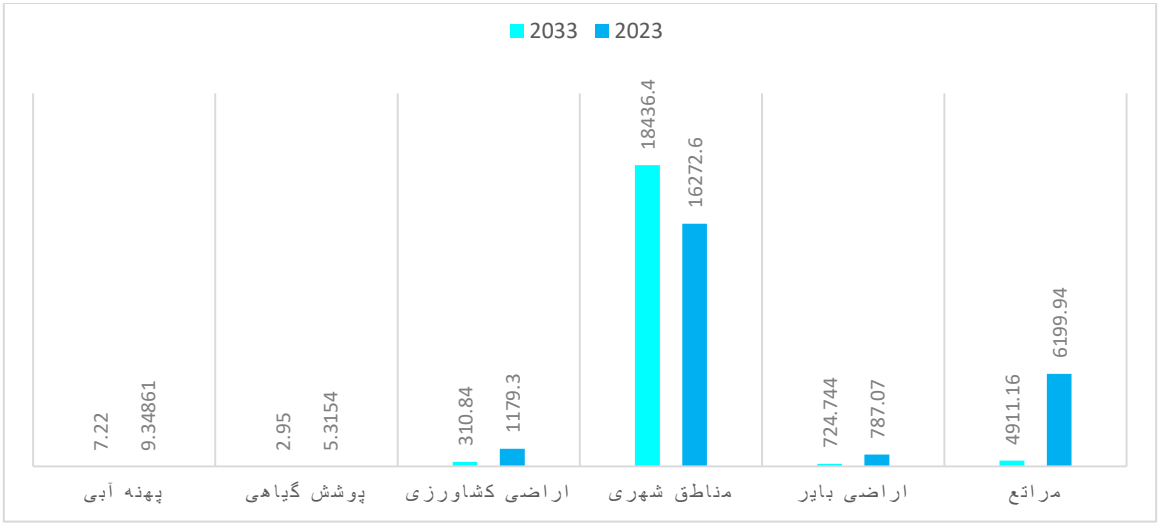
جدول ۲. مساحت کاربری های پردازش شده و پیش بینی شده سال ۲۰۲۱در مدل CA_MARKOV بر حسب هکتار

کاربری اراضی	مقدار هکتار پیش بینی شده در سال۲۰۲۱	مقدار هکتار پردازش شده در سال ۲۰۲۱	اختلاف مساحت
پهنه آبی	۶/۸۱	۷/۲۵۸۵۸	-۰/۴۴
پوشش گیاهی	۶/۷۲	۳/۹۰۲۴۵	۲/۸۲
اراضی کشاورزی	۲۹۴۵/۲۴	۱۷۰۶/۵۷	۱۲۳۸/۶۷
مناطق شهری	۱۵۴۸۶/۶۳	۱۵۵۴۸/۷	-۶۲/۰۷
اراضی بایر	۶۳۸/۸۵	۸۴۴/۰۳۸	-۲۰۵/۱۸۸
مراتع	۵۳۷۰/۲۲	۶۳۴۳/۳۳	-۹۷۳/۱۱

