

<https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2024.2023758.3064>

## Monitoring and predicting of land use changes and physical expansion of Rudsar City using LCM and CA-Markov model

Roya Ramezani Kiasejmahaleh<sup>1</sup> , Esmail Salehi<sup>\*2</sup>

1- PhD student, Department of environmental planning, management and education, Faculty of environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Email: roya.ramezani@ut.ac.ir

2- (\*Corresponding author) Associate professor, Department of environmental planning, management and education, Faculty of environment, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: tehranssaleh@ut.ac.ir

### Article Info

#### Date of receive:

2024/06/08

#### Date of last review:

2024/10/10

#### Date of accept:

2024/10/11

#### Date of online publication:

2024/10/20

### Keywords:

Modeling,  
Maximum likelihood  
classification,  
Remote sensing,  
Landsat satellite,  
Simulation

### Extended Abstract

#### Introduction

The increase in population and the rapid increase in urbanization is one of the key factors of land use change, which leads to the destruction of forests and the conversion of fertile land into urban construction with a significant impact on ecosystems. Land use change is a change in the way land is used, and these changes are shaped by numerous factors, such as politics, management, economics, culture, and the environment. It has serious consequences for the environment. Many cases, such as soil erosion, water scarcity, impact on ecosystem services, decreased biodiversity and habitat loss, and impact on surface temperatures are among the environmental problems caused by land use change. In addition to reducing natural resources, these changes could have serious socio-political consequences in the region by affecting food supply. Hence, recognizing land use change and its driving forces is critical to environmental protection, resource management, land use planning, and sustainable development. To this end, the use of geographic data in combination with land surface modelers (e.g. The LCM and CA-Markov model) offers an effective tool in understanding the dynamics of land use changes in place and time, which can be a guide in formulating policies for the sovereignty of sustainable land.

#### Methods and Materials

The present study is applied research, which is prepared by a descriptive-analytical method. In order to prepare a land use map of the studied area, Landsat satellite images sensors of TM, ETM+ and OLI from three time periods, for 1997, 2010 and 2023, respectively, were used by the American Geological Site (USGS). ... Page 48

### How to Cite:

Ramezani Kiasejmahaleh, R. Salehi, E. (2025). Monitoring and predicting of land use changes and physical expansion of Rudsar City using LCM and CA-Markov model. Scientific - Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 34 (133), 47-63.

After receiving satellite images, radiometric corrections were performed and then atmospheric corrections were performed using FLAASH command in ENVI 5.3 software. In the next step, points were selected as educational examples in Google Earth Pro software to collect ground information. These samples were collected in six classes: agricultural land, garden land, urban and built land, forest cover, barren land and river. Then, using Maximum Likelihood, which is a supervised classification method, was used to classify the images. In the next step, the maps were entered into ArcGIS 10.7.1 software and necessary calculations such as determining the area of each user were determined. Then, the maps were entered on the IDRISI TerrSet software and the trend of land use changes was investigated using the LCM model. Finally, using the CA-Markov model, land use changes were predicted first for 2023 and then for 2036.

### Results & Discussion

The results showed that from 1997 to 2010, agricultural land increased by 1.8%, garden land by 3.3%, urban and built land by 0.8%, and bareland by 0.75%. But the forest cover shows a decrease of about 6%. In the analysis of time changes between 2010 and 2023, garden land has increased by 2.25%, urban and built land by 9.9%, bareland by 0.85%. Forest cover decreased by 2.36%. During this period, the area of agricultural land has decreased dramatically by about 10%. This decline was caused by the conversion of agricultural land into land (especially Kiwi gardens) and even built land. Also, the gardens and agricultural land that were near the coast, due to the receding of the Caspian Sea, have become urban and built land, and the process of urban development has spread towards the coast. According to the projected land use map of 2036, the area of agricultural use shows a significant decrease compared to 2023. In 2036, 6.48% of the agricultural area used was reduced and added to the area for other uses. These results show that we will see a decline in agricultural land in the coming years, and this is predictable given the annual increase in the price of agricultural tools and inputs, the increase in the problems

of farmers in selling crops and the lack of savings in land cultivation, the increase in land prices and the increase in the number of immigrants from the central and southern provinces of the country to this region to buy land and housing, which requires more attention from planners and managers in the decision-making process.

