



## **Land Use and Land Cover Change Assessment and Modeling in Shiraz City and Its Surrounding Areas Using Remote Sensing and the CA-Markov Model for Future Change Prediction**

**Mahta Maleki Doborji<sup>1</sup>, Hossein Hasani<sup>2\*</sup>, Naghmeh Mobarghei Dinan<sup>3</sup>**

1. Master's Student, Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Master's Degree, Department of Environmental Planning, Management, and Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

**Document Type**  
Research Paper

**Received**  
2024/12/23

**Accepted**  
2025/06/02



DOI: <http://doi.org/10.22034/eiap.2025.229981>

### **Abstract**

This study aims to quantitatively assess and model the spatiotemporal dynamics of land use/land cover (LULC) changes in Shiraz city and its surrounding areas from 2002 to 2023, with the objective of predict potential future changes up to 2043. To this end, LULC maps of the study area were initially generated using Landsat satellite imagery and a neural network algorithm within the ENVI 5.3.1 software environment, classifying the area into three categories: built-up areas, vegetation cover and barren lands. The overall accuracy of the classification for the years 2002, 2013 and 2023 was obtained as 93.02%, 88.66% and 91.33%, respectively, and the Kappa coefficient for these years were calculated as 89.53%, 83%, and 87%, respectively. In the next step, by applying the Markov model using the LULC maps of 2002 and 2013, a Cramer's V value of 0.85 was calculated. Subsequently, the LULC map for the year 2023 was simulated using the CA-Markov model within the TerrSet 18.3.1 software environment. Subsequently, by comparing the classified (actual) and simulated LULC maps for the year 2023, a standard Kappa index of 0.92 was obtained. Finally, the predicted LULC map for the year 2043 was simulated using the CA-Markov model. The results revealed that between 2002 and 2023, built-up areas experienced a significant increase of 39.27% in spatial extent, but during the same period, vegetation cover and barren lands showed notable decrease of 39.41% and 20.03%, respectively, with much of these areas having been converted to built-up land. moreover, the LULC maps of 2002, 2013 and 2023 indicated that the physical expansion of Shiraz city has primarily occurred toward the west, south, and southeast, reflecting a pattern of unplanned and horizontal urban growth between 2002 and 2023. According to the prediction results of this study, by 2043, the areas of built-up areas and vegetation cover are expected to increase by 8.47% and 20.80%, respectively, compared to 2023. In contrast, the area of barren lands is projected to decrease by 16.58% with most of the lost area likely to be converted into built-up areas. The predicted LULC map of the study area in 2043 also indicated that the physical expansion of Shiraz city will continue in a horizontal and dispersed manner, a pattern that deviated from the standard form of urban growth.

**Keywords:** Land use and land cover, Markov chain, CA-Markov, Prediction, Shiraz city

\* Corresponding author

Email: [hosseinhasani9989@gmail.com](mailto:hosseinhasani9989@gmail.com)

## Introduction

Land use/land cover (LULC) are two distinct terms. Land use refer to the human utilization of land, while land cover represents the physical characteristics of surface feature. LULC are assessed in an integrated manner, as they cannot be considered entirely separate from one another (Celik et al., 2019; Regmi et al., 2014). LULC changes refer to modifications of the Earth's surface driven by human activities (Roy et al., 2015). In recent years, increasing attention has been devoted to monitoring LULC changes, as urban environments and ecosystems are profoundly affected by human activities (Al Kafy et al., 2021). The integration of the Markov Chain and Cellular Automata (CA) models offers a powerful framework for predicting and projecting LULC changes (Aliani et al., 2019). The strength of the CA model lies in its ability to simulate the spatial patterns of land units, while the Markov Chain model offers the advantage of predicting temporal variations across different land use categories (Li et al., 2021). In this study, CA-Markov model was used to simulate and predict the trend of land use and land cover changes in Shiraz city and its surrounding lands. Overall, the objectives of this study include analyzing the trends of LULC changes in Shiraz city and its surrounding areas from 2002 to 2023, simulating and predicting LULC changes for the year 2043, identifying the directions of urban expansion in Shiraz, and proposing appropriate strategies to achieve a more sustainable and desirable pattern of urban physical development.

## Materials and Methods / Study Area

The study area is located between 52°24' and 52°40' east longitude and 29°29' and 29°47' north latitude. Shiraz city, which lies within this area, is situated on an elongated plain approximately 120 km in length and 15 km in width, positioned about 919 km south of Iran's capital, Tehran.

## Methodology / Experimental Design

In this study, remote sensing data and spatial analysis of satellite imagery extracted from the study area were examined through three main phases:

1. Landsat satellite images 2002, 2013 and 2023 were obtained from the United States Geology(USGS) website, and the LULC classes of built-up areas, vegetation cover, and barren lands were extracted using ENVI 5.3.1 and ArcMap 10.3 software;
- 2- The CA-Markov model was applied using LULC maps from 2002 and 2013, Cramer's V was calculated, and the 2023 LULC map was modeled in TerrSet 18.3.1 to assess the prediction accuracy.
3. Accuracy assessment and calculating of the standard Kappa index for the modeled 2023 map were carried out in the TerrSet 18.3.1 software environment;
4. Modeling and prediction of LULC changes for the year 2043 using CA-Markov model in TerrSet 18.3.1 software environment.

## Results and Discussion

The study classified LULC into built-up areas, vegetation cover, and barren lands with overall accuracies above 88% across 2002, 2013, and 2023. CA-Markov model validation yielded a strong standard Kappa index agreement (0.92) between predicted and observed 2023 maps, confirming its robustness for forecasting 2043 LULC. Results indicate a marked 27.39% increase in built-up areas from 2002 to 2023, mainly due to conversion of barren lands, which declined by 20.03%. Vegetation cover sharply decreased by 43.35% during 2002-2013 but showed a slight recovery (6.95%) by 2023. These trends reflect significant urban expansion and land cover transformations over two decades. moreover, the LULC maps of 2002, 2013 and 2023 indicated that the physical expansion of Shiraz city has primarily occurred toward the west, south, and southeast, reflecting a pattern of unplanned and horizontal urban growth between 2002 and 2023(see Figure 1).

Table 1 present the quantitative result, including statistics of the three LULC classes and their change dynamics over the three time period.

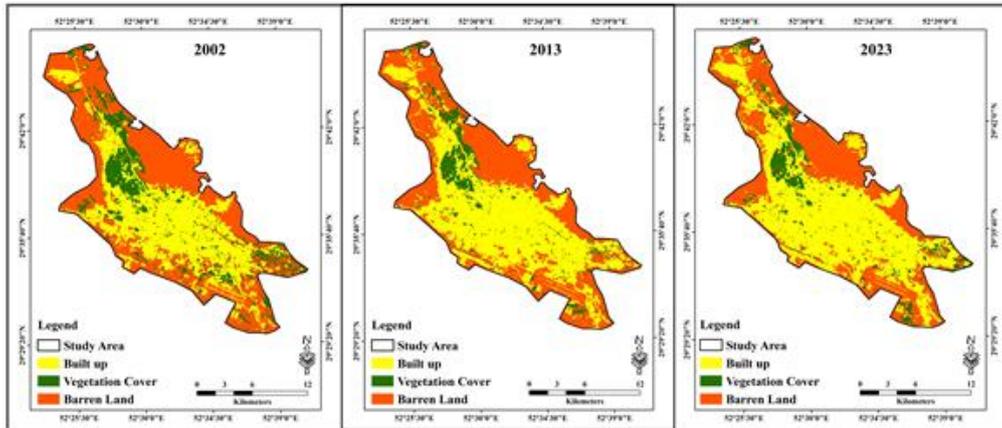


Figure 1. Classified LULC of study area in 2002, 2013, and 2023.

Table 1. Land use/Land cover statistics

Quantitative Distribution of LULC in 2002, 2013, and 2023						
Land Use/Land Cover Types	2002		2013		2023	
	Area(ha)	%	Area(ha)	%	Area(ha)	%
Built-up	12633.40	38.38	16265.61	49.42	17595.36	53.46
Vegetation Cover	4640.58	14.10	2628.75	7.98	2811.62	8.54
Barren Land	15640.36	47.52	14019.97	42.60	12507.35	38

The rate of LULC changes between 2002 and 2023						
Land Use/Land Cover Types	2002-2013		2013-2023		2002-2023	
	Area(ha)	%	Area(ha)	%	Area(ha)	%
Built-up	+3632.21	+28.75	+1329.75	+8.17	+4961.96	+39.27
Vegetation Cover	-2011.83	-43.35	+182.87	+6.95	-1828.96	-39.41
Barren Land	-1620.39	-10.36	-1512.62	-10.78	-3133.01	-20.03

Based on the projected LULC map for the year 2043, the built-up area is expected to reach 19,084.89 hectares, vegetation cover 3,396.31 hectares, and barren land 10,433.28 hectares. Figure 2 illustrates the spatial distribution of LULC for 2043.

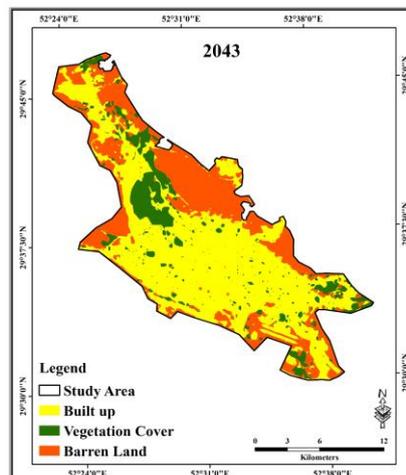


Figure2. Classified LULC of study area in 2043

The result of this study indicated that between 2023 and 2043, the built-up and vegetation cover areas are projected to increase by 8.47% and 20.80%, respectively. In contrast, the area of barren land is expected to decline by 16.58%. These projections reveal an overall trend of expansion in built-up and vegetation areas, accompanied by a reduction in barren lands during the forecast period. The predicted LULC map of the study area in 2043 also indicated that the physical expansion of Shiraz city will continue in a horizontal and dispersed manner, a pattern that deviated from the standard form of urban growth.