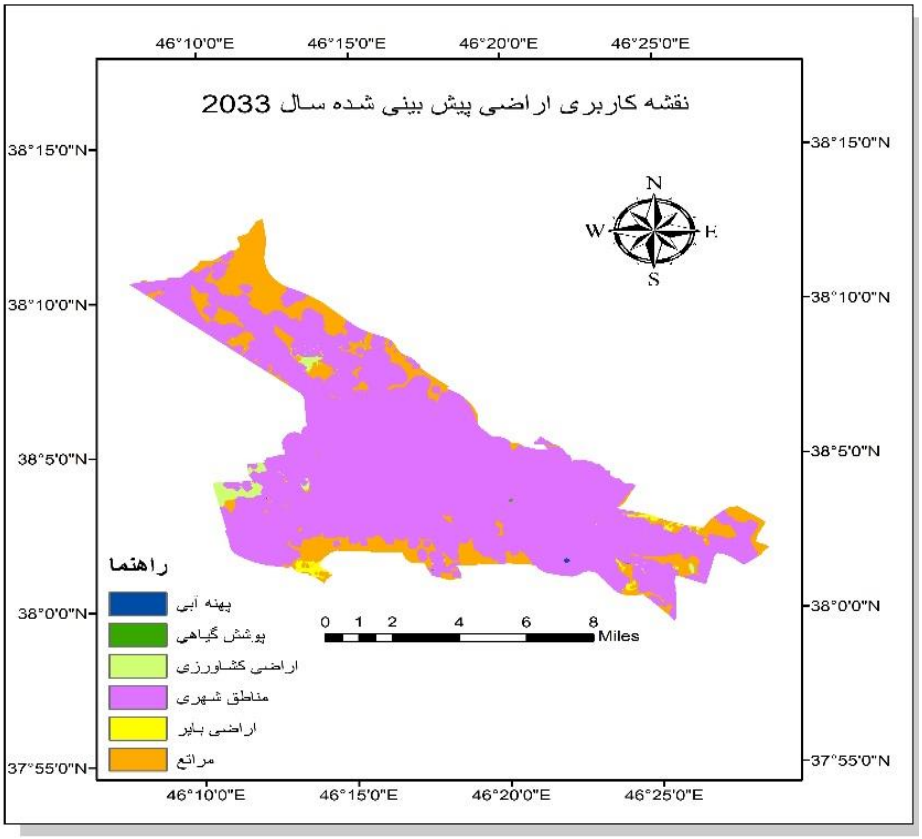
نقشه‌های پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۳ برای برآورد وضعیت پوشش اراضی در سال ۲۰۳۳ به کار گرفته شدند. همانطور که در جدول (۳) و نمودار(۱) مقایسه سال ۲۰۲۳ و ۲۰۳۳ پیداست، به جز مساحت کاربری شهری که افزایش چشمگیری داشته، بقیه کاربری‌ها در سال ۲۰۳۳ کاهش می‌یابند. کاربری‌های اراضی مراتع، اراضی کشاورزی و اراضی بایر کاهش بیشتری نسبت به کاربری پهنه آبی و پوشش گیاهی خواهند داشت. در حالت کلی، آنچه که در این شبیه‌سازی مشخص است این است که به علت افزایش جمعیت در شهر تبریز در سال ۲۰۳۳، مساحت اراضی شهری افزایش می‌یابد. شکل(۴) نقشه پیش بینی شده سال ۲۰۳۳ را نشان میدهد.جدول (۳) نیز مساحت کاربری های اراضی پیش بینی شده سال ۲۰۳۳ با استفاده از CA_MARKOV را نشان می دهد.

جدول ۳. تغییرات مساحت کاربری های اراضی درسال های ۲۰۳۳-۲۰۲۳ به واحد هکتار

کاربری / سال	پهنه آبی	پوشش گیاهی	اراضی کشاورزی	مناطق شهری	اراضی بایر	مراتع
۲۰۲۳	۹/۳۴۸۶۱	۵/۳۱۵۴	۱۱۷۹/۳	۱۶۲۷۲/۶	۷۸۷/۰۷	۶۱۹۹/۹۴
۲۰۳۳	۷/۲۲	۲/۹۵	۳۱۰/۸۴	۱۸۴۹۶/۴	۷۲۴/۷۴۴	۴۹۱۱/۱۶
تغییر مساحت هر کاربری	-۲/۱۲۸۶۱	-۲/۳۶۵۴	-۸۶۸/۴۶	+۲۲۲۳/۸	-۶۲/۳۲۶	-۱۲۸۸/۷۸



نمودار ۱. تحولات کاربری های اراضی بر واحد هکتار در طی سال های ۲۰۳۳-۲۰۲۳



شکل ٤. نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده سال ۲۰۳۳ در مدل CA_MARKOV (منبع: نگارندگان)

