

Monitoring the Evolution of the Land use System and Predicting the Changes Based on the Integrated Model of Markov Chain and Automatic Cells (Case study: Ilam city)

Hojat Sheikhi^{1✉}, Morad Azadi²

1. Associate Professor of Architecture and Urban Planning, Ilam University, Ilam, Iran

✉ E-mail: h.shaykhi@ilam.ac.ir

2. M. Sc Student of Geography and Urban Planning, Ilam University, Ilam, Iran

E-mail: meradazadi@gmail.com



How to Cite: Sheikhi, H; Azadi, M. (2024). Monitoring the Evolution of the Land use System and Predicting the Changes Based on the Integrated Model of Markov Chain and Automatic Cells (Case study: Ilam city). *Geography and Development*, 22 (77), 165-186.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/gdij.2024.47975.3620>

Received:

16 December 2023

Received in revised form:

10 March 2024

Accepted:

18 March 2024

Published online:

1 January 2025

Keywords:

Land use,
Change monitoring,
Satellite images,
Ilam city.

ABSTRACT

Land use changes and land surveying are one of the main topics of sustainable development. Land use change is an important example of human influence on the environment, which causes structural changes in social, economic and physical dimensions. In order to provide rational science for regional planning decisions and sustainable development, prediction models of land use patterns can be used. Therefore, land use map is one of the requirements of any national and regional development planning. the main purpose of this study is to monitor the evolution of the land use system and predict its changes using the Markov chain. Land use changes were evaluated using land use maps obtained in 2013, 2018, and 2023 using the change analysis tool (LCM) in TerrSet software. the changes in land use during the considered years show that man-made land use has changed from 9.81% in 2013 to 11.6% in 2018 and 12.73% in 2023, which indicates the growth and development of the city. On the other hand, the use of irrigated land has increased from 2.98% in 2013 to 1.03% in 2023, which can be attributed to urban development, drought and water shortage.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

1. Introduction

Land use and land cover changes are one of the main topics of global environmental impacts and sustainable development. Urban development has a great impact on land use and land cover. the effects of land use change caused by rapid urbanization disturb the sustainability of the environment. Population growth and economic development is the driving factor and transformation in different land covers such as vegetation and water. this continuous transformation of land use causes environmental degradation. The severity of these changes in response to the growth of the world population and its consequences on the environment doubles the necessity of conducting detailed studies on such changes. Analyzing the dynamics of land use changes in the long term is important for understanding and evaluating different changes in the environment that help achieve sustainable development goals; Therefore, in order to provide logic for regional planning decisions and sustainable development, models for predicting land use patterns based on past preliminary information can be used to build future scenarios of land use and land cover changes. Diagnosing and predicting land use changes is necessary for making decisions and implementing appropriate policies in response to changes and disturbances occurring in the land. Knowledge of the type and percentage of different uses and covers is a fundamental need in order to know and manage an area and is of particular importance as basic information for various planners.

2. Methods and Material

The type of research in terms of practical purpose, its method is descriptive-analytical. In this research, Landsat 8 series satellite images were used to extract land cover classes. then, the images will be atmospherically and radiometrically corrected, and based on the supervised classification method, the number of changes in each land use will be calculated. Kappa coefficient is used to validate the results. And then, in order to evaluate and predict urban development, Geographical Information System (GIS) software has been used. For this purpose, the images are referenced in the land GIS environment, and then the changes based on four man-made land uses, rainfed lands, water lands, forest lands, and pasture lands, are percentages and compared according to time intervals. For this purpose, three basic maps of 2013, 2018 and 2023 have been used. Finally, based on the Markov chain model, the amount of changes until 2030 is predicted.

3. Results and Discussion

In the period (2013-2018), the use of man-made lands and rainfed lands has an increasing trend, and the use of irrigated lands, forest and pasture lands has a decreasing trend. Most of these changes in terms of quantity and area are for the use of forest and pasture lands with 1062.9 hectares and 4.97%, which have become dry lands. In this period, residential areas have also increased by 484 hectares, and nearly 362 hectares of forest and pasture lands have been converted into man-made lands. In the period (2018-2023), the most changes are related to the use of forest and pasture land as well as rainfed land, which is 7.09% (1517) from forest and pasture land to rainfed land and 5.029% (1074) from rainfed land to forest land. And it has become a pasture. In the period (2013-2023), the most decreasing changes are related to the decrease of nearly 12% (2563.29 hectares) of forest and pasture lands, and the least decreasing changes are the decrease of 1.99% (425 hectares) of irrigated lands in the region. The most incremental changes are related to man-made lands and irrigated lands, respectively 3.159% (675.54 hectares) and 10.92% (2335.5 hectares).

4. Conclusion

Land use change is an important example of human influence on the environment, which causes structural changes in social, economic and physical dimensions. The main purpose of this study is to monitor the evolution of the land use system and predict its changes using the Markov chain. Land use changes were evaluated using land use maps obtained in 2013, 2018 and 2023 in TerrSet software. In the period (2013-2023), the most decreasing changes are related to the decrease of nearly 12% (2563.29 hectares) of forest and pasture lands, and the least decreasing changes are the decrease of 1.99% (425 hectares) of irrigated lands in the region. The most incremental changes are related to man-made lands and irrigated lands, respectively 3.159% (675.54 hectares) and 10.92% (2335.5 hectares).

Keywords: Land use, Change monitoring, Satellite images, Ilam city.

5. References

- Arabi Aliabad, F, Zare, M, Ghafarian Malmiri, H.R (2021). Prediction of land cover changes using integrated Markov chain model and automatic cells (case study: Shirkoh area), *Geography and Development*, 19(62) , 251-270. (In Persian).
https://gdij.usb.ac.ir/article_6022.html
- Ashraf Abdelkarim (2023). Monitoring and forecasting of land use/land cover (LULC) in Al-Hassa Oasis, Saudi Arabia based on the integration of the Cellular Automata (CA) and the Cellular Automata-Markov Model (CA-Markov), *Geology, Ecology, and Landscapes*.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24749508.2022.2163741>
- Aung, TS., Fischer, T.B., & Buchanan, J (2020). Land use and land cover changes along the ChinaMyanmar Oil and Gas pipelines, *Monitoring infrastructure development in remote conflictprone regions*, 15 (8), e0237806.
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0237806>
- Baqa, M.F., Chen, F., Lu, L., Qureshi, S., Tariq, A., Wang, S., Jing, L., Hamza, S., & Li, Q (2021). Monitoring and Modeling the Patterns and Trends of Urban Growth Using Urban Sprawl Matrix and CA-Markov Model: A Case Study of Karachi, Pakistan, *Land* 10, 700.
<https://www.mdpi.com/2073-445X/10/7/700>

- Dey, N.N., Al Rakib, A., Al Kafy, A., & Raikwar, V (2021). Geospatial modelling of changes in land use/land cover dynamics using Multi-layer perception Markov chain model in Rajshahi City, Bangladesh, *Environmental Challenges*, 4, 100148.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266701002100127X>
- Feinstein AR, Cicchetti DV (1990). High agreement but low kappa: I. the problems of two paradoxes. *J Clin Epidemiol.* 1990; 43(6): 9-543.
[https://doi.org/10.1016/0895-4356\(90\)90158-I](https://doi.org/10.1016/0895-4356(90)90158-I) PMID: 2348207.
- Ghosh, S., Das Chatterjee, N., & Dinda, S (2021). Urban ecological security assessment and forecasting using integrated DEMATEL-ANP and CA-Markov models: A case study on Kolkata Metropolitan Area, India, *Sustainable Cities and Society*, 68, 102773.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670721000652>
- Huang, Y., Yang, B., Wang, M., Liu, B., & Yang, X (2020). Analysis of the future land cover change in Beijing using CA-Markov chain model, *Environmental Earth Sciences*, 79, 60.
 Doi: 10.1007/s12665-019-8785-z
- Jafarzadeh, K; Sabzegbaei G; Yousefi, Soltanian, S.S (2017). Modeling urban structure changes with a spatial planning approach to achieve sustainable urban development (Case study: Qaim Shahr city), "Sephar" geographic information. 27(107), 209-222. (In Persian).
<https://ensani.ir/file/download/article/1552729691-9987-107-14.pdf>
- Ji, G., Lai, Z., Xia, H., Liu, H., & Wang, Z (2021). Future Runoff Variation and Flood Disaster Prediction of the Yellow River Basin Based on CA-Markov and SWAT, *Land*, 10, 421.
<https://www.mdpi.com/2073-445X/10/4/421>
- Karimzadeh Mutlaq, Z, Lotfi, A, Pourmanafi, S (2019). Modeling sustainable land use allocation in Greater Isfahan using multi-criteria assessment in the environment, GIS, Geography and Environmental Sustainability, 10(2), 21-35. (In Persian).
https://ges.razi.ac.ir/article_1522.html
- Khwarahm, N.R. Qader, S., Ararat, K., & Al-Quraishi, A.M.F (2020). Predicting and mapping land cover/land use changes in Erbil /Iraq using CA-Markov synergy model, *Earth Science Informatics*, 14, 393- 406.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12145-020-00541-x>
- Kiyani Salmi, E, Ebrahimi, A (2017). Evaluation of land cover changes in Shahrekord and its future prediction using telemetry data and CA-Markov model, *Spatial Planing*, 8(1), 88-71. (In Persian).
https://sppl.ui.ac.ir/article_22701.html
- Li, Q., Wang, L., Gul, H.N., & Li, D (2021). Simulation and optimization of land use pattern to embed ecological suitability in an oasis region: A case study of Ganzhou district, Gansu province, China, *Journal of Environmental Management*, 287, 112321.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479721003832>
- Matlhodi, B., Kenabatho, P.K., Parida, B.P., & Maphanyane, J.G (2021). Analysis of the Future Land Use Land Cover Changes in the Gaborone Dam Catchment Using CA-Markov Model: Implications on Water Resources, *remote sensing*, 13, 2427.
<https://www.mdpi.com/2072-4292/13/13/2427>
- Motlagh, Z.K., Lotfi, A., Pourmanafi, S., Ahmadizadeh, S., & Soffianian, A (2020). Spatial modeling of land-use changes in a rapidly urbanizing landscape in central Iran: integration of remote sensing, CA Markov, and landscape metrics, *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 695.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352938519302782>
- Munthali, M.G., Mustak, S., Adeola, A., Botai, J., Singh, S.K., & Davis, N (2020). Modelling land use and land cover dynamics of Dedza district of Malawi using hybrid Cellular Automata and Markov model, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100276.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352938519302782>
- Rahnama, M.R (2021). Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030, *Sustainable Cities and Society*, 64, 102548.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720307642>
- Rahnama, M. R, Shahbazi, A. H, Sargazi, Z (2023). simulation of land use changes in Zahedan Pirasher, development of peri-urban spaces. 1(9): 1-16. (In Persian).
 DOI: 10.22034/JPUSD.2023.351180.1215