### Conclusion

The results showed that in different years, the area of agricultural land has decreased due to the conversion of this land into garden land and urban and built land. Due to the increase in the price of agricultural inputs in recent years and the lack of sales or sales at low crop prices, in the future, the decrease in agricultural land area will continue at a faster rate, and these lands will either become garden land and built land, or they will increase the area of bareland due to the lack of land cultivation. Over the past years, with the retreat of the Caspian Sea, urban land has expanded towards the coast, and this trend will continue in the future. Therefore, since these changes have significant effects on sustainability, food security, biodiversity and socio-economic vulnerability of the region, it is necessary for planners to make appropriate management decisions to preserve agricultural land and control urban development in the region and prevent the serious damage that will be done to the region following these changes.



## فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۴، شماره ۱۳۳، بهار ۱۴۰۴

صفحات ۶۳ - ۴۷

مقاله پژوهشی

<https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2024.2023758.3064>

## پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر رودسر با استفاده از مدل LCM و CA-Markov

 رؤیا رضانی کیاسج محله<sup>۱</sup>، اسماعیل صالحی\*<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران [roya.ramezani@ut.ac.ir](mailto:roya.ramezani@ut.ac.ir)  
 ۲- (\*نویسنده مسئول) دانشیار گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران [tehranssaleh@ut.ac.ir](mailto:tehranssaleh@ut.ac.ir)

## چکیده

رشد و گسترش تصاعدی شهرها که با فعالیت‌های ناپایدار شروع و به کمبود منابع ضروری می‌انجامد، باعث آسیب شدید به زیست‌کره می‌شود. اگر مصرف بی‌رویه منابع در داخل و اطراف زیستگاه انسان باشد، باید این تمایلات به طور مرتب پایش شده و اقدامات لازم برای جلوگیری از بهره‌برداری بیهوده از منابع ارزشمند زمین اتخاذ شود. بر این اساس پژوهش حاضر با هدف پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و بررسی روند گسترش فیزیکی شهر رودسر صورت پذیرفت. به همین منظور از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI ماهواره لندست به ترتیب برای سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۳ استفاده شد. تصاویر با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده به شش کلاس اراضی کشاورزی، اراضی باغی، اراضی شهری و ساخته شده، پوشش جنگلی، اراضی بایر و رودخانه طبقه‌بندی شدند. به منظور ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی از مدل LCM استفاده شد. سپس با استفاده از مدل CA-Markov نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳ با نقشه واقعی سال ۲۰۲۳ مورد مقایسه قرار گرفت و اعتبارسنجی مدل با مقادیر کاپای بالای ۰/۷۵ تأیید شد. نتایج حاصل از بررسی تغییر کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۳ نشان داد که از مساحت اراضی کشاورزی کاسته شده و به مساحت اراضی باغی، اراضی شهری و ساخته شده و نیز اراضی بایر افزوده شده است. پیش‌بینی تغییرات برای سال ۲۰۳۶ نیز ادامه روند کاهش را برای اراضی کشاورزی و روند افزایش را برای اراضی شهری و ساخته شده تعیین کرده و گسترش فیزیکی شهر را به سمت نواحی ساحلی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه نتایج حاصله، اثرات قابل توجهی بر پایداری اقتصادی - اجتماعی و محیط‌زیستی منطقه دارد، از این‌رو لازم است تا برنامه‌ریزان تصمیمات مدیریتی مناسبی را در راستای حفظ اراضی کشاورزی و کنترل توسعه شهری داشته باشند.

## اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۳/۱۹

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۳/۰۷/۱۹

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۷/۲۰

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۰۷/۲۹

## واژه‌های کلیدی:

مدل‌سازی؛

طبقه‌بندی حداکثر

احتمال؛

سنجش از دور؛

ماهواره لندست،

شبیه‌سازی

## استناد به این مقاله:

رضانی کیاسج محله، ر؛ صالحی، الف (۱۴۰۴) پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر رودسر با استفاده از مدل LCM و CA-Markov؛ فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۴ (۱۳۳)، ۴۷-۶۳

## مقدمه

تأثیر بر دمای سطح زمین از جمله مشکلات محیط‌زیستی ناشی از تغییر کاربری اراضی هستند (Yeneneh et al., 2022). چنین تغییراتی معمولاً ناشی از فعالیت‌های انسانی (مانند جنگل‌زدایی، شهرنشینی و تشدید کشاورزی و در نهایت تخریب زمین) است (Lambin, 1997; Elagouz et al., 2020). این تغییرات می‌توانند علاوه بر کاهش منابع طبیعی، با تأثیر بر عرضه مواد غذایی باعث پیامدهای اجتماعی-سیاسی جدی در منطقه شوند (Turner et al., 2007; Elagouz et al., 2020). از این رو، تشخیص تغییر کاربری اراضی و نیروهای محرک آن برای حفاظت از محیط‌زیست، مدیریت منابع، برنامه‌ریزی کاربری زمین و توسعه پایدار بسیار مهم است (Patel et al., 2019; Yeneneh et al., 2022). به همین منظور، برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی، استفاده از داده‌های جغرافیایی در ترکیب با مدل‌سازهای سطح زمین (به عنوان مثال استفاده از مدل LCM و CA-Markov) ابزار مؤثری در ارائه اطلاعات ارزشمند در مورد پویایی تغییرات کاربری اراضی در مکان و زمان ارائه می‌دهد که درک این پویایی می‌تواند راهنمایی در تدوین سیاست برای حاکمیت سیمای سرزمین پایدار باشد (Aniah et al., 2023).

مطالعات متعدد به بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌ها و مدل‌های مختلف پرداخته‌اند:

کریمی فیروزجایی و همکاران (۱۳۹۷) به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل در دوره زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۴۱۹ با استفاده از مدل کراس تب، شاخص شانون و مدل پیش‌بینی سلول‌های خودکار مارکوف پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش ۹۲ درصدی مساحت اراضی ساخته شده منجر به تخریب بیش از حد اراضی زراعی و فضای سبز در حاشیه شهر شده است. پیش‌بینی نتایج برای سال ۱۴۱۹ نیز نشان‌دهنده رشد اراضی ساخته شده و کاهش اراضی زراعی است که این امر لزوم توجه به مسئله گسترش شهری و پیامدهای آن را نشان می‌دهد.

حیدری مظفر و صالح جوققانی (۱۴۰۰) به مدل‌سازی رشد و توسعه شهر اصفهان با استفاده از داده‌های سنجش

افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش سریع شهرنشینی از عوامل کلیدی تغییر کاربری اراضی و تغییر پوشش زمین است که زمین‌های کشاورزی و جنگلی را تحت کنترل خود در آورده (Wang et al., 2020) و منجر به تخریب جنگل‌ها و تبدیل زمین‌های حاصلخیز به ساخت و ساز شهری با تأثیر قابل توجهی بر بوم‌سازگان‌ها می‌شود (Al-sharif & Pradhan, 2014; Alawamy et al., 2020). افزایش جمعیت، با تبدیل بیشتر زمین‌های کشاورزی و بایر به زمین‌های مسکونی روستایی، شهری و صنعتی، رشد شهری را به سرعت افزایش داده و منجر به افزایش بهره‌برداری از منابع طبیعی می‌شود (Hegazy, 2023; Kaloop, 2015; Sam & Balasubramanian, 2023). «کاربری اراضی» چگونگی استفاده انسان از پوشش زمین برای حمایت از خود بوده که شامل روش‌ها و انگیزه‌های مورد استفاده برای تغییر ویژگی‌های بیوفیزیکی زمین نظیر کشت محصولات زراعی، احداث معدن، ایجاد مسکن و توسعه زیرساخت‌هاست (Lambin & Geist, 2008; Shekar & Mathew, 2023). تغییر کاربری اراضی، تغییر در نحوه استفاده از زمین است که این تغییرات در نتیجه عوامل متعددی مانند سیاست، مدیریت، اقتصاد، فرهنگ، و محیط‌زیست شکل می‌گیرد (دادش‌پور و زارعی، ۱۳۹۱؛ محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). تغییر کاربری، پیامدهای جدی برای محیط‌زیست دارد؛ زیرا مستقیماً با تخریب زمین در یک دوره زمانی مرتبط است. به طوری که امروزه یکی از جدی‌ترین مشکلات جهانی که در صورت عدم درمان، امنیت غذایی یک منطقه را تهدید می‌کند، تخریب زمین است (Khalil et al., 2014; Elagouz et al., 2020). استفاده از زمین اثرات قابل توجهی بر عملکرد سیستم‌های اجتماعی-اقتصادی و محیط‌زیستی منطقه، نظیر اثرات مهم بر پایداری، امنیت غذایی، تنوع‌زیستی و آسیب‌پذیری اجتماعی-اقتصادی مردم و بوم‌سازگان‌ها دارد (Mishra et al., 2020). موارد بسیار زیادی مانند فرسایش خاک، کمبود آب، تأثیر بر خدمات بوم‌سازگان، کاهش تنوع زیستی و از دست دادن زیستگاه، تخریب زمین و تغییر در هیدرولوژی محلی،