### References

- Aliani, H., Malmir, M., Sourodi, M. & Babaie Kafaky, S. 2019. Change detection and prediction of urban land use changes by CA-Markov model(case study: Talesh County). *Environmental Earth Sciences*. 78: 546.
- Al Kafy, A., Huda Naim, M. N., Subramanyam, G., Faisal, A. A., Ahmed, N.U., Rakib, A.A., Kona, M.A. & Sattar, G.S. 2021. Cellular Automata approach in dynamic modelling of land cover changes: using RapidEye images in Dhaka, Bangladesh. *Environmental Challenges*. 4(2): 100084.
- Celik, B., Kaya, S., Alganci, U. & Seker, D.Z. 2019. Assessment of the relationship between land use/cover changes and land surface temperatures: a case study of thermal remote sensing. *Fresenius Environ Bull*. 28(2): 541-547.
- 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(1): 112321.
- Regmi, R., Saha, S. & Balla, M. 2014. Geospatial analysis of land use land cover change predictive modeling at Phewa Lake Watershed of Nepal. *Int. J. Curr. Eng. Tech*. 4(4): 2617-2627.
- Roy, S., Farzana, K., Papia, M. & Hasan, M. 2015. Monitoring and prediction of land use/land cover change using the integration of Markov chain model and cellular automation in the Southeastern Tertiary Hilly Area of Bangladesh. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research* 24(4): 125-148.

## ارزیابی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین شهر شیراز و اراضی اطراف آن و پیش‌بینی تغییرات احتمالی برای آینده، با استفاده از سنجش از دور و مدل CA-Markov

مهتا ملکی دوبرجی<sup>۱</sup>، حسین حسینی\*<sup>۲</sup>، نغمه مبرقی دینان<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. دانشیار گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

### چکیده

هدف این مطالعه ارزیابی کمی و مدل‌سازی دینامیک فضایی- زمانی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در شهر شیراز و مناطق اطراف آن از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲، با هدف پیش‌بینی تغییرات احتمالی تا سال ۱۴۲۲ است. بدین‌منظور، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی در سه کلاس کاربری ساخت‌وساز، پوشش گیاهی و اراضی بایر در محیط نرم‌افزار Envi 5.3.1 تهیه شد. مقدار صحت دقت کلی حاصل از طبقه‌بندی برای سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ به ترتیب ۹۳/۰۲، ۸۸/۶۶ و ۹۱/۳۳ درصد و مقدار ضریب کاپا نیز برای این سه سال به ترتیب برابر با ۸۹/۵۳، ۸۳ و ۸۷ درصد به‌دست آمد. در گام بعد با اجرای مدل مارکوف توسط نقشه سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۲، میزان ضریب کرامر ۰/۸۵ محاسبه شد و با به‌کارگیری مدل CA-Markov نیز، نقشه سال ۱۴۰۲ در محیط نرم‌افزار TerrSet 18.3.1 شبیه‌سازی شد. سپس با مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده (واقعی) و شبیه‌سازی شده سال ۱۴۰۲، مقدار شاخص کاپای استاندارد ۰/۹۲ به دست آمد. در نهایت نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین نیز برای سال ۱۴۲۲ با استفاده از مدل CA-Markov شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲ کاربری ساخت‌وساز با ۳۹/۲۷ درصد افزایش مساحت، رشد چشمگیری یافته است، اما در بازه زمانی ذکر شده شاهد کاهش قابل‌توجه مساحت پوشش گیاهی و اراضی بایر به‌ترتیب به میزان ۳۹/۴۱ و ۲۰/۰۳ درصد بوده‌ایم که بیشتر به کاربری ساخت‌وساز تغییر یافته‌اند. همچنین نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ نشان داد که گسترش فیزیکی شهر به سمت غرب، جنوب و جنوب‌شرق شهر شیراز بوده است که نشان‌دهنده رشد افقی و غیراصولی شهر شیراز بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲ است. برطبق پیش‌بینی این پژوهش سطح کاربری ساخت‌وساز و پوشش گیاهی در سال ۱۴۲۲ نسبت به سال ۱۴۰۲ به‌ترتیب به میزان ۸/۴۷ و ۲۰/۸۰ درصد افزایش پیدا خواهد کرد، اما سطح اراضی بایر برخلاف دو کاربری دیگر به میزان ۱۶/۵۸ درصد کاهش پیدا خواهد کرد و بیشتر مساحت از دست رفته آن به کاربری ساخت‌وساز تغییر خواهد یافت. همچنین نقشه پیش‌بینی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۴۲۲ نشان داد که روند گسترش فیزیکی شهر شیراز به صورت افقی و پراکنده خواهد بود که چنین رشد فیزیکی برخلاف فرم استاندارد رشد شهری است.

**کلید واژه‌ها:** کاربری اراضی و پوشش زمین، زنجیره مارکوف، CA-Markov، پیش‌بینی، شهر شیراز

## سرآغاز

کاربری اراضی و پوشش زمین<sup>(۱)</sup> دو اصطلاح متفاوت هستند. کاربری اراضی، استفاده انسان از زمین را تعریف می‌کند و پوشش زمین نشان‌دهنده ویژگی‌های فیزیکی عناصر سطحی است. کاربری اراضی و پوشش زمین به صورت ترکیبی ارزیابی می‌شوند، زیرا نمی‌توان آن‌ها را از یکدیگر جدا کرد (Celik et al., 2014; Regmi et al., 2019). تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین، تغییری در سطح زمین است که توسط فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود (Roy et al., 2015). این تغییرات در حال حاضر به دلیل چالش‌های محیط‌زیستی متعدد، در حال تبدیل شدن به مسائلی است که در سطح منطقه و جهانی مورد توجه قرار گرفته است (Auwalu et al., 2020).

اخیراً توجه ویژه‌ای به نظارت بر تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین شده است، زیرا محیط شهری و اکوسیستم به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارند (Al Kafy et al., 2021). به منظور دستیابی به حداکثر کارایی در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کاربری اراضی، لازم است پیش‌بینی معقولی از تقاضای کاربری زمین و شبیه‌سازی آن در سناریوهای احتمالی آتی انجام شود (Nourqolipour et al., 2015). بنابراین، بسیاری از سناریوهای ممکن برای تکامل سیستم زمین باید از طریق مدل‌ها شبیه‌سازی و مورد بحث قرار گیرند تا فرمول‌بندی استراتژی و تحقیق در مورد ارزیابی کاربری زمین را تسهیل کنند (Liu et al., 2017). استفاده از فناوری زمین- مکانی یک کشف مهم بشری است که از دوران ماقبل تاریخ پیشرفت کرده است (Hussain et al., 2022; Revuelta-Acosta et al., 2022). سه دسته اساسی از فناوری‌های زمین- مکانی عبارتند از: سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم موقعیت‌یاب جهانی (Sundar & Deka, 2021; Rehman et al., 2022). سنجش از دور، ابزار مناسبی برای پایش مکرر و اندازه‌گیری تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در محیط طبیعی و همچنین تکامل شکل‌های زمین از طریق تحلیل ژئومورفولوژیکی است (Seyam et al., 2023; Alshari & Gawali, 2021). انواع مختلفی از مدل‌های فضایی و آماری برای تحلیل و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین از جمله، مدل‌های رگرسیون چندجمله‌ای، مدل مارکوف، اتوماتای سلولی<sup>(۲)</sup> و مدل‌های آماری- تجربی استفاده شده‌اند

(Merhej et al., 2019).

ترکیب زنجیره مارکوف<sup>(۳)</sup> و اتوماتای سلولی بیشترین فرصت را برای پیش‌بینی این تغییرات فراهم می‌کند (Aliani et al., 2019). مدل‌سازی اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف به طور گسترده در زمینه‌های مکانی و جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به طوری که نتایجی به اندازه کافی دقیق به‌ویژه در تغییرات کاربری اراضی (Al-shalabi et al., 2013; Zadbagher et al., 2018) و شبیه‌سازی رشد شهری (Siddiqui et al., 2018; Nasehi et al., 2019) به دست آورده‌اند. توانایی مدل اتوماتای سلولی در شبیه‌سازی فضایی واحدهای زمین و مزیت زنجیره مارکوف در پیش‌بینی تنوع زمانی در بین انواع کاربری اراضی است (Li et al., 2021). مدل اتوماتای سلولی به طور گسترده در اکوسیستم‌های شهری مورد استفاده قرار گرفته‌اند، زیرا می‌توانند با موفقیت تغییرات مکانی و زمانی را تقلید کنند و پیچیدگی و غیرقابل پیش‌بینی بودن فرآیندهای شهرنشینی و همچنین سناریوهای متنوع شهرنشینی را به تصویر بکشند (Santé et al., 2010). اما ساختار این مدل فقط داده‌های مکانی را در نظر می‌گیرد. به همین دلیل مدل اتوماتای سلولی به‌تنهایی برای شبیه‌سازی واقعی کافی نیست (Jokar Arsanjani et al., 2013). در واقع، اتوماتای سلولی یک مدل محدود در اجرای نیروهای محرک برای تغییرات کاربری اراضی است که مدیریت آن را دشوار می‌کند (Mohammady et al., 2014).

تصور می‌شود که روش‌های مدل‌سازی ترکیبی برای شبیه‌سازی فرآیندهای تغییر کاربری اراضی مناسب‌تر هستند (Karimi et al., 2018). بر این اساس، توصیه می‌شود که مدل اتوماتای سلولی با یک مدل مکانی- زمانی مانند زنجیره مارکوف ادغام شود تا نتیجه بهتری داشته باشد و این محدودیت‌ها برطرف شود (Gharaibeh et al., 2020). بنابراین، تغییرات زمانی نوع کاربری زمین براساس ماتریس‌های انتقال با روش زنجیره مارکوف نظارت می‌شود، در حالی که تغییرات مکانی با فیلتر فضایی مدل اتوماتای سلولی کنترل می‌شود (Beroho et al., 2023). در داخل و خارج کشور مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است. (Ait El Haj et al., 2023)، به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین زیرحوزه لخداری مراکش از مدل CA-Markov استفاده