- Rimal, B.; Zhang, L.; Keshtkar, H.; Haack, B.N.; Rijal, S.; Zhang, P (2018). Land Use/Land Cover Dynamics and Modeling of Urban Land Expansion by the Integration of Cellular Automata and Markov Chain. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 7(4), 154.
<https://doi.org/10.3390/ijgi7040154>
- Ruben, G.B., Zhang, K., Dong, Z., & Xia, J (2020). Analysis and Projection of Land-Use/LandCover Dynamics through Scenario-Based Simulations Using the CA-Markov Model: A Case Study in Guanting Reservoir Basin, China, *Sustainability*, 12 (9), 3747.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3747>
- Salehi, N; Ekhtesasi M.R; Talebi, A (2018). Predicting the trend of land use changes using the Markov CA model (case study: Safaroud Ramsar watershed), remote sensing and geographic information system in natural resources. 10(1), 106-120. (In Persian).
https://journals.iau.ir/article_665232_b344efcf0e5b8dc9062dfd046db2f7ce.pdf
- Sarli, R, Roshan, G.R, Garb, S (2018) Measuring and forecasting changes in the vegetation cover of Mazandaran province during the period of 2005-2017, using Markov chain and GIS, *Sepehr Geographic Information*, 28(111), 149-162. (In Persian).
<https://ensani.ir/file/download/article/1578471377-9987-111-10.pdf>
- Silver, D., & Silva, TH (2021). A Markov model of urban evolution: Neighbourhood change as a complex process, *PLoS ONE*, 16 (1), e0245357.
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0245357>
- Traore, Arafan; Mawenda, John; Komba, Atupelye W (2018). Land-Cover Change Analysis and Simulation in Conakry (Guinea), Using Hybrid Cellular-Automata and Markov Model. *Urban Sci.* Volume 2, Issue 2.
<https://doi.org/10.3390/urbansci2020039>
- Tang, F., Fu, M., Wang, L., Song, W., Yu, J., & Wu, Y (2021). Dynamic evolution and scenario simulation of habitat quality under the impact of land-use change in the Huaihe River Economic Belt, China, *PLoS ONE*, 16 (4), e0249566.
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0249566>
- Tariq, A., & Shu, H (2020). CA-Markov Chain Analysis of Seasonal Land Surface Temperature and Land Use Land Cover Change Using Optical Multi-Temporal Satellite Data of Faisalabad, Pakistan *Aqil Tariq and Hong Shu, remote sensing*, 12, 3402.
<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/20/3402>
- Vinayak, B., Lee, H.S., & Gadem, S (2021). Prediction of Land Use and Land Cover Changes in Mumbai City, India, Using Remote Sensing Data and a Multilayer Perceptron Neural Network-Based Markov Chain Model, *Sustainability*, 13 (2), 471.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/471>
- Wang, H., & Hu, Y (2021). Simulation of Biocapacity and Spatial-Temporal Evolution Analysis of Loess Plateau in Northern Shaanxi Based on the CA-Markov Model, *Sustainability*, 13, 5901.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/11/5901>
- Wang, S.W., Munkhnasan, L., & Lee, W (2021). Land use and land cover change detection and prediction in Bhutan's high-altitude city of Thimphu, using cellular automata and Markov chain, *Environmental Challenges*, 2, 100017.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010020300172>
- Yousefi, M; Makaniki, J, Ashrafi, A, Nissani Samani, N (2016). Revealing and modeling land use changes using remote sensing data, Markov chain model and automatic cells (case study: Bojnourd city), *Space Geographic Survey* 7 (26), 1-16. (In Persian).
https://gps.gu.ac.ir/article_60535_5bd11ac531dfe5f509273e9e0e6d0ad4.pdf
- Yousheng W, Xinxiao Y, Kangning H, Qingyun L, Yousong Z, Siming S (2011). Dynamic simulation of land use change in Jihe watershed based on CA-Markov model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2011; 2011(12).
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2011.12.062>
- Zhou, L., Dang, X., Sun, Q., & Wang, S (2020). Multi-scenario simulation of urban land change in Shanghai by random forest and CA-Markov model, *Sustainable Cities and Society*, 55, 102045.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720300329>



پایش تحولات نظام کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات بر اساس مدل تلفیقی «زنجیره مارکوف» و «سلول‌های خودکار» مطالعه موردی: شهر ایلام

دکتر حجت شیخی^{۱*}، مراد آزادی^۲

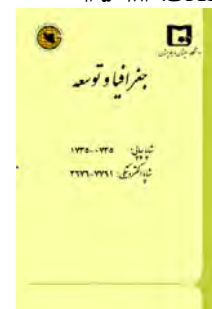
مقاله پژوهشی

چکیده

تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین، یکی از موضوعات اصلی توسعه پایدار است. تغییر کاربری اراضی، نمونه‌ای مهم از تأثیرگذاری انسان بر محیط زیست است که باعث پدید آمدن تغییرات ساختاری در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و فیزیکی می‌گردد. به منظور ارائه علمی منطقی برای تصمیمات برنامه‌ریزی منطقه‌ای و توسعه پایدار، می‌توان از مدل‌های پیش‌بینی الگوهای کاربری اراضی استفاده کرد؛ بنابراین نقشه کاربری اراضی یکی از الزامات هرگونه برنامه‌ریزی توسعه ملی و منطقه‌ای است.

هدف اصلی این مطالعه، پایش تحولات نظام کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات آن با استفاده از «زنجیره مارکوف» است. تغییرات کاربری اراضی، با بهره‌گیری از نقشه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ و با استفاده از ابزار تحلیل تغییرات «LCM» در نرم‌افزار «TerrSet» ارزیابی شد. تغییرات کاربری طی سال‌های مورد نظر نشان می‌دهد که کاربری اراضی انسان‌ساخت از ۹٫۸۱ درصد در سال ۲۰۱۳ به ۱۱٫۶ درصد در سال ۲۰۱۸ و ۱۲٫۷۳ درصد در سال ۲۰۲۳ تبدیل شده است که نشان‌دهنده رشد و توسعه شهر می‌باشد. از سوی دیگر، کاربری اراضی آبی از ۲٫۹۸ درصد در سال ۲۰۱۳ به ۱٫۰۳ درصد در سال ۲۰۲۳ رسیده است که علت آن را می‌توان توسعه شهری، خشکسالی و کمبود آب دانست.

جغرافیا و توسعه، شماره ۷۷، زمستان ۱۴۰۲
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵
تاریخ بازنگری داور: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸
صفحات: ۱۶۵-۱۸۶



واژه‌های کلیدی:
کاربری اراضی، پایش تغییرات، تصاویر ماهواره‌ای، شهر ایلام.

مقدمه

تغییرات کاربری و پوشش زمین، از موضوعات اصلی بررسی تأثیرات زیست‌محیطی جهانی و توسعه پایدار است. توسعه شهری، تأثیر زیادی بر کاربری و پوشش زمین می‌گذارد (کریم‌زاده‌مطلق و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۱؛ Dey et al, 2021: 1-2؛ Aung et al, 2020: 3). تأثیرات تغییر کاربری اراضی ناشی از شهرنشینی سریع، پایداری محیط را مختل می‌کند؛ بنابراین رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، از عوامل محرک و تحول در پوشش‌های مختلف زمین مانند پوشش گیاهی و آب می‌باشد. این تحول مداوم تغییر کاربری اراضی، باعث تخریب محیط زیست می‌شود. شدت این تغییرات در پاسخ به رشد جمعیت جهان و پیامدهای آن بر محیط زیست، ضرورت انجام مطالعاتی دقیق دربارهٔ چنین تغییراتی را دوچندان می‌کند. تجزیه و تحلیل پویایی تغییرات کاربری اراضی در درازمدت، برای درک و ارزیابی تغییرات مختلف در محیط مهم است چرا که به دستیابی به اهداف توسعه پایدار کمک می‌کند (Dey et al, 2021: 2؛ Ruben et al, 2021: 2). بنابراین به منظور ارائه منطقی برای تصمیمات برنامه‌ریزی منطقه‌ای و توسعه پایدار، می‌توان از مدل‌های پیش‌بینی الگوهای کاربری اراضی

براساس اطلاعات مقدماتی گذشته، برای ساخت سناریوهای آینده تغییرات کاربری و پوشش زمین استفاده کرد. مدل سازی پیش بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین، چشم انداز جالبی را برای برنامه های کاربردی در واحدهای برنامه ریزی ایجاد می کند و آن را به ابزاری مؤثر برای تجزیه و تحلیل علت پویایی چشم انداز آینده، تحت سناریوهای مختلف تبدیل می نماید (Wang et al. 2021: 2-3). مدل های استفاده از زمین به مثابه ابزاری قدرتمند برای درک الگوی مکانی- زمانی تغییرات کاربری اراضی در نظر گرفته می شوند؛ مانند «زنجیره مارکوف» (کیانی سلمی و ابراهیمی، ۱۳۹۷: ۷۲؛ سارلی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۵۰؛ 2: Vinayak et al, 2012: 3; Silver & Silva, 2021)، «اتومای سلولی» (Mothlagh et al, 2020) و مدل های ترکیبی مبتنی بر این روش ها (Wang & Hu, 2021; Rahnama, 2021; Metlhodi et al, 2021; Wang et al, 2021: 3; Ghosh et al, 2021; Baqa et al, 2021: 2; Ji et al, 2021: 2-3; Tang et al, 2021: 394) که به طور گسترده ای برای شبیه سازی ابعاد مکانی و زمانی کاربری اراضی استفاده می شوند. توانایی مدل «اتومای سلولی» در شبیه سازی توزیع فضایی واحدهای زمین و مزیت «زنجیره مارکوف»، در پیش بینی تنوع زمانی در بین انواع کاربری اراضی است (Li et al, 2012: 38-39)؛ بنابراین ترکیبی از مدل های «اتومای سلولی» و «مارکوف»، به دلیل توانایی استفاده از مجموعه داده های سنجش از دور در یک محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل سازی پویایی فضایی- زمانی را بهبود می بخشد (Khwarahm et al, 2020: 393; Tariq & Shu, 2020: 2-3; Zhou et al, 2020: 881; Munthali et al, 2020).