Fig .4_ Projected land use map for 2033 in the CA_MARKOV model

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به منظور روشن‌سازی تغییرات، از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی و همچنین جدول‌بندی افقی استفاده گردید. ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ نشان‌دهنده افزایش مساحت در مناطق شهری و مسکونی به میزان تقریبی ۱۷۰۰ هکتار، مراتع ۱۴۱ هکتار و کاهش مساحت در زمین‌های بایر به میزان ۱۰۰۰ هکتار، پوشش گیاهی ۰/۷ هکتار، پهنه آبی ۰/۷ هکتار و اراضی کشاورزی به مقدار ۷۹۳ هکتار بود. از این پژوهش این نتیجه حاصل شد که، بیشترین افزایش مساحت در نواحی شهری اتفاق افتاده است. این مناطق در طی دوره ۸ ساله، حدود ۱۷۴۶,۹ هکتار از کاربری‌های دیگر را به خود اختصاص داده‌اند که بیشترین سهم آن شامل ۶۷۰ هکتار از مراتع، ۵۷۰ هکتار از اراضی کشاورزی و ۴۸۰ هکتار از زمین‌های بایر می‌باشد. نتایج تغییرات کاربری‌ها در سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که شهر تبریز به دلیل افزایش مهاجرپذیری، به سرعت توسعه یافته و تحولات اساسی در ساختار و بافت داخلی آن ایجاد شده است. در بسیاری از مطالعات قبلی که به تحلیل توسعه فیزیکی شهرها پرداخته‌اند، تنها روند این توسعه در یک بازه زمانی خاص مورد بررسی قرار گرفته و در بسیاری از این تحقیقات، توسعه فیزیکی شهرها تا زمان حاضر ارزیابی شده است. در تحقیق حاضر، علاوه بر ارزیابی روند توسعه فیزیکی شهر تبریز در چهار دوره زمانی مربوط به سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹ ، ۲۰۲۱و ۲۰۲۳ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، پیش‌بینی توسعه آن تا سال ۲۰۳۳ نیز انجام شده است. همچنین، نحوه توسعه فیزیکی محدوده مطالعاتی در ارتباط با وضعیت ژئومورفولوژیکی منطقه نیز مورد بررسی قرار گرفته است.همچنین، در نتایج این پژوهش، تغییرات تأثیرات قابل توجهی

بر اراضی کشاورزی و زمین‌های بایر داشته است. علاوه بر این، در دوره مذکور، اراضی کشاورزی کاهش مساحت داشته که بیشترین میزان آن توسط نواحی ساخته‌شده تصرف شده است. با توجه به این‌که جلوگیری از گسترش سطح اراضی مسکونی به عنوان پاسخی به افزایش جمعیت و جریان یک‌سویه مهاجرت از روستاها به شهرها برای اسکان و ایجاد اشتغال و رشد اقتصادی، فرآیندی غیرقابل اجتناب به نظر می‌رسد، ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب، نظیر ایجاد و توسعه شهرک‌های صنعتی و شناسایی و مکان‌یابی مناطق جدید برای توسعه شهری و صنعتی، کاملاً ضروری است. شهر تبریز در مراحل گوناگون رشد خود به شکل متمرکز و از تمام جهات در حال گسترش می‌باشد.

مدل CA-Markov، که ترکیبی از دو مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار است، به‌طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل به تحلیل و شبیه‌سازی تغییرات فضایی و زمانی کاربری زمین کمک می‌کند و به‌ویژه در مطالعات مربوط به مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی شهری اهمیت دارد. این مدل ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی است که با ترکیب ویژگی‌های زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، امکان بررسی دقیق‌تر روندهای فضایی و زمانی را فراهم می‌آورد. این مدل به ویژه در زمینه‌های مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی شهری کاربردهای فراوانی دارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، مقایسه‌ای میان نقشه شبیه‌سازی شده و نقشه مرجع که از طبقه‌بندی تصویر سال ۲۰۲۱ استخراج شده بود، انجام شد تا توانمندی مدل CA-Markov مورد بررسی قرار گیرد. این مقایسه نشان‌دهنده دقت و صحت مدل ترکیبی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف در پیش‌بینی تغییرات آینده کاربری اراضی بود. به‌طور خاص، شاخص کاپای محاسبه شده برای این مدل برابر با ۸۱/۱۴ بود که حاکی از قابلیت بالای آن در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین می‌باشد. این یافته‌ها به وضوح نشان می‌دهند که مدل CA-Markov می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر در تحلیل و پیش‌بینی تحولات آتی در زمینه کاربری اراضی مورد استفاده قرار گیرد.

References

Ghanbari, A., & Heydarinia, S. A. (2016). Land management and urban network analysis of Hamadan province (1976-2011). Retrieved from https://civilica.com/doc/1808208 (In Persian)

Karimzadeh Motlagh, Z., Lotfi, A., Pourmanafi, S., & Ahmadizadeh, S. S. R. (2022). Evaluation and prediction of land use changes using CA_Markov model. Journal of Geography and Regional Planning, 33(2), 67-84. https://doi.org/10.22108/gep.2022.131858.1525 (In Persian)

Kazem, A. H., Hosseinali, F., & Alesheikh, A. A. (2015). Urban growth modeling using medium resolution satellite imagery based on cellular automata (Case study: Tehran). Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 24(94), 45-58. https://doi.org/10.22131/sepehr.2015.14476 (In Persian)