### • معرفی منطقه مورد مطالعه

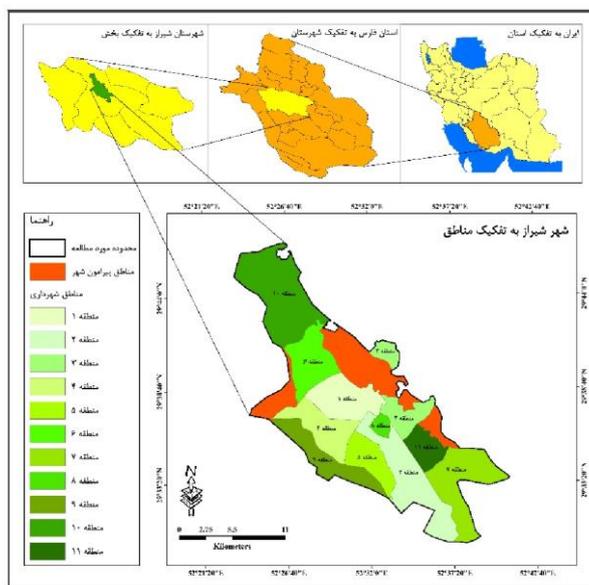
محدوده مورد مطالعه بین طول شرقی ۵۲ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه و عرض شمالی ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۴۷ دقیقه در استان فارس واقع شده است. شهر شیراز، مرکز استان فارس است که بر طبق آمارگیری رسمی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ دارای ۱۵۶۵۵۷۲ نفر جمعیت است. این شهر بر روی جلگه طولی به طول ۱۲۰ کیلومتر و عرض ۱۵ کیلومتر در ۹۱۹ کیلومتری جنوب پایتخت واقع شده است. ارتفاع شیراز از سطح دریا از ۱۴۸۸ متر در منتهی‌الیه شرقی شهر تا حدود ۱۷۰۰ متر در غرب آن متغیر است. پست‌ترین نقطه جلگه شیراز در جنوب‌شرقی آن (دریاچه مهارلو) با ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا است. شیراز از شمال به رشته کوه‌های بوم، پشت مله، چهل مقام و بابا کوهی منتهی می‌شود و در غرب نیز به رشته کوه‌های دراک که تا شمال‌غربی امتداد می‌یابد، محدود می‌شود. در جنوب شیراز ارتفاعات سبزپوشان (سیاح) در امتداد رودخانه قره‌آعاج پیشرفته و به ارتفاعات سپیدار (سفیدار) منتهی می‌شود که معروف‌ترین آن دراک است. ارتفاعات مهارلو در جنوب دریاچه مهارلو و جنوب‌شرق شیراز کشیده شده است و به تدریج به ارتفاعات شمال خفر متصل می‌شود. شهر شیراز به علت قرار گرفتن در دامنه جنوبی سلسله جبال زاگرس و وضعیت خاص توپوگرافیک اقلیمی و برخورداری از بارش نسبتاً مناسب باران و برف در ارتفاعات، دارای پوشش گیاهی مطلوب و بسیار متنوعی است که شاید شناسایی همه گونه‌های موجود غیرممکن و یا کاری بسیار پردردسر و زمان‌بر باشد (Shiraz Solid Waste Management Organization, 2010). شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی شهر شیراز و اراضی اطراف آن را نشان می‌دهد.

### • روش تحقیق

پژوهش حاضر نوعی تحقیق توصیفی-تحلیلی با هدف‌گذاری کاربردی بوده و روش آن مبتنی بر کار کتابخانه‌ای و میدانی است. در این پژوهش به مطالعه و بررسی داده‌های حاصل از سنجش از دور و تحلیل فضایی تصاویر مستخرج شده از منطقه مورد مطالعه در طی سه مرحله پرداخته شده است:

کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۹ میزان ۷۰ درصد از نواحی جنگلی کاهش و به موازات آن حدود ۳۷ درصد از اراضی بایر و نواحی شهری افزایش خواهد یافت که افزایش نواحی شهری به دلیل تأثیر مداوم توسعه اقتصادی و جمعیتی است. (Azabdaftari & Sunar, 2024). با استفاده از مدل CA-Markov به پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی، پوشش زمین و گسترش شهری در محله آرناووتکوی استان استانبول ترکیه و منطقه هیلزشایر در ناحیه سیدنی استرالیا پرداختند. آن‌ها نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین هر دو منطقه مورد مطالعه را برای سال ۲۰۵۰ شبیه‌سازی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۵۰ هر دو منطقه افزایش مستمر مناطق ساخته شده، کاهش مناطق جنگلی و ثبات نسبی در مناطق کشاورزی را تجربه خواهند کرد. (Solaimani et al., 2023). با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل CA-Markov تغییرات پوشش زمین شهر کرمانشاه در طبقات ارتفاعی و رشد این شهر در جهات جغرافیایی در مقیاس زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۴۷ بررسی و پیش‌بینی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که نواحی شهری و کشاورزی روند افزایشی و کاربری‌های پوشش گیاهی و زمین‌های بایر روند کاهشی داشته است که بیشتر این تغییرات در ارتفاعات ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷ متری اتفاق افتاده است و این روند تغییرات تا سال‌های ۲۰۳۲ و ۲۰۴۷ ادامه خواهد یافت. همچنین بررسی آن‌ها در مورد تأثیر رشد شهر بر تغییرات پوشش زمین نشان داد که با توجه به رشد شهر در جهات شمال و شمال‌شرق، تخریب اراضی به نواحی شهری در این جهات بیشتر از جهات دیگر رخ خواهد داد. در پژوهش حاضر از مدل CA-Markov برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین شهر شیراز و اراضی اطراف آن استفاده شده است. به‌طورکلی اهداف این مطالعه شامل بررسی روند تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین شهر شیراز و اراضی اطراف آن از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲، شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین برای سال ۱۴۲۲، شناسایی جهات گسترش شهر شیراز و ارائه راهکارهای مناسب جهت دستیابی به وضعیت پایدار و مطلوب از لحاظ گسترش فیزیکی شهر است.





شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

محیط نرم افزار TerrSet 18.3.1

شکل (۲)، چارچوب مراحل و روش کار این پژوهش را نشان می‌دهد.

• تهیه نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی و پوشش

زمین سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲

به منظور تهیه نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی و پوشش زمین شهر شیراز و اراضی اطراف آن در بازه زمانی مورد مطالعه، سه تصویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سنجنده‌های 7<sup>+</sup> ETM (۱۳۸۱) و 8 OLI/TIRS (۱۳۹۲ و ۱۴۰۲)، از سایت زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا اخذ شد. جدول (۱)، اطلاعات مربوط به تصاویر ماهواره‌ای برداشت شده را نشان می‌دهد و شکل (۳) نیز، تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه مربوط به سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ را نمایش می‌دهد.

۱. تهیه تصاویر ماهواره‌ای لندست از سایت زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا<sup>(۴)</sup> در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ و استخراج کلاس‌های کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه مورد مطالعه با استفاده از این تصاویر توسط نرم‌افزارهای Envi 5.3.1 و Arc Map 10.3؛

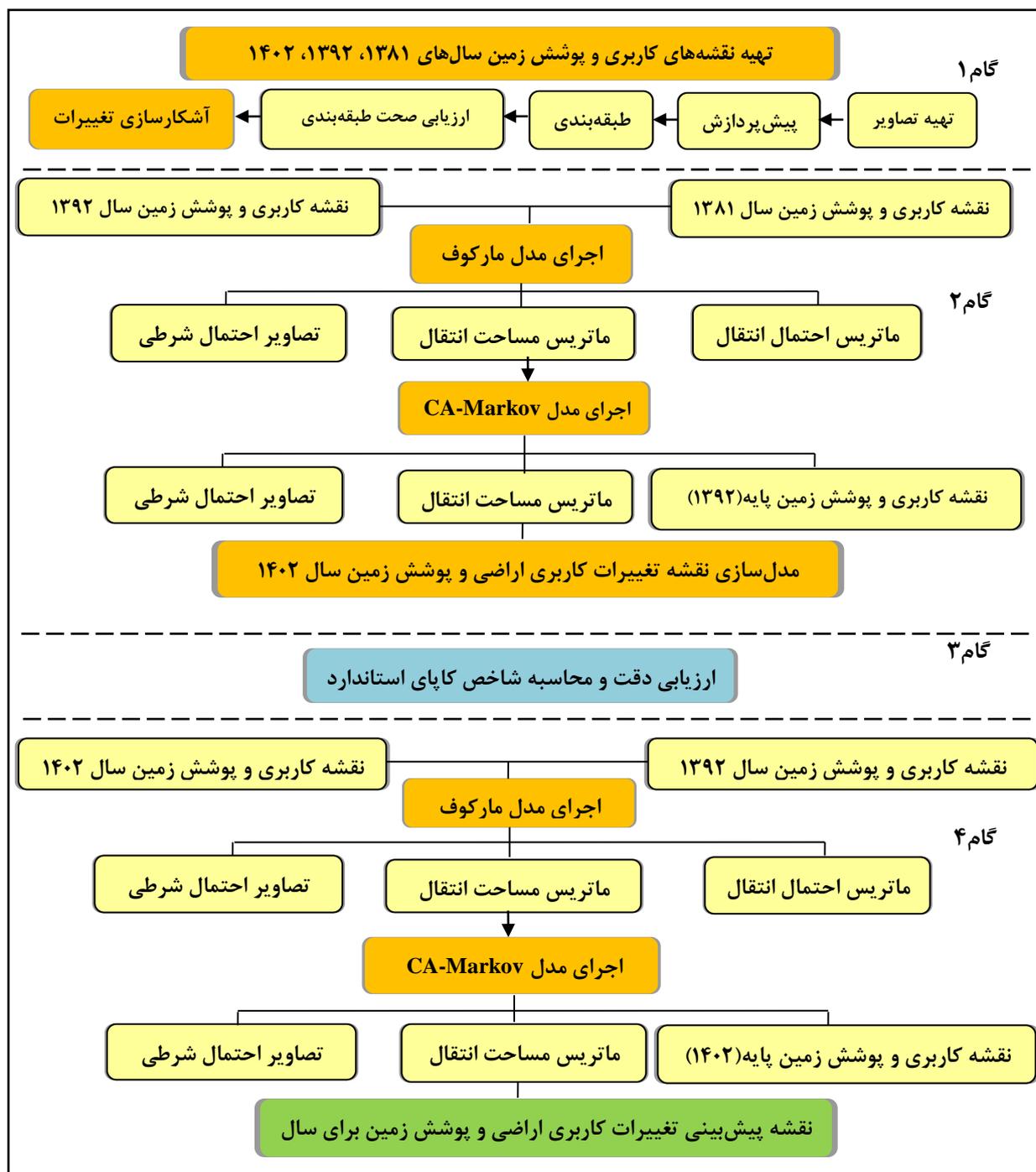
۲. اجرای مدل مارکوف، محاسبه ضریب کرامر و استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-Markov) با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۳۸۱ و ۱۳۹۲ و مدل‌سازی نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۴۰۲ در محیط نرم‌افزار TerrSet 18.3.1؛