تشخیص و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی، برای تصمیم گیری و اجرای سیاست های مناسب در پاسخ به تغییرات و اختلالات رخ داده در زمین ضروری است. آگاهی از نوع و درصد کاربری و پوشش های مختلف، یک نیاز بنیادی به منظور شناخت و مدیریت یک منطقه است و به عنوان اطلاعات پایه برای برنامه ریزان مختلف از اهمیت ویژه ای برخوردار است (عربی علی آباد و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۵۵). به همین دلیل، در سال های اخیر مطالعات زیادی در این باره صورت گرفته است.

تراور و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تلفیق دو مدل «شبکه خودکار» و «زنجیره مارکوف» در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) به تجزیه و تحلیل و شبیه سازی روند تغییرات کاربری در پایتخت کشور گینه پرداختند. نتایج، افزایش کاربری شهری از ۴۹ به ۵۲ درصد و کاهش پوشش گیاهی از ۳۵ به ۳۲ درصد را نشان داد. هوانگ و همکاران (۲۰۲۰) به پیش بینی کاربری اراضی شهر پکن با استفاده از مدل تلفیقی «زنجیره مارکوف» و «سلول های خودکار» پرداختند و پیش بینی کردند که در سال ۲۰۳۰ مساحت مناطق کشاورزی کاهش و مساحت مناطق مسکونی افزایش خواهد یافت.

ریمال و همکاران (۲۰۱۸) به مدل سازی روند توسعه شهر در منطقه کاتماندو در کشور نپال با استفاده از تلفیق مدل «شبکه خودکار» و «زنجیره مارکوف» پرداختند. نتایج نشان دهنده گسترش بی رویه شهر به خصوص از تغییر کاربری زمین های کشاورزی به کاربری شهری با میانگین رشد سالیانه ۹/۱۵ درصد است. تراور و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تلفیق دو مدل «شبکه خودکار» و «زنجیره مارکوف» در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) به تجزیه و تحلیل و شبیه سازی روند تغییرات کاربری در پایتخت کشور گینه پرداختند. نتایج، افزایش کاربری شهری از ۴۹ به ۵۲ درصد و کاهش پوشش گیاهی از ۳۵ به ۳۲ درصد را نشان داد. هوانگ و همکاران (۲۰۲۰) به پیش بینی کاربری اراضی شهر پکن با استفاده از مدل تلفیقی «زنجیره مارکوف» و «سلول های خودکار»

پرداختند و پیش‌بینی کردند که در سال ۲۰۳۰ مساحت مناطق کشاورزی کاهش و مساحت مناطق مسکونی افزایش خواهد یافت.

ریمال و همکاران (۲۰۱۸) به مدل‌سازی روند توسعه شهر در منطقه کاتماندو در کشور نپال با استفاده از تلفیق مدل «شبکه خودکار» و «زنجیره مارکوف» پرداختند. نتایج نشان‌دهنده گسترش بی‌رویه شهر به‌خصوص از تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی به کاربری شهری با میانگین رشد سالیانه ۹/۱۵ درصد است. تراور و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تلفیق دو مدل «شبکه خودکار» و «زنجیره مارکوف» در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) به تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی روند تغییرات کاربری در پایتخت کشور گینه پرداختند. نتایج، افزایش کاربری شهری از ۴۹ به ۵۲ درصد و کاهش پوشش گیاهی از ۳۵ به ۳۲ درصد را نشان داد. هوانگ و همکاران (۲۰۲۰) به پیش‌بینی کاربری اراضی شهر پکن با استفاده از مدل تلفیقی «زنجیره مارکوف» و «سلول‌های خودکار» پرداختند و پیش‌بینی کردند که در سال ۲۰۳۰ مساحت مناطق کشاورزی کاهش و مساحت مناطق مسکونی افزایش خواهد یافت.

یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) به آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل «زنجیره مارکوف» و «سلول‌های خودکار» در شهر بجنورد پرداختند. نتایج نشان داد که اراضی کشاورزی آبی و دیم روند کاهشی و اراضی شهری و بایر، روند افزایشی خواهند داشت. جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۷) به مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با استفاده از «زنجیره مارکوف» در قائم‌شهر پرداختند. نتایج مدل‌سازی برای سال ۱۴۰۲ نشان‌دهنده افزایش بسیار زیاد کاربری مسکونی و باغ و کاهش چشمگیر کاربری کشاورزی است. صالحی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی به پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل تلفیقی «زنجیره مارکوف» و «سلول‌های خودکار» در رامسر پرداختند. براساس نتایج حاصل از این تحقیق، مشخص شد که اراضی مسکونی، پویاترین کاربری موجود در منطقه است و تا سال ۲۰۲۸، ۸/۰۴ درصد افزایش مساحت خواهد داشت. رهنما (۱۴۰۲)، در مطالعه‌ای به شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در پیراشهر زاهدان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. نتایج نشان می‌دهد بیشترین کاهش کاربری، در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در باغات و اراضی کشاورزی پیراشهر زاهدان و بیشترین افزایش کاربری در محدوده ساخته‌شده و اراضی بایر اتفاق افتاده است و در سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۰، کاربری‌های مرتع، ساخته‌شده و کشاورزی، افزایشی و اراضی بایر کاهشی بوده است. در این تحقیق سپس نسبت به پیش‌بینی برای سال ۲۰۴۰ اقدام شده است که براساس پیش‌بینی سال ۲۰۴۰ محدوده‌های ساخته‌شده حدود ۱۱/۷ درصد افزایش مساحت خواهند داشت.

شهر ایلام از جمله شهرهای میانی ایران در غرب کشور و مرکز سیاسی استان ایلام است. این شهر جدای از روند تاریخی آن، در اوایل جنگ تحمیلی مورد تهاجم قرار گرفت و به قسمت بزرگی از تأسیسات زیربنایی، آموزشی، فرهنگی، بهداشتی، کالبدی و امکانات ارتباطی آن آسیب جدی وارد شد. پس از جنگ، بافت کالبدی شهر، ساختارهای اقتصادی-اجتماعی و زیربنایی شهر مرمت شد و توسعه کالبدی شهر نیز روند سریعی به خود گرفت. رشد طبیعی جمعیت، مهاجرت از روستاها و شهرهای کوچک به شهر ایلام، افزایش جمعیت و در کنار آن توسعه سریع کالبدی، از وجوه بارز شهر در چند دهه گذشته و به‌ویژه بعد از پایان جنگ تحمیلی بوده است. با توجه به اهمیت رهیافت توسعه پایدار در توسعه شهری و رشد و تعادل اکولوژیک یک شهر، ضرورت دارد که برنامه‌ریزی‌های

زیست- محیطی و شهری در چهارچوب توان‌های اکولوژیک و شهری باشد. همچنین با در نظر گرفتن روند افزایش جمعیت شهر ایلام و در پی آن گسترش فیزیکی و ملحق شدن روستاهای پیرامونی به شهر، بررسی روند توسعه فیزیکی و گسترش شهر و پیش‌بینی این روند در آینده، نه تنها به برنامه‌ریزان و مدیران در رفع مشکلات موجود یاری می‌رساند بلکه می‌تواند مسیری مشخص و روشن برای برنامه‌ریزی‌های آینده ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

نوع تحقیق از حیث هدف کاربردی و روش انجام آن توصیفی- تحلیلی است. در این تحقیق برای استخراج کلاس‌های پوشش زمین، از تصاویر ماهواره‌ای سری لندست ۸، استفاده شده است که از سایت رسمی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) تهیه گردیده است. سپس تصاویر تصحیح اتمسفری و رادیومتریک خواهند شد و براساس روش طبقه‌بندی نظارت‌شده میزان تغییرات هر یک از کاربری‌ها محاسبه خواهد شد. جهت صحت‌سنجی نتایج از ضریب کاپا استفاده می‌شود. در نهایت براساس مدل «زنجیره مارکوف» میزان تغییرات تا سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی می‌شود.

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده در پژوهش

ردیف	تاریخ تصویر	شماره گذر و ردیف	ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک (متر)
۱	۲۰۱۳	۳۷-۱۶۷	LANDSAT_8	OLI	۳۰ متر
۲	۲۰۱۸	۳۷-۱۶۷	LANDSAT_8	OLI	۳۰ متر
۳	۲۰۲۳	۳۷-۱۶۷	LANDSAT_8	OLI	۳۰ متر

ماخذ: سازمان نقشه برداری کشور

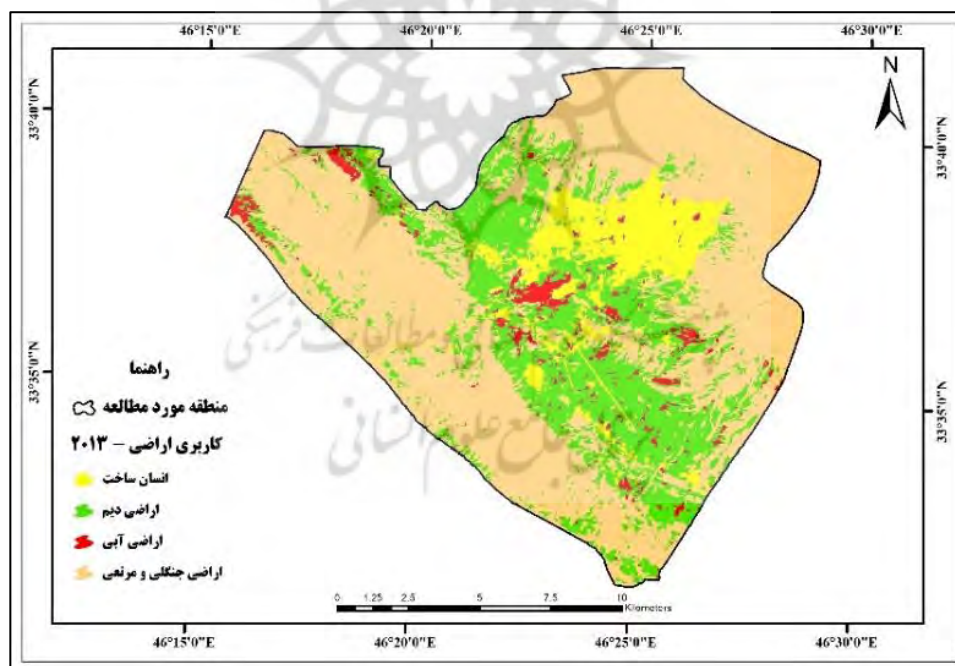
در این تحقیق، برای تجزیه و تحلیل اطلاعات، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه از سایت «USGS» دریافت شد و سپس به منظور ارزیابی و پیش‌بینی توسعه شهری از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی «GIS» استفاده شده است. بدین منظور تصاویر در محیط «GIS» زمین مرجع شده و سپس تغییرات براساس چهار کاربری: انسان‌ساخت، اراضی دیم، اراضی آبی و اراضی جنگلی و مرتعی درصدبندی و بر حسب فواصل زمانی مقایسه شده است. سپس برحسب نمونه‌های برداشت‌شده از نرم‌افزار «Google Earth» تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار «SAGA» طبقه‌بندی شده است. در مرحله بعد خروجی نرم‌افزار «SAGA» در نرم‌افزار «ENVI» فراخوان و کلاس‌بندی طبقات براساس دستور «Density Slice» صورت گرفته است. همچنین در این نرم‌افزار، میزان کاپا محاسبه و اعتبارسنجی شده است. بدین منظور ضمن برداشت نمونه از گوگل‌ارث در محیط نرم‌افزار «ENVI» از دستور «Confusion Matrix» استفاده شده است. برحسب این دستور نقشه کلاس‌بندی‌شده در نرم‌افزار «ENVI» و نقاط نمونه‌برداری‌شده از گوگل‌ارث هر یک مورد بررسی و همخوانی قرار می‌گیرند. در نهایت پس از کلاس‌بندی کاربری‌ها و همچنین مشخص شدن اعتبار نقشه‌ها، جهت محاسبه میزان مساحت هر کاربری و نمایش نقشه‌ها به تفکیک دوره‌های زمانی، از نرم‌افزار «GIS» استفاده شده است. همچنین جهت پیش‌بینی کاربری‌های در سال ۲۰۲۸ و ۲۰۳۳ از «زنجیره مارکوف» در نرم‌افزار «TerrSet» استفاده شده است. بدین منظور از سه نقشه پایه سال ۲۰۱۳،

۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ استفاده شده است. در محیط نرم‌افزاری «TerrSet» ابتدا تصاویر موجود برحسب دستور «Import» تغییر فرمت و سپس برحسب دستور «Marcov» میزان احتمال تغییر هر کلاس به کلاس دیگر مشخص و پس از آن برحسب دستور «CA- Marcov» براساس نقشه پایه میزان احتمال تغییر هر کلاس به کلاس دیگر پیش‌بینی کاربری‌ها برای سال ۲۰۲۸ و ۲۰۳۳ صورت گرفته است.

یافته‌های پژوهش

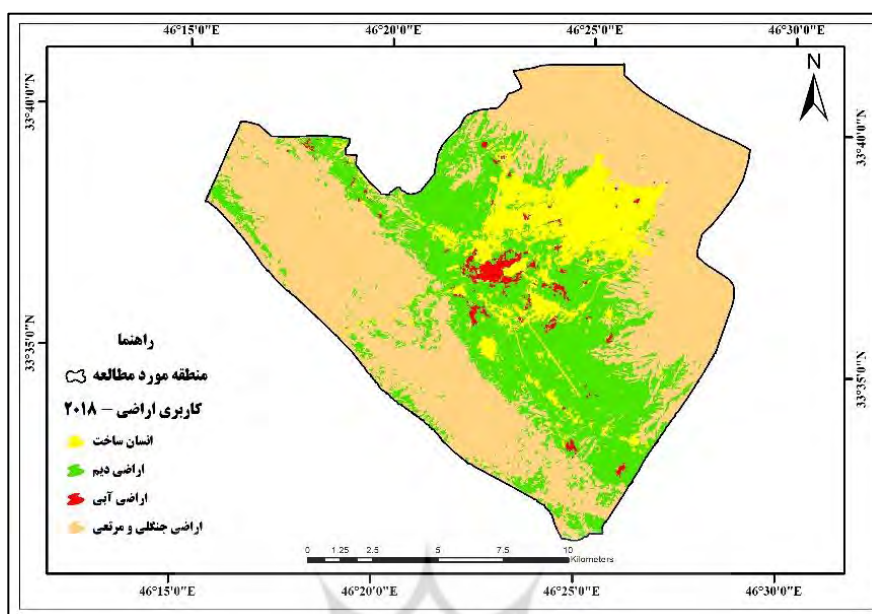
تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در یک دوره ده ساله (۲۰۱۳-۲۰۲۳) از تصاویر ماهواره لندست ۸ سنجنده «OLI» استفاده شده است. با انجام تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار «ENVI5.3» با استفاده روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال طبقه‌بندی شدند. با توجه به هدف مطالعه، چهار طبقه کاربری (انسان‌ساخت، اراضی آبی، اراضی دیم و اراضی جنگلی و مرتعی) مورد بررسی قرار گرفت و نسبت به برداشت نقاط آموزشی برای هر کاربری اقدام گردید. در نهایت نقشه‌های طبقه‌بندی شده تهیه شدند (شکل‌های ۱، ۲ و ۳).



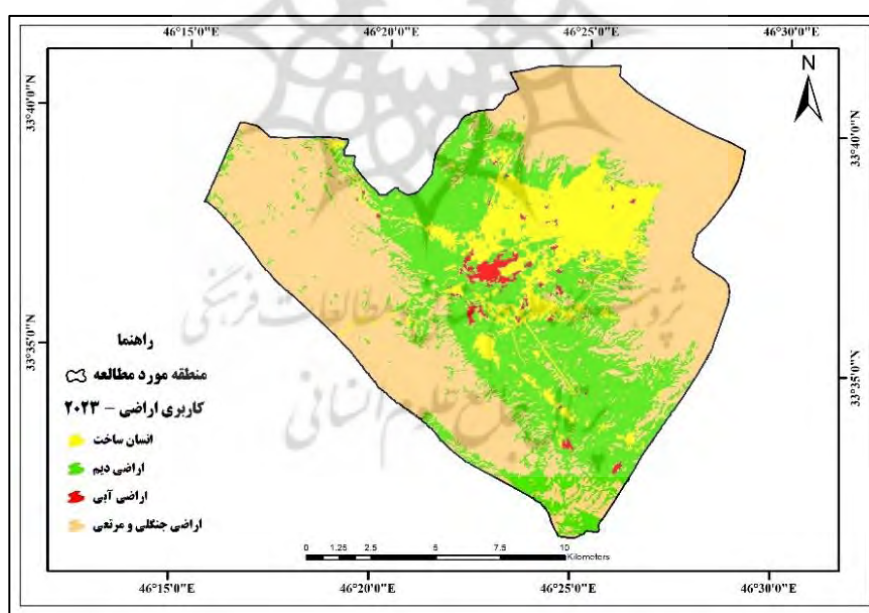
شکل ۱: نقشه کاربری اراضی ۲۰۱۳

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۴۰۲



شکل ۲: نقشه کاربری اراضی ۲۰۱۸

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۴۰۲



شکل ۳: نقشه کاربری اراضی ۲۰۲۳

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۴۰۲

تغییرات کاربری در طی سال‌های مورد نظر نشان می‌دهد که کاربری اراضی انسان‌ساخت از ۹,۸۱ درصد در سال ۲۰۱۳ به ۱۱,۶ درصد در سال ۲۰۱۸ و ۱۲,۷۳ درصد در سال ۲۰۲۳ تبدیل شده است که نشان‌دهنده رشد و توسعه شهر می‌باشد. از سوی دیگر، کاربری اراضی آبی از ۲,۹۸ درصد در سال ۲۰۱۳ به ۱,۰۳ درصد در سال

۲۰۲۳ رسیده است که علت آن را می‌توان توسعه شهری، خشکسالی و کمبود آب دانست. نتایج حاصل از مساحت و درصد هر یک از کاربری‌ها در طی دوره‌های آماری مورد مطالعه، در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: میزان مساحت (هکتار) و درصد کاربری‌های نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده

۲۰۲۳		۲۰۱۸		۲۰۱۳		سال
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	کاربری
۱۲,۷۳	۲۷۲۲,۸۶	۱۱,۶۰	۲۴۸۰,۴۹	۹,۸۱	۲۰۹۸,۹۸	انسان‌ساخت
۳۰,۷۳	۶۵۷۲,۹۷	۲۹,۳۴	۶۲۷۳,۹	۲۵,۸۱	۵۵۲۱,۱۴	اراضی دیم
۱,۰۳۱	۲۲۰,۵	۱,۳۵	۲۹۰,۲۵	۲,۹۸	۶۳۶,۹۳	اراضی آبی
۵۵,۵۰	۱۱۸۶۸,۸	۵۷,۷۰	۱۲۳۳۸	۶۱,۴۰	۱۳۱۳۴,۹	اراضی جنگلی و مرتعی

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی

به‌منظور بررسی درستی طبقه‌بندی نقشه‌ها، مقایسه‌ای با نقشه‌های کاربری موجود صورت گرفت و همچنین بررسی‌های میدانی انجام شد؛ لذا با استفاده از ۱۲۰ نقطه زمینی که با بهره‌گیری از برداشت زمینی و نرم‌افزار گوگل‌ارث و نقشه‌های کاربری موجود تهیه شده است، نسبت به صحت‌سنجی نقشه‌ها اقدام گردید و نتایج حاصل از مقایسه نقاط نمونه‌برداری شده با واقعیت زمینی، در ماتریس خطا وارد شد و براساس آن دقت کل و ضریب کاپا به‌دست آمد. نتایج نشان‌داد که نقشه‌های به‌دست‌آمده از الگوریتم حداکثر احتمال، از دقت کافی برخوردار هستند

جدول ۳: ارزیابی درستی طبقه‌بندی کاربری اراضی در بازه زمانی مورد مطالعه

سال	دقت کل	ضریب کاپا
۲۰۱۳	۹۳	۰,۹۱
۲۰۱۸	۹۶	۰,۹۳
۲۰۲۳	۹۵	۰,۹۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی کاربری‌ها در طی دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۳

تغییرات کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ با استفاده از ابزار تحلیل تغییرات (LCM) در نرم‌افزار «TerrSet» ارزیابی شد. شکل‌های (۴، ۵ و ۶) نوع تبدیل کاربری اراضی به یکدیگر طی دوره‌های زمانی ۲۰۱۳-۲۰۱۸، ۲۰۲۳-۲۰۱۸ و ۲۰۲۳-۲۰۱۳ را نشان می‌دهد. همان‌طور که از جدول (۴) نیز پیداست، در این دوره (۲۰۱۳-۲۰۱۸) کاربری اراضی انسان‌ساخت و اراضی دیم، دارای روند افزایشی و کاربری اراضی آبی و اراضی جنگلی و مرتعی دارای روندی کاهشی بوده است. بیشتر این تغییرات از لحاظ مقدار و مساحت، به کاربری اراضی جنگلی و مرتعی با ۱۰۶۲,۹ هکتار و ۴,۹۷ درصد می‌باشد که تبدیل به اراضی دیم شده است. همچنین بر اساس جدول (۴) مشخص است که در دوره اول (۲۰۱۳-۲۰۱۸)، بیش‌ترین تغییرات مربوط به کاربری اراضی دیم می‌باشد که به‌میزان ۱۳۷۲ هکتار (۶,۴۱ درصد) افزایش و به‌میزان ۶۱۸ هکتار (۲,۸۹ درصد) کاهش یافته است. در این دوره مناطق مسکونی نیز به‌میزان ۴۸۴ هکتار افزایش یافته است و نزدیک ۳۶۲