Maleki, M., Malekani, L., & Valizadeh Kamran, K. (2019). Modeling the occurrence and spread of fire front using cellular automata method (Case study: Arasbaran protected area). Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources, 37(1), 1-15. https://doi.org/10.22059/jne.2020.286679.1785 (In Persian)

Mirakhourlo, M. S., & Rahimzadegan, M. (2018). Land use change modeling using Markov-cellular automata model and multi-criteria decision making in Talar watershed. Journal of Geomatics Science and Technology, 8(1), 85-99. https://doi.org/10.22108/gep.2022.130601.1458 (In Persian)

Nazemfar, R., Mohammadzadeh, P., & Ghanbari, A. (2013). Residential location choice by households in Tabriz city. In National Conference on Sustainable Architecture and Urban Development, Bukan, Iran. https://civilica.com/doc/214227 (In Persian)

Rezazadeh, R., & Mirahmadi, M. (2009). Cellular automata model, a new approach in urban growth simulation. Technology of Education Journal, 4(1), 47-55. https://sid.ir/paper/155505/fa (In Persian)

Abolhasani, S., Taleai, M., Karimi, M., & Rezaee Node, A. (2016). Simulating urban growth under

planning policies through parcel-based cellular automata (ParCA) model. International Journal of Geographical Information Science, 30(11), 2276-2301. https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1184271

Duan, Y. (2014). Relative radiometric correction methods for remote sensing images and their applicability analysis. National Remote Sensing Bulletin, 3(2), 24-32. https://doi.org/10.11834/jrs.20143204

Feng, L., Xusheng, L., Dan, H., Rusong, W., Wenrui, Y., Dong, L., & Dan, Z. (2009). Measurement indicators and an evaluation approach for assessing urban sustainable development: A case study for China's Jining City. Landscape and Urban Planning, 90(3-4), 134-142. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.11.007

Gordon, E., & Meentemeyer, R. K. (2006). Effects of dam operation and land use on stream channel morphology and riparian vegetation. Geomorphology, 82(3), 412-429. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.001

Hasegawa, M., Kishino, H., & Saitou, N. (1991). On the maximum likelihood method in molecular phylogenetics. Journal of Molecular Evolution, 32(5), 443-445. https://doi.org/10.1007/BF02101285

Li, J., Pei, Y., Zhao, S., Xiao, R., Sang, X., & Zhang, C. (2020). A review of remote sensing for environmental monitoring in China. Remote Sensing, 12(7), 1130. https://doi.org/10.3390/rs12071130

Navin, M. S., Agilandeeswari, L., & Anjaneyulu, G. S. G. N. (2020). Dimensionality reduction and vegetation monitoring on LISS III satellite image using principal component analysis and normalized difference vegetation index. In 2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE) (pp. 1-6). https://doi.org/10.1109/ic-ETITE47903.2020.466

Otgonbayar, M., Badarifu, T., Ranatunga, T., Onishi, T., & Hiramatsu, K. (2018). Cellular automata modelling approach for urban growth. Robotics and Autonomous Systems, 6, 93-104. https://doi.org/10.7831/RAS.6.93-104

Peters, G. A. (1991). Azolla and other plant-cyanobacteria symbioses: Aspects of form and function. Plant and Soil, 137(1), 25-36. https://doi.org/10.1007/BF02101285

Pontius, R. G., & Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. International Journal of Geographical Information Science, 19(2), 243-262. https://doi.org/10.1080/13658810410001713434

Ranneby, B. (2016). The maximum spacing method: An estimation method related to the maximum likelihood method. Scandinavian Journal of Statistics. https://doi.org/10.1002/sjss.2016.691c48e38ca53297fef723dfb6ee858454972010

Rumora, L., Miler, M., & Medak, D. (2020). Impact of various atmospheric corrections on Sentinel-2 land cover classification accuracy using machine learning classifiers. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(4), 277. https://doi.org/10.3390/ijgi9040277

Shimizu, E. (2019). Satellite remote sensing. In Dictionary of geotourism (pp. 2152). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2538-0_2152

Wang, S., Zheng, X., & Zang, X. (2012). Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. Procedia Environmental Sciences, 13, 1238-1245. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.114

Ye, B., & Bai, Z. (2007). Simulating land use/cover changes of Nenjiang County based on CA-Markov model. In Computer and Computing Technologies in Agriculture, Volume I (pp. 321–329). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6320-6_40

UnitedNations, (2014). Human Development Report, New York: 10017