۳. ارزیابی دقت و محاسبه شاخص کاپای استاندارد برای نقشه مدل‌سازی شده سال ۱۴۰۲ در محیط نرم افزار TerrSet 18.3.1؛

۴. مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۴۲۲ با استفاده از مدل CA-Markov در

جدول (۱): مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

تاریخ	تفکیک مکانی	شماره ردیف/گذر	سنجنده	مشخصات ماهواره
۲۵ خرداد ۱۳۸۱	۳۰	۱۶۳/۳۹	ETM <sup>+</sup> 7	لندست ۷
۳۱ خرداد ۱۳۹۲	۳۰	۱۶۳/۳۹	OLI/TIRS 8	لندست ۸
۲۷ خرداد ۱۴۰۲	۳۰	۱۶۳/۳۹	OLI/TIRS 8	لندست ۸



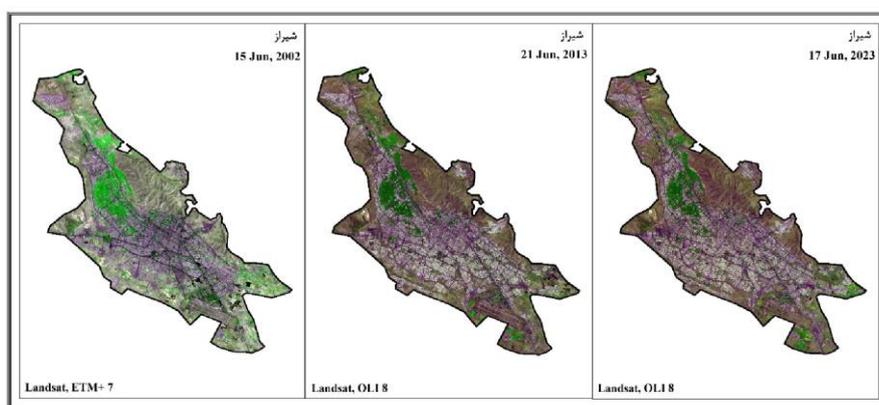
شکل (۲): چارچوب مراحل و روش کار پژوهش

سنجش صورت گیرد (Jensen, 1986). بنابراین، ابتدا عمل حذف و تصحیح خطاهای هندسی، رادیومتریک و اتمسفری بر روی تصاویر ماهواره‌ای مربوطه در محیط نرم‌افزار Envi 5.3.1 صورت گرفت. در مرحله بعد به منظور طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای ذکر شده، از روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد.

از آنجایی که تصاویر حاصل از ماهواره‌ها، از نظر تفکیک مکانی، زمانی و طیفی همواره احتمال انواع خطاهای سیستماتیک و غیرسیستماتیک را دارند، بنابراین باید پیش‌پردازش‌های لازم بر روی داده‌های خام با هدف تصحیح هرگونه خطا و اعوجاج رایج از طریق سیستم تصویربرداری یا شرایط اتمسفر در هنگام

بررسی قرار گرفت. ارزیابی صحت شامل بررسی مقادیر تحلیل دقت کلی<sup>(۷)</sup> و ضریب کاپا<sup>(۸)</sup> است ( Talebi Khiavi & Mostafazadeh, 2021). دقت کلی نقشه طبقه‌بندی، با تقسیم تعداد کل پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند بر تعداد کل پیکسل‌های ماتریس خطا تعیین می‌شود ( Congalton & Green, 2009). مقادیر ضریب کاپای بالای ۸۰ درصد، نشان‌دهنده این است که به‌طور کلی تطابق خوبی بین طبقه‌بندی و انواع طبقات کاربری موجود در زمین وجود دارد (Teferi et al., 2010).

در این پژوهش، طبقه‌بندی کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه مورد مطالعه در سه کلاس کاربری ساخته شده (منطقه شهری)، اراضی بایر و پوشش گیاهی تعریف شد. بدین‌منظور، با استفاده از ابزار ROI<sup>(۵)</sup> در محیط نرم‌افزار Envi 5.3.1 نمونه‌های آموزشی در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. در نهایت با استفاده از نمونه‌های تهیه شده و براساس الگوریتم شبکه عصبی<sup>(۶)</sup>، طبقه‌بندی صورت گرفت. سپس با استفاده از نرم‌افزار Google Earth Pro تعدادی نقاط از منطقه مورد مطالعه تهیه و این نقاط با نتایج طبقه‌بندی مقایسه شد و صحت طبقه‌بندی تصاویر مورد



شکل (۳): تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه مربوط به سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲

#### • اتوماتای سلولی

اتوماتای سلولی، یک مدل ریاضی است که نشان می‌دهد چگونه عناصر مختلف از نظر زمان و تأثیر مقادیر نزدیک‌ترین همسایه به‌طور چشمگیری تغییر می‌کنند. در واقع، اتوماتای سلولی تمایل به ایجاد حالت‌های همگن دارد و الگوهای خودمشابه تولید می‌کند و به‌طور کلی، بررسی بیشتر در مورد خودسازماندهی و بی‌نظمی در سیستم‌های پویا استفاده می‌شود ( Wolfram, 1983). علاوه بر این، اتوماتای سلولی فعل و انفعالات سلولی، کمیت و تغییر فضایی هر مقدار را در سلول‌های مختلف نشان می‌دهد ( Von Neumann, 1951; Jokar Arsanjani et al., 2011). اتوماتای سلولی، سیستم‌های پویای گسسته و گسترش یافته فضایی هستند که از سلول‌ها یا مکان‌های مجاور هم تشکیل شده‌اند که به‌صورت شبکه‌ای منظم مرتب شده‌اند که در مراحل زمانی گسسته تکامل می‌یابند. این سیستم دینامیکی شامل سلول، همسایه، فضا، وضعیت، قانون‌گذار انتقال محلی، شرایط اولیه، شرایط مرزی و غیره است ( Toffoli &

#### • مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف (CA-Markov)

از دیدگاه بلندمدت، مطالعه تاریخی تغییرات مکانی کاربری اراضی و پوشش زمین به‌منظور درک تعاملات بین انسان و محیط‌زیست، شرط لازم است (Yang et al., 2014). مدل CA-Markov یکی از ابزارهای پشتیبانی برنامه‌ریزی برای تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی و توزیع فضایی کاربری اراضی و پوشش زمین است (Hua, 2017). این مدل، اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف را برای پیش‌بینی روندها و تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در طول زمان ترکیب می‌کند (Nouri et al., 2014). همچنین، این مدل به‌طور گسترده برای توصیف پویایی کاربری اراضی، پوشش زمین، پوشش جنگلی، پراکندگی شهری، رشد گیاهان و مدل‌سازی مدیریت آبخیز استفاده می‌شود. به‌علاوه، در طراحی سیاست کاربری زمین، برنامه‌ریزی و اهداف توسعه کاربری پایدار زمین اهمیت دارد (Ghosh et al., 2017).

طولانی بدون تغییر باقی بماند و برخی از آن‌ها به طبقه دیگر از کاربری زمین تغییر کنند. بدین ترتیب، می‌توان از ماتریس احتمالات انتقال واقعی برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین در آینده براساس سوابق تاریخی هر طبقه کاربری اراضی استفاده کرد (Mondal & Southworthe, 2010; Imani Harsini et al., 2016). زنجیره مارکوف دنباله‌ای از فرآیندهای تصادفی است که در آن نتیجه هر فرآیند در هر زمان معین تنها به نتیجه فرآیند مجاور آن بستگی دارد (Norris, 1997). با این وجود، توزیع احتمالات آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد و هر متغیر تصادفی در زنجیره مارکوف تنها به متغیر قبل از خود بستگی دارد (Mohammadian Behbahani & Heidari Zadi, 2019). رابطه (۲)، محاسبه پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین را توضیح می‌دهد (Sang et al., 2011):

$$S(t, t+1) = P_{ij} \times S(t) \quad (2)$$

که در آن  $S(t)$  وضعیت سیستم در زمان  $t$  است،  $S(t+1)$  وضعیت سیستم در زمان  $(t+1)$  است.  $P_{ij}$  ماتریس احتمال انتقال در حالتی است که به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Sang et al., 2011; Kumar et al., 2014):

$$P = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & P_{1,N} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & P_{2,N} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_{N,1} & P_{N,2} & P_{N,N} \end{bmatrix}, \quad (0 \leq P_{ij} \leq 1) \quad (3)$$

ارتباط است و ممکن است همان تغییرات را در آینده ادامه دهند (Guan et al., 2011). در پژوهش حاضر به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین شهر شیراز و اراضی اطراف آن برای ۲۰ سال آینده، از مدل تلفیقی CA-Markov استفاده شد. بنابراین، پس از اجرای مدل مارکوف برای سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۲، سه خروجی با عناوین ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت انتقال و تصاویر شرطی برای سال ۱۴۰۲ تهیه و در پایان اقدام به اجرای مدل CA-Markov و تهیه نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و پوشش زمین برای سال ۱۴۲۲ شد.

### یافته‌ها

در پژوهش حاضر تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه به کلاس‌های مناطق مسکونی، جاده‌ها، اراضی کشاورزی، باغ‌ها، اراضی بایر و

سلول، اساسی‌ترین جزء اتوماتای سلولی (Margolus, 1987) است. قانون‌گذار انتقال محلی یک تابع پویا است که وضعیت سلول مرکزی را در لحظه بعد از وضعیت سلول مرکزی و همسایگان آن در لحظه فعلی تعیین می‌کند و به آن تابع انتقال حالت نیز می‌گویند، که به صورت زیر بیان می‌شود (Chen & Wen, 2017):

$$C_i^{t+1} = \varphi(C_i^t, C_{i,1}^t, C_{i,2}^t, \dots, C_{i,j}^t, \dots, C_{i,n}^t) \quad (1)$$

که در آن  $C_i^{t+1}$  وضعیت سلول مرکزی  $i$  در لحظه بعدی  $t+1$  است،  $C_i^t$  وضعیت سلول مرکزی  $i$  در لحظه فعلی  $t$  است،  $C_{i,j}^t$  وضعیت سلول همسایه  $j$  را در لحظه فعلی  $t$  نشان می‌دهد،  $\varphi$  ضریب گذار (تکامل) محلی است و  $n$  تعداد همسایگان اطراف سلول مرکزی است.