هکتار از اراضی جنگلی و مرتعی به اراضی انسان‌ساخت تبدیل شده است. در دوره دوم نیز (۲۰۲۳-۲۰۱۸)، بیش‌ترین تغییرات مربوط به کاربری جنگلی و مرتعی و همچنین اراضی دیم است که به‌میزان ۷,۰۹ درصد (۱۵۱۷) از اراضی جنگل و مرتعی به اراضی دیم و ۵,۰۲۹ درصد (۱۰۷۴) از اراضی دیم به اراضی جنگلی و مرتعی تبدیل شده است (جدول ۵). در دوره سوم یعنی (۲۰۲۳-۲۰۱۳)، بیش‌ترین تغییرات کاهشی مربوط به کاهش نزدیک ۱۲ درصدی (۲۵۶۳,۲۹ هکتار) اراضی جنگلی و مرتعی و کم‌ترین تغییرات کاهشی نیز کاهش ۱,۹۹ درصدی (۴۲۵ هکتار) اراضی آبی منطقه است. بیش‌ترین تغییرات افزایشی نیز مربوط به اراضی انسان‌ساخت و اراضی دیمی به‌ترتیب ۳,۱۵۹ درصد (۶۷۵,۵۴ هکتار) و ۱۰,۹۲ درصد (۲۳۳۵,۵ هکتار) می‌باشد که در این دوره بیش‌ترین تبدیل اراضی مربوط به تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به اراضی دیم ۱۰,۰۸ درصد (۲۱۵۶ هکتار) و اراضی دیم به اراضی جنگلی و مرتعی ۴,۷۹ درصد (۱۰۲۵ هکتار) می‌باشد. در ادامه به‌منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات هر یک از کاربری‌ها، میزان تغییرات خالص هر طبقه با توجه به نقشه دیگر کاربری‌ها، به‌تفکیک در جدول‌های (۴، ۵ و ۶) آورده شده است.

جدول ۴: میزان مساحت (هکتار) و درصد تبدیل کاربری‌های به هم در طی دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۳

۲۰۱۸								سال	
اراضی جنگلی و مرتعی		اراضی آبی		اراضی دیم		انسان‌ساخت		کاربری	سال
درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت		
۰,۰۶	۱۲,۹۶	۰,۰۰۶	۱,۴۴	۰,۴۱۲	۸۸,۲	۹,۳۳	۱۹۹۵,۲۱	انسان‌ساخت	۲۰۱۳
۲,۲۳	۴۷۶,۶۴	۰,۱۶۵	۳۵,۲۸	۲۲,۹۲	۴۸۹۸,۴۳	۰,۴۹۸	۱۰۶,۴۷	اراضی دیم	
۰,۷۳۵	۱۵۷,۳۲	۱,۱۳	۲۴۲,۱۹	۱,۰۳۳	۲۲۰,۹۵	۰,۰۷۴	۱۵,۹۳	اراضی آبی	
۵۴,۶۸	۱۱۶۸۸,۵	۰,۰۵۲	۱۱,۱۶	۴,۹۷	۱۰۶۲,۹	۱,۶۹	۳۶۲,۲۵	اراضی جنگلی و مرتعی	

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

جدول ۵: میزان مساحت (هکتار) و درصد تبدیل کاربری‌های به هم در طی دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۸

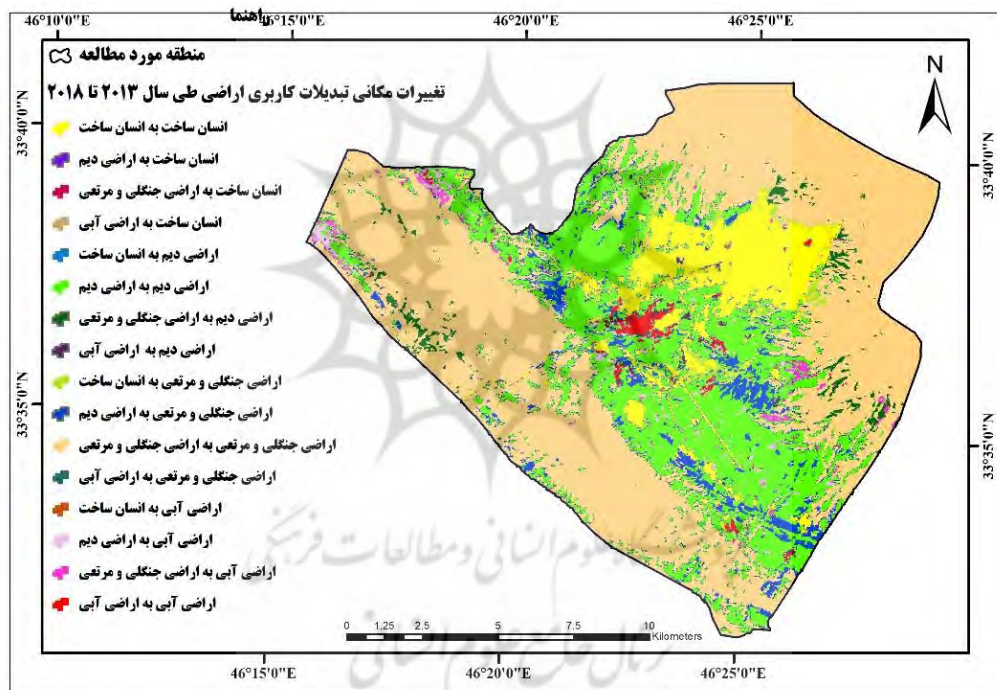
۲۰۲۳								سال	
اراضی جنگلی و مرتعی		اراضی آبی		اراضی دیم		انسان‌ساخت		کاربری	سال
درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت		
۰,۰۲۰۶	۴,۴۱	۰,۰۰۰۴	۰,۰۹	۰,۰۶۹	۱۴,۷۶	۱۱,۵۱	۲۴۶۰,۶	انسان‌ساخت	۲۰۱۸
۵,۰۲۹	۱۰۷۴,۸۷	۰,۰۰۰۴	۰,۰۹	۲۳,۲۷	۴۹۷۳,۹۴	۱,۰۳۵	۲۲۱,۲۲	اراضی دیم	
۰,۰۲۶	۵,۷۶	۱,۰۳	۲۲۰,۱۴	۰,۲۸۸	۶۱,۶۵	۰,۰۱۲	۲,۷	اراضی آبی	
۵۰,۴۲۹	۱۰۷۷۷,۵	۰	۰	۷,۰۹	۱۵۱۷,۱۳	۰,۱۷	۳۶,۷۲	اراضی جنگلی و مرتعی	

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

جدول ۶: میزان مساحت (هکتار) و درصد تبدیل کاربری‌های به هم در طی دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۳

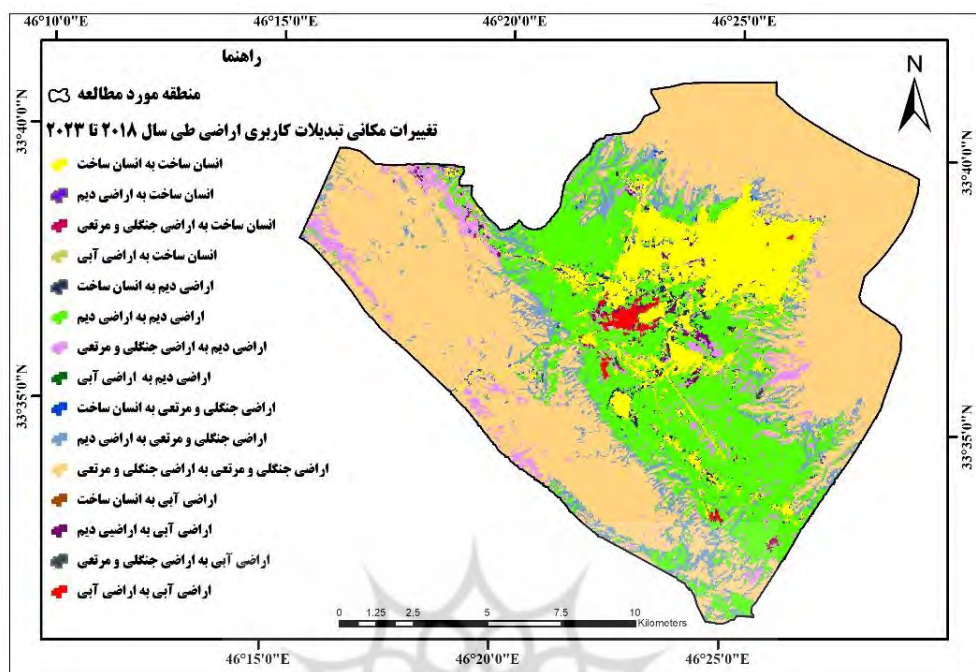
سال		۲۰۲۳							
سال	کاربری	انسان ساخت		اراضی دیم		اراضی آبی		اراضی جنگلی و مرتعی	
		درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت
۲۰۱۳	انسان ساخت	۹,۵۷	۲۰۴۶,۴۲	۰,۱۸۷	۴۰,۰۵	۰	۱۱,۷	۰,۰۵۴	۴,۷۹۴
	اراضی دیم	۱,۱۹۶	۲۵۵,۷۸	۱۹,۸۰۸	۴۲۳۴,۶۸	۰,۰۰۸۸	۱,۸۹	۰,۰۰۸۸	۱۰۲۵,۰۱
	اراضی آبی	۰,۰۹۵	۲۰,۴۳	۰,۶۵	۱۳۹,۰۵	۰,۹۸۶	۲۱۰,۹۶	۰,۹۸۶	۲۶۶,۴
	اراضی جنگلی و مرتعی	۱,۸۶۷	۳۹۹,۳۳	۱۰,۰۸۷	۲۱۵۶,۴	۰,۰۳۵	۷,۵۶	۰,۰۳۵	۱۰۵۶۲,۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲



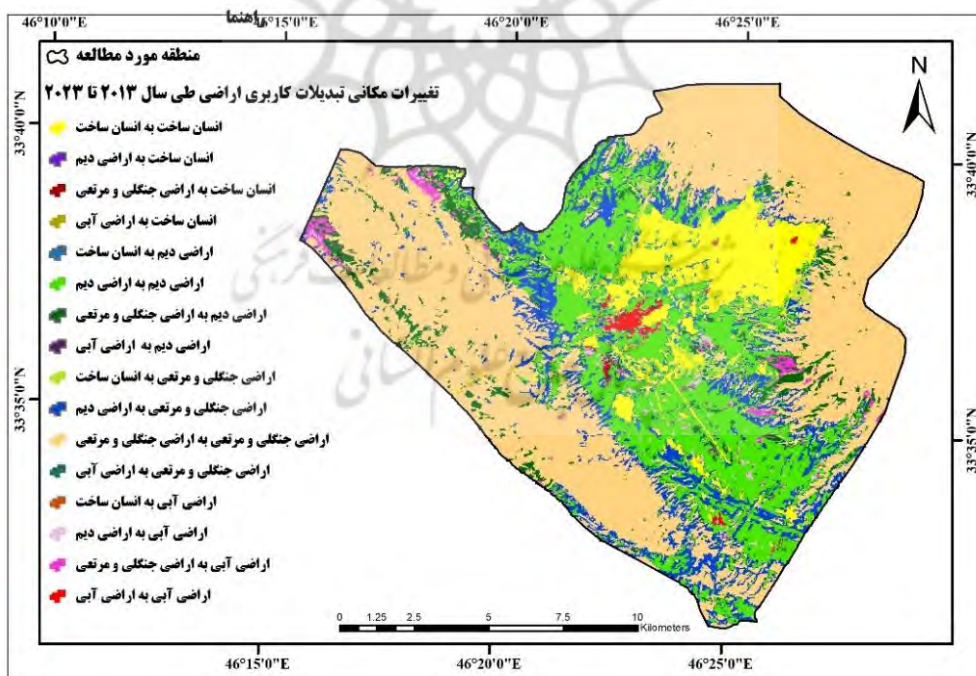
شکل ۴: تبدیل تغییرات کاربری اراضی در دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۳

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۴۰۲



شکل ۵: تبدیل تغییرات کاربری اراضی در دوره ۲۰۲۳ - ۲۰۱۸

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۴۰۲



شکل ۶: تبدیل تغییرات کاربری اراضی در دوره ۲۰۲۳ - ۲۰۱۳

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۴۰۲

مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی

تحلیل «زنجره مارکوف»

در این مرحله، بعد از تهیه نقشه های کاربری اراضی برای سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ به منظور شبیه سازی برای سال ۲۰۲۳ و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی برای دوره ۵ ساله و ۱۰ ساله بعدی یعنی سال های ۲۰۲۸ و ۲۰۳۳ از تحلیل «زنجره مارکوف» و «سلول خودکار» استفاده شده است. «زنجره مارکوف» شامل دو ماتریس احتمالات قابل توجه است که عبارتند از: ماتریس احتمال انتقال وضعیت و ماتریس ناحیه انتقال وضعیت. ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هر کدام از کاربری ها به کاربری دیگر را نمایش می دهد. این ماتریس نتیجه جدول حاصل از تطابق نقشه های دو تصویر می باشد که توسط خطای نسبی اصلاح شده است. جدول های (۷ و ۸) ماتریس های احتمال انتقال به دست آمده از «زنجره مارکوف» می باشند

جدول ۷: ماتریس احتمال انتقال وضعیت به دست آمده از نقشه های کاربری زمین طی سال های ۲۰۱۳-۲۰۱۸

تغییر از:	احتمال تغییر تا سال ۲۰۱۸ به:			
۲۰۱۳	اراضی انسان ساخت	اراضی دیم	اراضی آبی	اراضی جنگلی و مرتعی
اراضی انسان ساخت	۰,۹۵۱۱	۰,۰۴۲۰	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۶۲
اراضی دیم	۰,۰۱۹۳	۰,۸۸۷۹	۰,۰۰۶۴	۰,۰۰۸۶۴
اراضی آبی	۰,۰۲۵۰	۰,۳۴۷۲	۰,۳۸۰۶	۰,۲۴۷۲
اراضی جنگلی و مرتعی	۰,۰۲۷۶	۰,۰۸۱۰	۰,۰۰۰۹	۰,۸۹۰۶
جمع کل	۱,۰۲۳	۱,۳۵۸۱	۰,۳۸۸۶	۱,۲۳۰۴
به دست آوردن	۰,۰۷۱۹	۰,۴۷۰۲	۰,۰۰۰۸	۰,۳۳۹۸

مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۳

جدول ۸: ماتریس احتمال انتقال وضعیت به دست آمده از نقشه های کاربری زمین طی سال های ۲۰۱۳-۲۰۲۳

تغییر از:	احتمال تغییر تا سال ۲۰۲۳ به:			
۲۰۱۳	اراضی انسان ساخت	اراضی دیم	اراضی آبی	اراضی جنگلی و مرتعی
اراضی انسان ساخت	۰,۹۷۵۳	۰,۰۱۹۱	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۵۶
اراضی دیم	۰,۰۴۶۴	۰,۷۶۷۵	۰,۰۰۰۳	۰,۱۸۵۸
اراضی آبی	۰,۰۳۲۱	۰,۲۱۸۳	۰,۳۳۱۳	۰,۴۱۸۳
اراضی جنگلی و مرتعی	۰,۰۳۰۴	۰,۱۶۴۳	۰,۰۰۰۶	۰,۸۰۴۷
جمع کل	۱,۰۸۴۲	۱,۱۶۹۲	۰,۳۳۲۲	۱,۴۱۴۴
به دست آوردن	۰,۱۰۸۹	۰,۴۰۱۷	۰,۰۰۰۹	۰,۶۰۹۷

مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۳

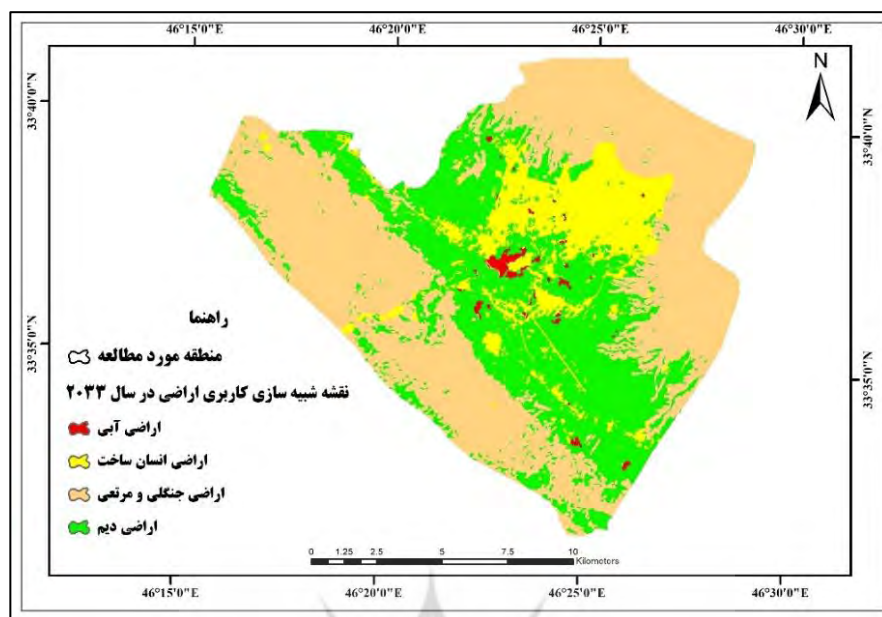
شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی

در مطالعه حاضر به منظور پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی، ابتدا باید دقت مدل را بررسی کرد؛ از این‌رو ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۸ به داخل نرم‌افزار «IDRISI Terrset» فراخوانی شدند، سپس ماتریس ناحیه انتقال وضعیت و ماتریس احتمال انتقال وضعیت براساس نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۸ برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۳ با استفاده از تحلیل «مارکوف» ایجاد شده‌اند (جدول ۹)، همچنین با اجرای مدل «CA-Markov» در «نرم‌افزار IDRISI»، نقشه نتایج پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۳ با یک فیلتر مجاورت ۵×۵ به دست آمده است که چرخه اجرای آن ۵ سال است. شکل (۷) نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳ است. مرحله بعدی استفاده از ماژول «CROSSTAB» در «IDRISI» است. نتایج پیش‌بینی با هم‌پوشانی نقشه طبقه‌بندی شده کاربری زمین در سال ۲۰۲۳ (شکل ۳) مقایسه شده و تجزیه و تحلیل می‌شوند. معمولاً اگر شاخص کاپا کمتر یا مساوی ۰,۴ باشد، کاربری اراضی به شدت و با سازگاری ضعیف بین دو تصویر تغییر کرده است. اگر شاخص کاپا ۰,۴-۰,۷۵ باشد، در این صورت سازگاری کلی و تغییرات آشکار بین دو تصویر وجود دارد. در غیر این صورت، سازگاری بالایی بین دو تصویر وجود دارد (Yousheng et al, 2011: 3). معمولاً مقادیر کاپا از ۰ تا ۱ متغیر است. مقادیر ۰,۶۱-۰,۸۰ به معنای قابل توجه است، در حالی که ۰,۸۱-۱ به معنای تقریباً کامل است (Feinstein & Cicchetti, 1990: 544). در اینجا، شاخص کاپا بین نقشه پیش‌بینی شده و نقشه مشاهده شده سال ۲۰۲۳ برابر با ۰,۸۱۲۸ است که بالای ۰,۷۵ است و نشان‌دهنده قابل اعتماد بودن نتایج است؛ بنابراین بین نتایج مشاهده شده واقعی و نتایج پیش‌بینی شده، سازگاری بالایی وجود دارد و دقت پیش‌بینی‌های صحیح نسبتاً بالاست؛ از این‌رو می‌توان از این روش برای پیش‌بینی نتایج در سال‌های ۲۰۲۸ و ۲۰۲۳ استفاده کرد. همچنین براساس جدول (۹)، که مساحت کاربری‌های سال ۲۰۲۳ واقعی و مساحت کاربری‌های ۲۰۲۳ شبیه‌سازی شده می‌باشد، اختلاف مساحت بین طبقه‌های کاربری متفاوت است و بزرگی این اختلاف خیلی کم است که نشان‌دهنده مفید بودن مدل تلفیقی «مارکوف-سلول خودکار» و قابلیت بهره‌گیری از آن در پیش‌بینی تغییرات کاربری است.