### • مدل زنجیره مارکوف

مدل زنجیره مارکوف، تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین را از زمانی به زمان دیگر برای پیش‌بینی تغییرات در آینده را بیان می‌کند (Kumar et al., 2014). در مطالعات کاربری زمین، هر طبقه کاربری اراضی شناسایی شده ممکن است برای مدت

که در آن  $P$  احتمال انتقال است،  $P_{ij}$  احتمال تبدیل از حالت  $i$  در زمان فعلی به حالت  $j$  در زمان بعدی است.  $P_N$  احتمال حالت به وجود آمده در هر زمان است. زمانی که احتمال انتقال بسیار زیاد باشد، نتیجه به عدد ۱ نزدیک‌تر می‌شود و زمانی که احتمال انتقال بسیار کم باشد، نتیجه به عدد صفر نزدیک‌تر می‌شود (Kumar et al., 2014). بنابراین ادغام مدل CA-Markov برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی ارزشمند است و می‌تواند تغییرات را شبیه‌سازی و پیش‌بینی کند (Singh et al., 2015; Parsa et al., 2016). این مدل به طور گسترده‌ای برای نشان دادن احتمالات انتقالی چندین کاربری و پوشش زمین در بازه‌های زمانی مختلف استفاده می‌شود. این احتمالات در مدل اتوماتای سلولی برای نشان دادن تغییرات فضایی قابل توجه کاربری‌های اراضی استفاده می‌شود. علاوه بر این، این تغییرات با تأثیر قوی محرک‌هایی که چنین الگویی را ایجاد کرده‌اند در

۳. کلاس اراضی بایر که شامل زمین های بدون پوشش و بایر، نواحی کوهستانی و صخره ای است. جدول (۲)، نتایج حاصل از صحت سنجی طبقه بندی تصاویر ماهواره ای سال های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

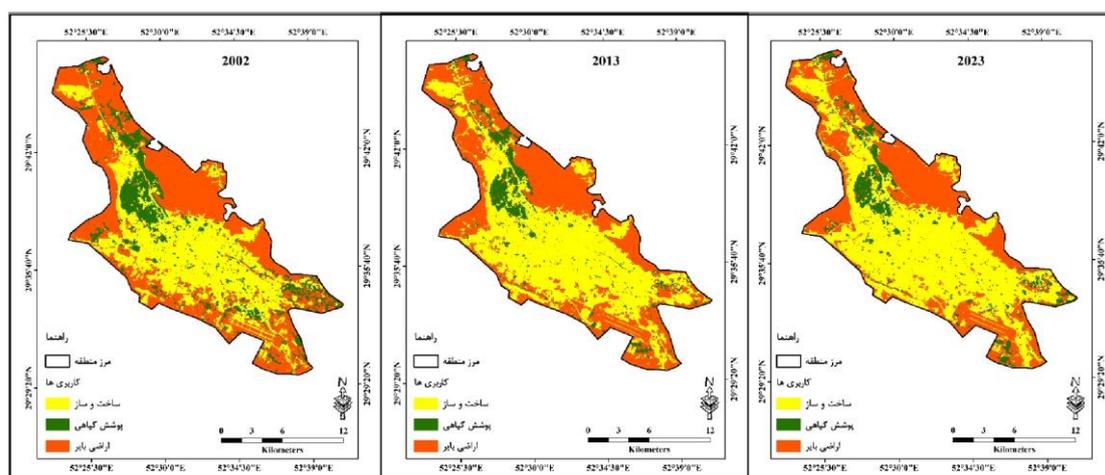
نواحی کوهستانی و صخره ای تفکیک شدند. سپس برخی از کلاس ها با هم ترکیب و در نهایت سه کلاس کاربری و پوشش زمین به صورت زیر استخراج شد:

۱. کلاس کاربری ساخت و ساز شهری، که از ترکیب دو کلاس جاده و مناطق مسکونی حاصل شده است؛
۲. کلاس پوشش گیاهی که شامل اراضی کشاورزی، باغ و پارک است؛

جدول (۲): ارزیابی دقت برای نقشه های طبقه بندی شده سال های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲

سال	کلاس کاربری	دقت کاربر (%)	دقت تولید کننده (%)	دقت کلی (%)	ضریب کاپا (%)
۱۳۸۱	ساخت و ساز	۹۱/۸۲	۱۰۰	۹۳/۰۲	۸۹/۵۳
	پوشش گیاهی	۹۶/۶۳	۸۶		
	اراضی بایر	۹۱/۱۸	۹۳		
۱۳۹۲	ساخت و ساز	۸۷/۰۴	۹۴	۸۸/۶۶	۸۳
	پوشش گیاهی	۸۳/۹۰	۹۹		
	اراضی بایر	۹۱/۶۵	۷۳		
۱۴۰۲	ساخت و ساز	۹۱/۶۷	۱۰۰	۹۱/۳۳	۸۷
	پوشش گیاهی	۹۷/۵۰	۸۷		
	اراضی بایر	۸۶/۶۱	۹۶		

همچنین، شکل (۴) نقشه های طبقه بندی شده تصاویر ماهواره ای سال های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ منطقه مورد مطالعه را نمایش می دهد.



شکل (۴): نقشه های کاربری اراضی و پوشش زمین طبقه بندی شده منطقه مورد مطالعه در سال های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲

آمد که این میزان صحت در سطح قابل قبولی است. همچنین، جدول (۳) میزان مساحت هر کدام از کاربری ها را برای سه سال ذکر شده به صورت هکتار و درصد نشان می دهد.

بر طبق نتایج جدول (۲)، مقدار صحت دقت کلی حاصل از طبقه بندی برای سال های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ به ترتیب ۹۳/۰۲، ۸۸/۶۶، ۹۱/۳۳ درصد و مقدار ضریب کاپا نیز برای هر سه دوره زمانی به ترتیب برابر با ۸۳، ۸۹/۵۳ و ۸۷ درصد به دست

جدول (۳): میزان مساحت طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ به درصد و هکتار

۱۴۰۲		۱۳۹۲		۱۳۸۱		سال	کاربری
درصد (%)	هکتار (ha)	درصد (%)	هکتار (ha)	درصد (%)	هکتار (ha)		
۵۳/۴۶	۱۷۵۹۵/۳۶	۴۹/۴۲	۱۶۲۶۵/۶۱	۳۸/۳۸	۱۲۶۳۳/۴۰		ساخت‌وساز
۸/۵۴	۲۸۱۱/۶۲	۷/۹۸	۲۶۲۸/۷۵	۱۴/۱۰	۴۶۴۰/۵۸		پوشش گیاهی
۳۸	۱۲۵۰۷/۳۵	۴۲/۶۰	۱۴۰۱۹/۹۷	۴۷/۵۲	۱۵۶۴۰/۳۶		اراضی بایر

همچنین، نمودار (۱) میزان مساحت کاربری ساخت‌وساز، پوشش گیاهی و اراضی بایر منطقه مورد مطالعه را برای سه سال ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ نمایش می‌دهد.



نمودار (۱): درصد مساحت طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲

یک طبقه کاربری خاص کاهش یافته است و علامت مثبت (+) نشان‌دهنده افزایش مساحت نسبت به مرحله زمانی قبلی است.

در جدول (۴) نیز، میزان تغییرات طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین برای سه دوره زمانی ذکر شده نشان داده شده است. در این جدول علامت منفی (-) نشان می‌دهد که میزان مساحت

جدول (۴): آمار تغییرات مساحت کاربری و پوشش زمین در سه بازه زمانی مختلف به هکتار و درصد

۱۳۸۱ - ۱۴۰۲		۱۳۹۲ - ۱۴۰۲		۱۳۸۱ - ۱۳۹۲		سال	کاربری
درصد (%)	هکتار (ha)	درصد (%)	هکتار (ha)	درصد (%)	هکتار (ha)		
+۳۹/۲۷	+۴۹۶۱/۹۶	+۸/۱۷	+۱۳۳۹/۷۵	+۲۸/۷۵	+۳۶۳۲/۲۱		ساخت‌وساز
-۳۹/۴۱	-۱۸۲۸/۹۶	+۶/۹۵	+۱۸۲/۸۷	-۴۳/۳۵	-۲۰۱۱/۸۳		پوشش گیاهی
-۲۰/۰۳	-۳۱۳۳/۰۱	-۱۰/۷۸	-۱۵۱۲/۶۲	-۱۰/۳۶	-۱۶۲۰/۳۹		اراضی بایر

نخست با کاهش شدید ۴۳/۳۵ درصد مواجه بوده، اما طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ با رشدی نسبی از ۲۶۲۸/۷۵ به ۲۸۱۱/۶۲ هکتار افزایش یافته است. با این حال، کاهش کلی پوشش گیاهی در بازه ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲ به ۳۹/۴۱ درصد می‌رسد. همچنین، اراضی بایر در هر دو دوره زمانی مورد بررسی حدود ۱۰ درصد کاهش یافته‌اند و در مجموع کاهش ۲۰/۰۳ درصد را در

براساس داده‌های جدول‌های (۳ و ۴)، کاربری ساخت‌وساز در منطقه مورد مطالعه از ۱۲۶۳۳/۴۰ هکتار در سال ۱۳۸۱ به ۱۶۲۶۵/۶۱ هکتار در سال ۱۳۹۲ افزایش یافته که بیانگر رشدی معادل ۲۸/۷۵ درصد است. این رشد در دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ با آهنگی ملایم‌تر و معادل ۸/۱۷ درصد ادامه یافته است. در مجموع، محدوده شهری طی بازه ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲ رشد ۳۹/۲۷ درصدی را تجربه کرده است. در مقابل، پوشش گیاهی در دوره

کل دوره نشان می‌دهند. جدول (۵) نیز تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین را بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲ نشان می‌دهد.

جدول (۵): آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه مورد مطالعه بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲

نوع تبدیل کاربری (از - به)	۱۴۰۲ - ۱۳۸۱ (هکتار)
ساخت‌وساز	۱۲۱۴۹/۹۲
	۱۹۲۷/۶۲
	۳۵۱۷/۸۲
پوشش گیاهی	۷۱/۹۱
	۲۱۰۹/۶۵
	۶۳۰/۰۶
اراضی بایر	۴۱۱/۵۷
	۶۰۳/۳۰
	۱۱۴۹۲/۴۹

توسعه در آن نواحی شده و در نهایت موجب گسترش افقی و نامتوازن شهر در این دوره شده است.

#### • نتایج حاصل از مدل زنجیره مارکوف نقشه‌های سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۲

برای اجرای مدل زنجیره مارکوف، نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۲ به ترتیب به عنوان نقشه‌های پایه وارد مدل شدند. خروجی مدل شامل تصاویر احتمال شرطی، ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال بود که مبنای تهیه نقشه پیش‌بینی سال ۱۴۰۲ قرار گرفت. ضریب کرامر حاصل از این مدل ۰/۸۵ به دست آمد که نشان‌دهنده دقت قابل قبول پیش‌بینی است.

براساس جدول (۵)، طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲، حدود ۳۵۱۷/۸۲ هکتار از اراضی بایر به کاربری ساخت‌وساز و ۶۳۰/۰۶ هکتار به پوشش گیاهی تبدیل شده است. در همین بازه زمانی، ۱۹۲۷/۶۲ هکتار از پوشش گیاهی به ساخت‌وساز و ۶۰۳/۳۰ هکتار به اراضی بایر تغییر یافته‌اند. همچنین ۷۱/۹۱ هکتار از ساخت‌وساز به پوشش گیاهی و ۴۱۱/۵۷ هکتار به اراضی بایر تبدیل شده است. این تحولات نشان‌دهنده تبدیل گسترده اراضی بایر و پوشش گیاهی به ساخت‌وساز و گسترش مناطق شهری است که به کاهش عناصر با عملکرد بوم‌شناختی منجر شده است. تحلیل نقشه‌های کاربری در سال ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ نیز حاکی از آن است که توسعه شهری عمدتاً به سمت غرب، جنوب و جنوب‌شرق شیراز صورت گرفته، در حالی که وجود ناهمواری‌ها و ارتفاعات در بخش‌های شمالی و شرقی مانع

جدول (۶): ماتریس احتمال انتقال کاربری اراضی و پوشش زمین حاصل از مدل زنجیره مارکوف (۱۳۸۱ - ۱۳۹۲)

۱۳۸۱ - ۱۳۹۲	ساخت‌وساز	پوشش گیاهی	اراضی بایر
ساخت‌وساز	۰/۸۱۹۰	۰/۰۱۶۱	۰/۱۶۵۰
پوشش گیاهی	۰/۳۴۸۹	۰/۴۴۷۱	۰/۲۰۴۰
اراضی بایر	۰/۲۹۴۱	۰/۰۳۴۸	۰/۶۷۱۱

جدول (۷): ماتریس مساحت انتقال کاربری اراضی و پوشش زمین حاصل از مدل زنجیره مارکوف (۱۳۸۱ - ۱۳۹۲)

۱۳۸۱ - ۱۳۹۲	ساخت‌وساز	پوشش گیاهی	اراضی بایر
ساخت‌وساز	۱۵۱۱۵۳	۲۹۶۳	۳۰۴۵۱
پوشش گیاهی	۹۹۴۶	۱۲۷۴۷	۵۸۱۷

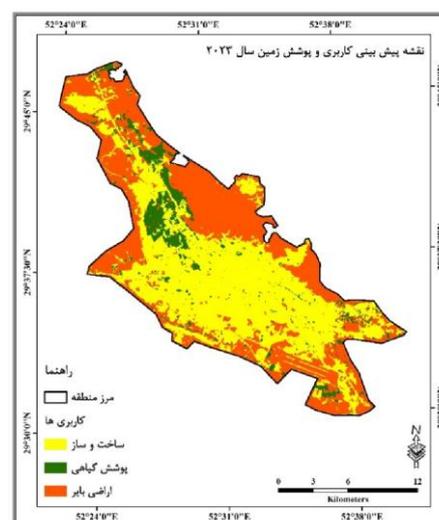
۱۰۱۹۰۵	۵۲۸۳	۴۴۶۵۱	اراضی بایر
--------	------	-------	------------

پیش‌بینی، نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۴۰۲ با نقشه واقعی همان سال از نظر تعداد و موقعیت سلول‌های هر کلاس مقایسه شد و شاخص کاپای استاندارد ( $K_{standard}$ ) به‌عنوان معیار صحت مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص با استفاده از دستور Validate در نرم‌افزار TerrSet 18.3.1 محاسبه شد و مقدار ۰/۹۲ به‌دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین است.

#### • مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۴۲۲ براساس مدل CA-Markov

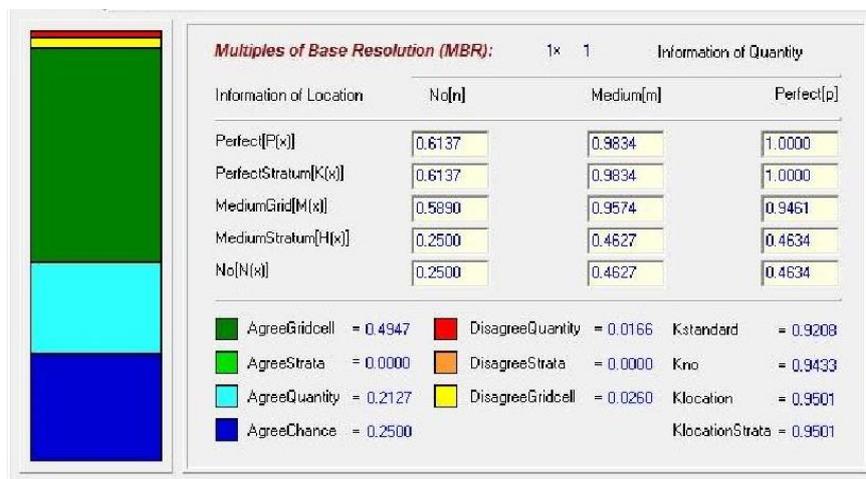
با توجه به اعتبار قابل‌قبول مدل در مرحله نخست ارزیابی، مدل CA-Markov مجدداً برای پیش‌بینی کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۴۲۲ اجرا شد. در این مرحله، داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ به مدل زنجیره مارکوف وارد و سه خروجی شامل تصاویر احتمال شرطی، ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال استخراج شد. ضریب کرامر حاصل از این اجرا برابر با ۰/۹۰ به‌دست آمد که بیانگر همبستگی مناسب بین داده‌های زمانی است. با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۲ به‌عنوان نقشه پایه و ترکیب آن با خروجی‌های ذکر شده، پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۱۴۲۲ توسط مدل CA-Markov انجام شد. جزئیات مربوط به ماتریس احتمال انتقال و مساحت انتقال در جدول‌های (۸ و ۹) ارائه شده است.

• تهیه نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۴۰۲ توسط مدل CA-Markov  
برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۴۰۲ نیاز به نقشه کاربری اراضی پایه (نقشه سال ۱۳۹۲)، ماتریس مساحت انتقال و تصاویر احتمال شرطی جهت مدل‌سازی است. با وارد کردن این ورودی‌ها در مدل CA-Markov، نقشه پیش‌بینی سال ۱۴۰۲ تولید شد (شکل ۵).



شکل (۵): نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۴۰۲

• تعیین اعتبار و ارزیابی مدل CA-Markov  
برای ارزیابی دقت مدل CA-Markov و اعتبارسنجی نتایج



شکل (۶): نتایج ارزیابی صحت مدل CA-Markov

جدول (۸): ماتریس احتمال انتقال کاربری اراضی و پوشش زمین حاصل از مدل زنجیره مارکوف (۱۴۰۲ - ۱۳۹۲)

اراضی بایر	پوشش گیاهی	ساخت و ساز	۱۳۹۲ - ۱۴۰۲
۰/۱۴۷۹	۰/۰۸۲۲	۰/۷۶۹۹	ساخت و ساز
۰/۲۵۴۸	۰/۵۰۷۰	۰/۲۳۸۲	پوشش گیاهی
۰/۵۸۷۰	۰/۰۷۷۱	۰/۳۳۶۰	اراضی بایر

جدول (۹): ماتریس احتمال انتقال کاربری اراضی و پوشش زمین حاصل از مدل زنجیره مارکوف (۱۴۰۲ - ۱۳۹۲)

اراضی بایر	پوشش گیاهی	ساخت و ساز	۱۳۹۲ - ۱۴۰۲
۲۹۵۶۵	۱۶۴۲۱	۱۵۳۸۴۶	ساخت و ساز
۷۸۱۶	۱۵۵۴۹	۷۳۰۶	پوشش گیاهی
۷۹۳۵۶	۱۰۴۱۶	۴۵۴۱۷	اراضی بایر

اراضی و پوشش زمین سال ۱۴۲۲ حاصل از مدل CA-Markov را نمایش می دهد.

همچنین جدول (۱۰)، میزان مساحت کاربری ساخت و ساز، پوشش گیاهی و اراضی بایر را برای سال ۱۴۲۲ به صورت هکتار و درصد نشان می دهد و شکل (۷) نیز، نقشه پیش بینی کاربری

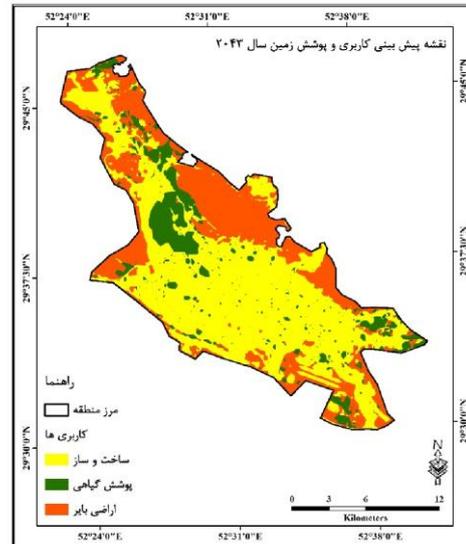
جدول (۱۰): میزان مساحت طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین در سال ۲۰۴۳ به درصد و هکتار

اراضی بایر	پوشش گیاهی	ساخت و ساز	کاربری
			مساحت
۱۰۴۳۳/۲۸	۳۳۹۶/۳۱	۱۹۰۸۴/۸۹	هکتار (ha)
۳۱/۷۰	۱۰/۳۲	۵۷/۹۸	درصد (%)

سه طبقه کاربری اراضی و پوشش زمین در سال ۱۴۲۲ را در مقایسه با سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ نشان می‌دهد و نمودار (۲) درصد تغییرات این کاربری‌ها در بازه زمانی ۱۴۰۲ تا ۱۴۲۲ را ترسیم می‌کند.