جدول ۹: میزان مساحت (هکتار) و درصد کاربری‌های نقشه‌های طبقه‌بندی شده

کاربری	۲۰۲۳ موجود		۲۰۲۳ شبیه‌سازی شده	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
انسان ساخت	۲۷۲۲,۸۶	۱۲,۷۳	۲۸۲۷,۲۶	۱۳,۲۱
اراضی دیم	۶۵۷۲,۹۷	۳۰,۷۳	۶۷۸۳,۱۲	۳۱,۷۱
اراضی آبی	۲۲۰,۵	۱,۰۳۱	۱۶۲	۰,۷۵۷
اراضی جنگلی و مرتعی	۱۱۸۶۸,۸	۵۵,۵۰	۱۱۶۱۶,۹	۵۴,۳۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲



شکل ۷: نقشه شبیه سازی شده سال ۲۰۲۳

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۴۰۲

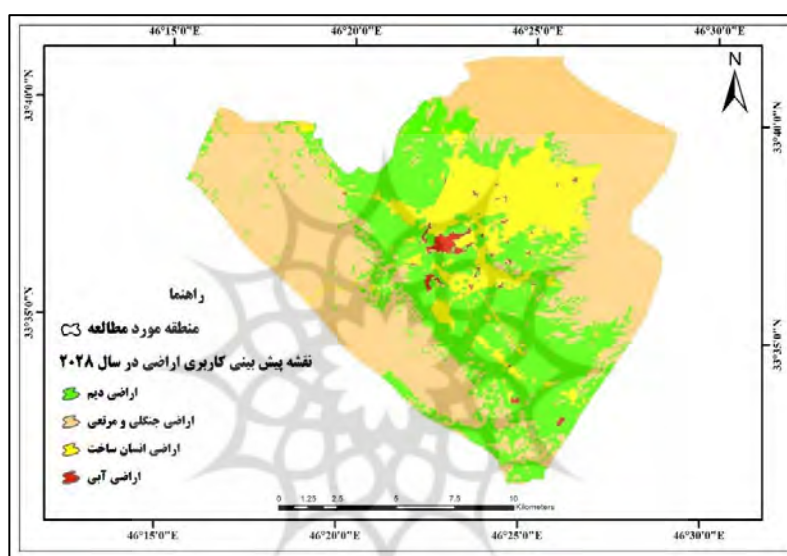
پیش بینی تغییرات کاربری اراضی

بعد از ارزیابی دقت مدل، نتایج تغییرات پیش بینی شده کاربری اراضی برای دوره پنج ساله (سال ۲۰۲۸) و دوره ده ساله (سال ۲۰۳۳) مورد بررسی قرار گرفت. در اینجا با مبنا قرار دادن نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۱۳ و با استفاده از ماتریس مساحت انتقال یافته، ابتدا با انتخاب چرخه ۵ ساله نسبت به تهیه نقشه پیش بینی سال ۲۰۲۸ اقدام گردید (شکل ۸)، سپس با انتخاب چرخه ۱۰ ساله، نسبت به تهیه نقشه پیش بینی سال ۲۰۳۳ اقدام شد (شکل ۹). در نتیجه برای پیش بینی سال ۲۰۲۸، فاصله زمانی ۵ سال است در حالی که برای سال ۲۰۳۳، زمان فاصله ۱۰ سال می باشد. جدول (۱۰) جدول آماری بر اساس نتایج پیش بینی کننده در سال های ۲۰۲۸ و ۲۰۳۳ است. به طور کلی در سال های ۲۰۲۸ و ۲۰۳۳ مساحت جنگل ها و مراتع بسیار کاهش یافت و مساحت زمین های انسان ساخت به خصوص در سال ۲۰۳۳ به میزان معینی افزایش یافت؛ بنابراین برای در نظر گرفتن اکولوژی، حفاظت از جنگل ها در برنامه ریزی ضروری است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که زمین های انسان ساخت، رشد تدریجی اما مستمر خواهند داشت، زیرا در سال ۲۰۱۳، ۹،۸۶ درصد، در سال ۲۰۲۳، ۱۲،۷۳ درصد، در سال ۲۰۲۸ پیش بینی شده ۱۳،۷۶ درصد و در سال ۲۰۳۳ پیش بینی شده ۱۵،۵۵ درصد را نشان می دهد. به طور قابل توجهی رشد در زمین های دیم نه تنها برای دوره های پیش بینی شده ادامه می یابد بلکه علت اصلی کاهش سایر کاربری ها نیز می باشد زیرا با ۲۵،۸۱٪ در سال ۲۰۱۳، ۳۰،۷۳٪ در سال ۲۰۲۳ به ۳۱،۵۳ درصد در سال ۲۰۲۸ و ۳۳،۱۶٪ در سال ۲۰۳۳ رسیده است. از سوی دیگر کاهش در اراضی آبی، با ریتم کاهش کمتری نسبت به دوره های قبل ادامه خواهد داشت. همچنین اراضی جنگلی و مرتعی از ۶۱،۴۰ درصد در سال ۲۰۱۳، ۵۵،۵۰ درصد در سال ۲۰۲۳ و ۵۰،۹ درصد در سال ۲۰۳۳ به کاهش خود ادامه می دهند.

جدول ۱۰: میزان مساحت (هکتار) و درصد کاربری‌های نقشه‌های پیش‌بینی شده

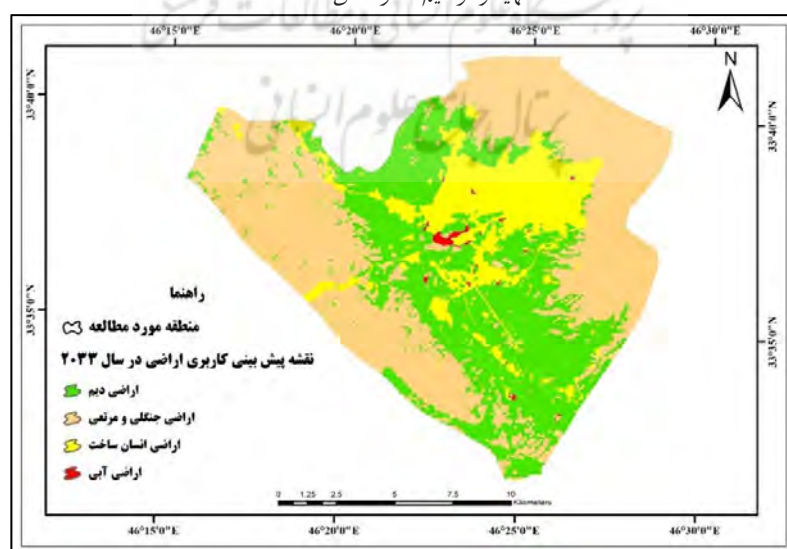
کاربری	سال ۲۰۲۸		سال ۲۰۳۳	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
انسان ساخت	۲۹۴۳,۹۹	۱۳,۷۶	۳۳۲۸,۴۷	۱۵,۵۵
اراضی دیم	۶۷۴۶,۲۲	۳۱,۵۳	۷۰۹۴,۹۷	۳۳,۱۶
اراضی آبی	۱۶۷,۴	۰,۷۸	۸۰,۹۱	۰,۳۷۸
اراضی جنگلی و مرتعی	۱۱۵۳۵,۹	۵۳,۹۲	۱۰۸۹۰,۱	۵۰,۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲



شکل ۸: نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۸

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۴۰۲



شکل ۹: نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۳۳

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۴۰۲

نتیجه

تهیه نقشه‌های کاربری، پوشش اراضی و تفکیک اراضی از اطلاعات بسیار مهم برای اعمال برنامه‌های مدیریتی می‌باشد. تهیه این نقشه‌ها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌ها برای رسیدن به این هدف است. نقشه‌های کاربری اراضی یکی از الزامات هرگونه برنامه‌ریزی توسعه ملی و منطقه‌ای است که مدیران و برنامه‌ریزان را قادر می‌سازد تا با شناسایی وضع موجود و مقایسه قابلیت‌ها و پتانسیل‌ها، در زمینه رفع نیازهای حال و آینده اقدامات لازم را طراحی و اجرا نمایند. در واقع نتایج چنین مطالعاتی بیانگر نوع مدیریت اعمال‌شده در منطقه و همچنین نشان‌دهنده نقاط ضعف و قوت آن در طول دوره مطالعاتی می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی قدرتمند برای مدیریت بهینه اراضی در جهت نیل به توسعه پایدار، در اختیار مدیران و مسئولان محلی قرار گیرد. تغییر کاربری اراضی نمونه‌ای مهم از تأثیرگذاری انسان بر محیط زیست است که باعث پدیدآمدن تغییرات ساختاری در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و فیزیکی می‌گردد. هدف اصلی این مطالعه، پایش تحولات نظام کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات آن با استفاده از «زنجیره مارکوف» است. تغییرات کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ با استفاده از ابزار تحلیل تغییرات (LCM) در نرم‌افزار «TerrSet» ارزیابی شد. در دوره (۲۰۱۳-۲۰۱۸)، کاربری اراضی انسان‌ساخت و اراضی دیم روند افزایشی و کاربری اراضی آبی و اراضی جنگلی و مرتعی روندی کاهشی داشته است. بیشتر این تغییرات از لحاظ مقدار و مساحت به کاربری اراضی جنگلی و مرتعی با ۱۰۶۲٫۹ هکتار و ۴٫۹۷ درصد می‌باشد که تبدیل به اراضی دیم شده است. در این دوره، مناطق مسکونی نیز به‌میزان ۴۸۴ هکتار افزایش یافته است و نزدیک ۳۶۲ هکتار از اراضی جنگلی و مرتعی به اراضی انسان‌ساخت تبدیل شده است. در دوره (۲۰۱۸-۲۰۲۳)، بیشترین تغییرات مربوط به کاربری جنگلی و مرتعی و همچنین اراضی دیم است که به‌میزان ۷٫۰۹ درصد (۱۵۱۷ هکتار) از اراضی جنگل و مرتعی به اراضی دیم و ۵٫۰۲۹ درصد (۱۰۷۴) از اراضی دیم به اراضی جنگلی و مرتعی تبدیل شده است. بیشترین تغییرات افزایشی نیز مربوط به اراضی انسان‌ساخت و اراضی دیم به‌ترتیب ۳٫۱۵۹ درصد (۶۷۵٫۵۴ هکتار) و ۱۰٫۹۲ درصد (۲۳۳۵٫۵ هکتار) می‌باشد.