براساس نتایج جدول (۱۱)، پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که تا سال ۱۴۲۲، سطح کاربری ساخت‌وساز و پوشش گیاهی به ترتیب با افزایش ۸/۴۷ و ۲۰/۸۰ درصدی نسبت به سال ۱۴۰۲ مواجه خواهند بود، در حالی که سطح اراضی بایر در همین بازه زمانی ۱۶/۵۸ درصد کاهش خواهد یافت. تحلیل روند بلندمدت از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۲۲ نشان می‌دهد که پوشش گیاهی و اراضی بایر به ترتیب با کاهش ۲۶/۸۱ و ۳۳/۲۹ درصدی همراه بوده‌اند، در مقابل، کاربری ساخت‌وساز افزایش چشمگیری معادل ۵۱/۰۷ درصد را تجربه کرده است. نمودار (۲)، درصد تغییرات سطوح کاربری اراضی و پوشش زمین شهر شیراز و پیرامون آن را در بازه زمانی ۱۴۰۲ تا ۱۴۲۲ نشان می‌دهد.

جدول (۱۲) نیز آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه مورد مطالعه را بین سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۲۲ نشان می‌دهد.



شکل (۷): نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۴۲۲

براساس نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل CA-Markov برای سال ۱۴۲۲، مساحت کاربری ساخت‌وساز به ۱۹۰۸۴/۸۹ هکتار، پوشش گیاهی به ۳۳۹۶/۳۱ هکتار و اراضی بایر به ۱۰۴۳۳/۲۸ هکتار خواهد رسید. این نتایج بیانگر روند افزایشی در مساحت کاربری‌های ساخت‌وساز و پوشش گیاهی و روند کاهشی در اراضی بایر نسبت به سال ۱۴۰۲ است. جدول (۱۱) روند تغییرات

جدول (۱۱): روند تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در سال ۱۴۲۲ نسبت به سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲

۱۴۰۲ - ۱۴۲۲		۱۳۹۲ - ۱۴۲۲		۱۳۸۱ - ۱۴۲۲		بازه زمانی کاربری
درصد (%)	هکتار (ha)	درصد (%)	هکتار (ha)	درصد (%)	هکتار (ha)	
+۸/۴۷	+۱۴۸۹/۵۳	+۱۷/۳۳	+۲۸۱۹/۷۵	+۵۱/۰۷	+۶۴۵۱/۴۹	ساخت‌وساز
+۲۰/۸۰	+۵۸۴/۶۹	+۲۹/۲۰	+۷۶۷/۵۶	-۲۶/۸۱	-۱۲۴۴/۲۷	پوشش گیاهی
-۱۶/۵۸	-۲۰۷۴/۰۷	-۲۵/۵۸	-۳۵۸۶/۶۹	-۳۳/۲۹	-۵۲۰۷/۰۸	اراضی بایر



نمودار (۲): درصد تغییرات سطوح کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه مورد مطالعه بین سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۲۲

جدول (۱۲): آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه مورد مطالعه بین سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۲۲

نوع تبدیل کاربری (از - به)	۱۴۲۲ - ۱۴۰۲ (هکتار)
ساخت‌وساز	۱۷۳۷۵/۱۸
	-
	۱۷۰۹/۷۱
پوشش گیاهی	۱۹۵/۱۶
	۲۷۹۷/۱۵
	۴۰۴
اراضی بایر	۲۵/۰۲
	۱۴/۶۷
	۱۰۳۹۳/۵۹

براساس نتایج جدول (۱۲) و پیش‌بینی‌های انجام شده، در بازه زمانی ۱۴۰۲ تا ۱۴۲۲، حدود ۱۷۰۹/۷۱ هکتار از اراضی بایر به کاربری ساخت‌وساز و ۴۰۴ هکتار به پوشش گیاهی تغییر خواهد یافت، که عمده این تغییرات در جهت توسعه مناطق شهری است. اگرچه روند تخریب اراضی بایر در این بازه کمتر از دوره ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲ خواهد بود، اما همچنان کاهش قابل‌توجهی را تجربه می‌کند. در همین دوره، ۱۴/۶۷ هکتار از پوشش گیاهی به اراضی بایر، و به‌طور هم‌زمان، ۱۹۵/۱۵ و ۲۵/۰۲ هکتار از کاربری ساخت‌وساز به ترتیب به پوشش گیاهی و اراضی بایر تغییر خواهد یافت. این نتایج نشان‌دهنده تداوم روند رشد ساخت‌وساز و کاهش اراضی بایر است. برخلاف روند کاهشی پوشش گیاهی در بازه ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲، در دوره ۱۴۰۲ تا ۱۴۲۲ افزایش مساحت این کاربری پیش‌بینی می‌شود که نشان‌دهنده تحولی مثبت در وضعیت پوشش گیاهی منطقه است. همچنین، نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۱۴۲۲ بیانگر توسعه فیزیکی افقی و پراکنده شهر شیراز است که از الگوی رشد استاندارد شهری انحراف دارد.

### بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با استفاده از مدل CA-Markov، که تلفیقی از اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف است، تغییرات فضایی - زمانی کاربری اراضی و پوشش زمین شهر شیراز و مناطق اطراف آن را در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲ تحلیل و وضعیت آینده آن را برای سال ۱۴۲۲ پیش‌بینی کرد. داده‌های لندست و تکنیک‌های GIS

به‌منظور طبقه‌بندی سه کلاس کاربری (ساخت‌وساز، پوشش گیاهی، اراضی بایر) به کار گرفته شدند. اعتبارسنجی مدل با ضریب کاپا ۰/۹۲ نشان‌دهنده دقت بالای شبیه‌سازی بود. نتایج نشان داد، سطح ساخت‌وساز در طول دوره ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲ به میزان ۳۹/۲۷ درصد افزایش یافته، در حالی که اراضی بایر ۲۰/۰۳ درصد کاهش داشته‌اند و به‌طور عمده ۳۵۱۷/۸۲ هکتار از اراضی بایر به ساخت‌وساز تبدیل شده است. این روند افزایشی ساخت‌وساز و کاهش اراضی بایر، همسو با مطالعات مشابه مانند (Shamsipour et al., 2020) برای شهر شیراز، (Afifi, 2020) برای شهر کرمانشاه و (Auwalu et al., 2020) برای شهر زاربا در کشور نیجریه است. برطبق یافته‌های پژوهش حاضر، پوشش گیاهی ابتدا تا سال ۱۳۹۲ با ۴۳/۳۵ درصد کاهش مواجه شد، اما در دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ روند افزایشی ۶/۹۵ درصدی را نشان داد. با این حال، کل دوره ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۲ کاهش پوشش گیاهی به دلیل تغییر عمده به ساخت‌وساز مشاهده شد. دلایل اصلی این تغییرات شامل افزایش جمعیت، تخریب مراتع به دلیل چرای نامناسب، خشکسالی‌های اخیر و گسترش فعالیت‌های انسانی است. نقشه‌ها حاکی از رشد شهری افقی و پراکنده به سمت غرب، جنوب و جنوب شرق شیراز است که برخلاف الگوی رشد شهری فشرده و پایدار است. پیش‌بینی‌ها برای سال ۱۴۲۲ حاکی از افزایش ۸/۴۷ درصد در مساحت ساخت‌وساز، ۲۰/۸۰ درصد در مساحت پوشش گیاهی و کاهش ۱۶/۵۸ درصد در اراضی بایر است. این روندها با مطالعات مشابه

هر چند مدل به‌دقت تغییرات را پیش‌بینی کرده، کمبود داده‌های به‌روز جمعیتی از محدودیت‌های مطالعه است که نیازمند تحقیقات آینده برای بررسی ارتباط دقیق‌تر بین رشد جمعیت و تغییرات کاربری اراضی است. این رویکرد، درک جامع‌تری از پویایی بلندمدت تغییرات زمین و پیامدهای آن برای توسعه پایدار فراهم خواهد کرد.

### یادداشت‌ها

1. Land Use/Land Cover
2. Cellular Automata
3. Markov Chain
4. United States Geological Survey
5. Region of Interest
6. Cramer's V
7. Neural Network Classification
8. Overall Accuracy
9. Kappa Coefficient

همخوانی دارد و نشان می‌دهد ادامه تبدیل اراضی بایر به ساخت‌وساز و رشد پوشش گیاهی در آینده محتمل است، هر چند توسعه پراکنده شهری همچنان به‌عنوان چالشی باقی می‌ماند. پیامدهای این روند شامل تخریب اراضی بایر، کاهش عمل اکولوژیکی و افزایش مهاجرت خواهد بود. براساس نتایج، پیشنهادات زیر برای کاهش گسترش افقی و بهبود مدیریت اراضی ارائه می‌شود:

۱. تدوین و اجرای برنامه‌های حفظ و گسترش پوشش گیاهی و مدیریت ساخت‌وسازها؛
۲. تشویق توسعه عمودی و فشرده برای کاهش گسترش افقی؛
۳. افزایش آگاهی عمومی و مشارکت مردم در حفظ فضای سبز؛
۴. بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک‌پذیری بالا و مدل‌های شبیه‌سازی برای مدیریت بهتر توسعه شهری.

### منابع

- Afifi, M.E. 2020. Land use change modeling using Markov Chain Model and LCM Model, case study: Shiraz city. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*. 20(56): 141-158. (In Persian)
- Ait El Haj, F., Ouadif, L., & Akhssas, A. 2023. Simulating and predicting future land-use/land cover trends using CA-Markov and LCM models. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 7(3): 100342.
- Aliani, H., Malmir, M., Sourodi, M. & Babaie Kafaky, S. 2019. Change detection and prediction of urban land use changes by CA-Markov model (case study: Talesh County). *Environmental Earth Sciences*. 78: 546.
- Al Kafy, A., Huda Naim, M. N., Subramanyam, G., Faisal, A. A., Ahmed, N.U., Rakib, A.A., Kona, M.A. & Sattar, G.S. 2021. Cellular Automata approach in dynamic modelling of land cover changes: using RapidEye images in Dhaka, Bangladesh. *Environmental Challenges*. 4(2): 100084.
- Al-shalabi, M., Billa, L., Pradhan, B., Mansor, S. & Al-Sharif, A.A. 2013. Modelling urban growth evolution and land use changes using GIS based cellular automata and SLEUTH models: the case of Sana'a metropolitan city, Yemen. *Environmental Earth Sciences*. 70: 425-437.
- Alshari, E.A. & Gawali, B.W. 2021. Development of Classification System for LULC Using Remote Sensing and GIS. *Glob. Transit. Proc.* 2: 8-17.
- Auwalu, F.K., Yue, W., Abubakar, G.A., Hamed, R. & Alabsi, A.A.N. 2020. Monitoring and Predicting Spatio-Temporal Land Use/Land Cover Changes in Zaria City, Nigeria, through an Integrated Cellular Automata and Markov Chain Model (CA-Markov). *Sustainability*. 7(24): 10452.
- Azabdaftari, A., & Sunar, F. 2024. Predicting urban tomorrow: CA-Markov modeling and district evolution. *Earth Science Informatics*. 17(4): 3215-3232.
- Beroho, M., Birak, H., Cherif, E.K., Boulhafa, I., Ouallali, A., Mrabet, R., Kebede, F., Bernardino, A. & Aboumaria, K. 2023. Future Scenarios of Land Use/Land Cover(LULC) Based on a CA-Markov Simulation Model: Case of a Mediterranean Watershed in Morocco. *Remote Sensing*. 15(4): 1162.
- Celik, B., Kaya, S., Alganci, U. & Seker, D.Z. 2019. Assessment of the relationship between land use/cover changes and land surface temperatures: a case study of thermal remote sensing. *Fresenius Environ Bull.* 28(2): 541-547.