منابع

جعفرزاده، کاوه؛ غلامرضا سبزیبایی؛ شهرام یوسفی؛ ستار سلطانیان (۱۳۹۷). مدل سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر قائم شهر)، اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، دوره ۲۷، شماره ۱۰۷، صفحات ۲۲۲-۲۰۹.

<https://ensani.ir/file/download/article/1552729691-9987-107-14.pdf>

رهنما، محمدرحیم؛ امیر شهبازی؛ زینب سرگزی (۱۴۰۲). شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی در پیراشهر زاهدان، توسعه فضاهای پیراشهری. دوره ۱، شماره ۹، صفحات ۱۶-۱.

https://www.jpustd.ir/article_169158.html

صالحی، ناهید؛ محمدرضا اختصاصی؛ علی طالبی (۱۳۹۸). پیش بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف-CA (مطالعه موردی: حوزه آبخیز صفارود رامسر)، سنجش اذدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۱۰، شماره ۱، صفحات ۱۲۰-۱۰۶.

https://journals.iau.ir/article_665232_b344efcf0e5b8dc9062dfd046db2f7ce.pdf

سارلی، رضا؛ غلامرضا روشن؛ استفان گرب (۱۳۹۸). سنجش و پیش بینی تغییرات پوشش گیاهی حوزه استان مازندران طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۵، با استفاده از زنجیره مارکوف و GIS، اطلاعات جغرافیایی سپهر. دوره ۲۸، شماره ۱۱۱، صفحات ۱۶۲-۱۴۹.

<https://ensani.ir/file/download/article/1578471377-9987-111-10.pdf>

عربی علی آباد، فهیمه؛ محمد زارع؛ حمیدرضا غفاریان المیری (۱۴۰۰). پیش بینی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول های خودکار (مطالعه موردی: حوزه شیرکوه)، جغرافیا و توسعه. دوره ۱۹، شماره ۶۲، صفحات ۲۷۰-۲۵۱.

https://gdij.usb.ac.ir/article_6022.html

کریم زاده مطلق، زینب؛ علی لطفی؛ سعید پورمنافی (۱۳۹۹). مدل سازی تخصیص کاربری اراضی پایدار در اصفهان بزرگ با استفاده از ارزیابی چندمعیاره در محیط، GIS، جغرافیا و پایداری محیط. دوره ۱۰، شماره ۲، صفحات ۳۵-۲۱.

https://ges.razi.ac.ir/article_1522.html

کیانی سلمی، الهام؛ عطاءالله ابراهیمی (۱۳۹۷). ارزیابی تغییرات پوشش اراضی شهرکرد و پیش بینی آینده آن با بهره گیری از داده های دورسنجی و مدل CA-Markov، برنامه ریزی فضایی. دوره ۸، شماره ۱، صفحات ۸۸-۷۱.

https://sppl.ui.ac.ir/article_22701.html

یوسفی، مریم؛ جواد مکانیکی؛ علی اشرفی؛ نجمه نیسانی سامانی (۱۳۹۶). آشکارسازی و مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده های سنجش اذدور، مدل زنجیره مارکوف و سلول های خودکار (مطالعه موردی: شهر بجنورد)، آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۷، شماره ۲۶، صفحات ۱۶-۱.

https://gps.gu.ac.ir/article_60535.html

References

- Adedeji, O. H.; Tope-Ajayi, O. O.; Abegunde, O. L (2015). Assessing and predicting changes in the status of Gambari forest reserve, Nigeria using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Geographic information system*, 7(3), 301.
<https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=57588>
- Ashraf Abdelkarim (2023). Monitoring and forecasting of land use/land cover (LULC) in Al-Hassa Oasis, Saudi Arabia based on the integration of the Cellular Automata (CA) and the Cellular Automata-Markov Model (CA-Markov), *Geology, Ecology, and Landscapes*.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24749508.2022.2163741>
- Aung, TS., Fischer, T.B., & Buchanan, J (2020). Land use and land cover changes along the ChinaMyanmar Oil and Gas pipelines, *Monitoring infrastructure development in remote conflictprone regions*, 15 (8), e0237806.
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0237806>
- Baqa, M.F., Chen, F., Lu, L., Qureshi, S., Tariq, A., Wang, S., Jing, L., Hamza, S., & Li, Q (2021). Monitoring and Modeling the Patterns and Trends of Urban Growth Using Urban Sprawl Matrix and CA-Markov Model: A Case Study of Karachi, Pakistan, *Land* 10, 700.
<https://www.mdpi.com/2073-445X/10/7/700>
- Dey, N.N., Al Rakib, A., Al Kafy, A., & Raikwar, V (2021). Geospatial modelling of changes in land use/land cover dynamics using Multi-layer perception Markov chain model in Rajshahi City, Bangladesh, *Environmental Challenges*, 4, 100148.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266701002100127X>
- Feinstein AR, Cicchetti DV (1990). High agreement but low kappa: I. the problems of two paradoxes. *J Clin Epidemiol*. 1990; 43(6):9-543.
[https://doi.org/10.1016/0895-4356\(90\)90158-1](https://doi.org/10.1016/0895-4356(90)90158-1) PMID: 2348207.
- Ghosh, S., Das Chatterjee, N., & Dinda, S (2021). Urban ecological security assessment and forecasting using integrated DEMATEL-ANP and CA-Markov models: A case study on Kolkata Metropolitan Area, India, *Sustainable Cities and Society*, 68, 102773.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670721000652>
- Huang, Y., Yang, B., Wang, M., Liu, B., & Yang, X (2020). Analysis of the future land cover change in Beijing using CA-Markov chain model, *Environmental Earth Sciences*, 79, 60.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-019-8785-z>
- Ji, G., Lai, Z., Xia, H., Liu, H., & Wang, Z (2021). Future Runoff Variation and Flood Disaster Prediction of the Yellow River Basin Based on CA-Markov and SWAT, *Land*, 10, 421.
<https://www.mdpi.com/2073-445X/10/4/421>
- Khwarahm, N.R. Qader, S., Ararat, K., & Al-Quraishi, A.M.F (2020). Predicting and mapping land cover/land use changes in Erbil /Iraq using CA-Markov synergy model, *Earth Science Informatics*, 14, 393- 406.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12145-020-00541-x>
- Li, Q., Wang, L., Gul, H.N., & Li, D (2021). Simulation and optimization of land use pattern to embed ecological suitability in an oasis region: A case study of Ganzhou district, Gansu province, China, *Journal of Environmental Management*, 287, 112321.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479721003832>
- Mathodi, B., Kenabatho, P.K., Parida, B.P., & Maphanyane, J.G (2021). Analysis of the Future Land Use Land Cover Changes in the Gaborone Dam Catchment Using CA-Markov Model: Implications on Water Resources, *remote sensing*, 13, 2427.
<https://www.mdpi.com/2072-4292/13/13/2427>
- Motlagh, Z.K., Lotfi, A., Pourmanafi, S., Ahmadizadeh, S., & Soffianian, A (2020). Spatial modeling of land-use changes in a rapidly urbanizing landscape in central Iran: integration of remote sensing, CA Markov, and landscape metrics, *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 695.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-020-08647-x>

- Munthali, M.G., Mustak, S., Adeola, A., Botai, J., Singh, S.K., & Davis, N (2020). Modelling land use and land cover dynamics of Dedza district of Malawi using hybrid Cellular Automata and Markov model, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100276.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352938519302782>
- Rahnama, M.R (2021). Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030, *Sustainable Cities and Society*, 64, 102548.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720307642>
- Rimal, B.; Zhang, L.; Keshkar, H.; Haack, B.N.; Rijal, S.; Zhang, P (2018). Land Use/Land Cover Dynamics and Modeling of Urban Land Expansion by the Integration of Cellular Automata and Markov Chain. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 7(4), 154.
<https://www.mdpi.com/2220-9964/7/4/154>
- Ruben, G.B., Zhang, K., Dong, Z., & Xia, J (2020). Analysis and Projection of Land-Use/LandCover Dynamics through Scenario-Based Simulations Using the CA-Markov Model: A Case Study in Guanting Reservoir Basin, China, *Sustainability*, 12 (9), 3747.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3747>
- Silver, D., & Silva, TH (2021). A Markov model of urban evolution: Neighbourhood change as a complex process, *PLoS ONE*, 16 (1), e0245357.
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0245357>
- Traore, Arafan; Mawenda, John; Komba, Atupelye W (2018). Land-Cover Change Analysis and Simulation in Conakry (Guinea), Using Hybrid Cellular-Automata and Markov Model. *Urban Sci.* Volume 2, Issue 2.
<https://www.mdpi.com/2413-8851/2/2/39>
- Tang, F., Fu, M., Wang, L., Song, W., Yu, J., & Wu, Y (2021). Dynamic evolution and scenario simulation of habitat quality under the impact of land-use change in the Huaihe River Economic Belt, China, *PLoS ONE*, 16 (4), e0249566.
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0249566>
- Tariq, A., & Shu, H (2020). CA-Markov Chain Analysis of Seasonal Land Surface Temperature and Land Use Land Cover Change Using Optical Multi-Temporal Satellite Data of Faisalabad, Pakistan Aqil Tariq and Hong Shu, *remote sensing*, 12, 3402.
<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/20/3402>
- Vinayak, B., Lee, H.S., & Gadem, S (2021). Prediction of Land Use and Land Cover Changes in Mumbai City, India, Using Remote Sensing Data and a Multilayer Perceptron Neural Network-Based Markov Chain Model, *Sustainability*, 13 (2), 471.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/471>
- Wang, H., & Hu, Y (2021). Simulation of Biocapacity and Spatial-Temporal Evolution Analysis of Loess Plateau in Northern Shaanxi Based on the CA-Markov Model, *Sustainability*, 13, 5901.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/11/5901>
- Wang, S.W., Munkhnasan, L., & Lee, W (2021). Land use and land cover change detection and prediction in Bhutan's high-altitude city of Thimphu, using cellular automata and Markov chain, *Environmental Challenges*, 2, 100017.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010020300172>
- Yousheng W, Xinxiao Y, Kangning H, Qingyun L, Yousong Z, Siming S (2011). Dynamic simulation of land use change in Jihe watershed based on CA-Markov model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2011; 2011(12).
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2011.12.062>
- Zhou, L., Dang, X., Sun, Q., & Wang, S (2020). Multi-scenario simulation of urban land change in Shanghai by random forest and CA-Markov model, *Sustainable Cities and Society*, 55, 102045.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720300329>