- Chen, M.C. & Wen, Q.Q. 2017. Simulation of Corrosion Process for Structure with the Cellular Automata Method. *Materials Science and Engineering*. 216(1): 012012.
- Congalton, R.G. & Green, K. 2009. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data-Principles and Practices*, (2nd Ed), Boca Raton: CRC Press. 183.
- Gharaibeh, A., Shaamala, A., Obeidat, R. & Al-Kofahi, S. 2020. Improving Land Use Change Modeling by Integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain Model. *Heliyon*. 6(9): e05092.
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., Nayak, S.K., Ghosh, S., Mitra, D., Ghosh, T., & et al. 2017. Application of Cellular Automata and Markov-Chain Model in Geospatial Environmental Modeling-A Review. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 5: 64-77.
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T. & Hokao, K. 2011. Modelling urban land use change by the integration of cellular automation and markov model. *Ecological Modelling*. 222(20-22): 3761-3772.
- Hua, A.K. 2017. Land use land cover changes in detection of water quality: A study based on remote sensing and multivariate statistics. *J. Environ. Publ. Heal.* 7515130.
- Hussain, S., Lu, L., Mubeen, M., Nasim, W., Karuppanan, S., Fahad, S., Tariq, A., Mousa, B.G., Mumtaz, F & Aslam, M. 2022. Spatiotemporal Variation in Land Use Land Cover in the Response to Local Climate Change Using Multispectral Remote Sensing Data. *Land*. 11(5): 595.
- Imani Harsini, J., Kaboli, M., Fegghi, J. & Taherzadeh, A. 2016. Land use/land cover change modelling using Markov chain and Cellular Automata (Case study: Hamedan province), *Journal of Environmental Science and Technology*. 19: 119-129. (In Persian)
- Jensen, J.R., 1986. *Introductory Digital Image Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Jokar Arsanjani, J., Kainz, W. & Mousivand, A.J. 2011. Tracking dynamic land use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular automata: the case of Tehran, *International Journal of Image and Data Fusion*. 2(4): 329-345.
- Jokar Arsanjani, J., Helbich, M., Kainz, W. & Darvishi Bolorani, A. 2013. Integration of Logistic Regression, Markov Chain and Cellular Automata Models to Simulate Urban Expansion. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 21(1): 265-275.
- Karimi, H., Jafarnezhad, J., Khaledi, J. & Ahmadi, P. 2018. Monitoring and Prediction of Land Use/Land Cover Changes Using CA-Markov Model: A Case Study of Ravansar County in Iran. *Arab. J. Geosci.* 11: 592.
- Kumar, S., Radhakrishnan, N. & Mathew. S. 2014. Land use change modelling using a Markov model and remote sensing. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 5: 145-156.
- 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(1): 112321.
- Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., Li, S., Wang, S. & Pei, F. 2017. A Future Land Use Simulation Model (FLUS) for Simulating Multiple Land Use Scenarios by Coupling Human and Natural Effects. *Landsc. Urban Plan.* 168: 94-116.
- Merhej, O.A., Ali, M.K., Thabeet, A. & Idress, Y. 2019. Evaluation of forest fire damage and risk in northern Lata-kia during the crisis years using the Normalized Burn Ratio. *Syrian Remote Sensing Journal*. 14(2): 12- 21. (in Arabic).
- Mohammadian Behbahani, A. & Heidari Zadi, Z. 2019. Monitoring and predicting the trend of sand zone changes using the CA-Markov model(case study: Abu Ghovair Plain, Dehloran, Ilam Province), *Environmental Sciences*. 16(4): 153-166. (in Persian)
- Mohammady, S., Delavar, M.R. & Pahlavani, P. 2014. Urban Growth Modeling Using An Artificial Neural Network a Case Study of Sanandaj City, Iran. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XL-2/W3(2): 203-208.
- Mondal, P. & Southworthe, J., 2010. Valuation of conservation interventions using a cellular automata-Markov model. *For. Ecol. Manag.* 260(10): 1716-1725.
- Nasehi, S., Imanpour, A. & Salehi, E. 2019. Simulation of land cover changes in urban area using CA-Markov model (case study: zone 2 in Tehran, Iran). *Modeling Earth Systems and Environment*. 5(1): 193-202.

- Norris, J.R. 1997. *Markov Chains*, Cambridge University Press, UK.
- Nouri, J., Gharagozlou, A., Arjmandi, R., Faryadi, S. & Adl, M. 2014. Predicting Urban Land Use Changes Using a CA–Markov Model. *Arab. J. Sci. Eng.* 39: 5565-5573.
- Nourqolipour, R., Mohamed Shariff, A.R.B., Balasundram, S.K., Ahmad, N.B., Sood, A.M., Buyong, T. & Amiri, F.A. 2015. GIS-Based Model to Analyze the Spatial and Temporal Development of Oil Palm Land Use in Kuala Langat District, Malaysia. *Environ. Earth Sci.* 73(4): 1687-1700.
- Parsa, V.A., Yavari, A. & Nejadi, A. 2016. Spatio-temporal analysis of land use/land cover pattern changes in Arasbaran Biosphere Reserve: Iran. *Modeling Earth System and Environment.* 2: 1-13.
- Regmi, R., Saha, S. & Balla, M. 2014. Geospatial analysis of land use land cover change predictive modeling at Phewa Lake Watershed of Nepal. *Int. J. Curr. Eng. Tech.* 4(4): 2617-2627.
- Rehman, A., Qin, J., Shafi, S., Khan, M.S., Ullah, S., Ahmad, K., Rehman, N.U. & Faheem, M. 2022. Modelling of Land Use/Cover and LST Variations by Using GIS and Remote Sensing: A Case Study of the Northern Pakhtunkhwa Mountainous Region, Pakistan. *Sensors.* 22(13): 4965.
- Revuelta-Acosta, J.D., Guerrero-Luis, E.S., Terrazas-Rodriguez, J.E., Gomez Rodriguez, C. & Alcalá Perea, G. 2022. Application of Remote Sensing Tools to Assess the Land Use and Land Cover Change in Coatzacoalcos, Veracruz, Mexico. *Appl. Sci.* 12(4): 1882.
- Roy, S., Farzana, K., Papia, M. & Hasan, M. 2015. Monitoring and prediction of land use/land cover change using the integration of Markov chain model and cellular automation in the Southeastern Tertiary Hilly Area of Bangladesh. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research.* 24(4): 125-148.
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D. & Yun, W. 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling.* 54: 938-943.
- Santé, I., García, A. M., Miranda, D. & Crecente, R. Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning.* 96(2), 108-122.
- Seyam, M.M.H., Haque, M.R. & Rahman, M.M. 2023. Identifying the Land Use Land Cover(LULC) Changes Using Remote Sensing and GIS Approach: A Case Study at Bhaluka in Mymensingh, Bangladesh. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 7: 100293.
- Shamsipour, A.A., Heydari, S., & Bagheri, K. 2017. Monitoring the Process of Land Use/cover Change Using CA-Markov Model: a Case Study of Kermanshah City. *Geographical Urban Planning Research.* 5(3): 495-514. (In Persian)
- Shiraz Solidwaste Management Organization. 2010. Master Plan of Shiraz SWMS(Horizon Target:2022).
- Siddiqui, A., Siddiqui, A., Maithani, S., Jha, AK., Kumar, P. & Srivastav, S.K. 2018. Urban growth dynamics of an Indian metropolitan using CA-Markov and Logistic Regression. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences.* 21(3): 229-236.
- Singh, SK., Mustak, S., Srivastava, PK., Szabó, S. & Islam, T. 2015. Predicting spatial and decadal LULC changes through cellular automata Markov chain models using earth observation datasets and geo-information. *Environment Process.* 2: 61-78.
- Solaimani, K., Shokrian, F., Darvishi, Sh. 2023. Monitoring and predicting spatial-temporal changes in land use and growth of Kermanshah city using remote sensing and CA-Markov model. *Urban Structure and Function Studies.* 10(35): 57-82. (In Persian)
- Sundar, P.K.S. & Deka, P.C. 2021. Spatio-Temporal Classification and Prediction of Land Use and Land Cover Change for the Vembanad Lake System, Kerala-A Machine Learning Approach. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29: 86220-86236.
- Talebi Khiavi, H. & Mostafazadeh, R. 2021. Land use change dynamics assessment in the Khiavchai region, the hillside of Sabalan mountainous area. *Arabian Journal of Geosciences.* 14, 2257: 1-15.
- Teferi, E., Uhlenbrook, S., Bewket, W., Wenninger, J. & Simane, B. 2010. The use of remote sensing to quantify wetland loss in the Choke Mountain range, Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences.* 14(12): 2415-2428.
- Toffoli, T. & Margolus, N. 1987. *Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts Institute of Technology.
- Von Neumann, J. 1951. The general and logical theory of automata. 1-25.
- Wolfram, S. 1983. Statistical mechanics of cellular automata. *Rev. Mod. Phys.* 55(3): 601-644.

- Yang, X., Zheng, X.Q. & Chen, R.A. 2014. Landuse change model: Integrating landscape pattern indexes and CA-Markov. *Ecol. Model.* 283: 1-7.
- Zadbagher, E., Kazimierz, B. & Berberoglu, S. 2018. Modeling land use/land cover change using remote sensing and geographic information systems: case study of the Seyhan Basin, Turkey. *Environment Monitoring and Assessment.* 190(8): 494.