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۵۱)

پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر رودسر با ... / ۵۱

شده ۳۹/۹۶ درصد افزایش می‌یابد. همچنین پوشش گیاهی و آب به میزان ۲۷/۵۷ کیلومتر مربع و ۰/۲۲، افزایش قابل توجهی خواهند داشت.

کوکو و همکاران (Koko et al., 2020) به پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین/موقعیت زمین در شهر زاریای نیجریه، از طریق اتوماتای سلولی یکپارچه و مدل CA-Markov پرداختند. نتایج آشکارسازی تغییرات نشان داد که مناطق مسکونی و پوشش گیاهی به ترتیب ۶۵/۸۸ و ۲۸/۹۵ درصد گسترش یافته‌اند که در نتیجه اراضی بایر طی سه دهه گذشته ۶۳/۰۶ درصد کاهش یافته است. نقشه‌های پیش‌بینی شده LULC در سال‌های ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ نشان می‌دهد که این الگوهای تبدیل اراضی بایر به مناطق مسکونی و پوشش گیاهی در ۳۰ سال آینده به دلیل رشد شهری، احیای جنگل و توسعه فعالیت‌های کشاورزی ادامه خواهند یافت.

بن خلیف و همکاران (Benkhalif et al., 2024) به پیش‌بینی رشد شهری و تأثیر آن بر محیط شکننده با استفاده از مدل‌سازی تغییر زمین LCM در شهر جلفه الجزایر پرداختند. نتایج نشان داد که رشد شهری جلفه سریع بوده به طوری که نرخ سالانه آن از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۰، برابر با ۳/۰۵ درصد بود و این رقم بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ حدود ۱/۸۵ درصد خواهد بود. این روند رشد اراضی شهری باعث از بین رفتن ۱۱/۸۸ کیلومتر مربع اراضی استپی، ۲/۰۱ کیلومتر مربع پوشش جنگلی و ۱/۷۶ کیلومتر مربع از اراضی کشاورزی بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۰ شده است. بر اساس مدل LCM، اراضی استپی، پوشش جنگل و اراضی کشاورزی بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ به ترتیب ۲۸/۳۳ کیلومتر مربع، ۳۲/۵۴ کیلومتر مربع و ۱۰/۸۴ کیلومتر مربع کاهش خواهند یافت.

شکار و متیو (Shekar & Mathew, 2023) به تشخیص تغییر کاربری/پوشش زمین در حوضه آبخیز مورد در ایالت تلانگانای هند پرداختند و دریافته‌اند که بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۹ مساحت کاربری جنگل کاهش یافته، در حالی که مساحت کاربری‌های کشاورزی، آبی، زمین‌های بایر و

از دور در مدل LCM پرداختند. نتایج بررسی تغییرات و پیش‌بینی کاربری اراضی نشان داد که کاربری شهری در حال توسعه بوده اما دیگر کاربری‌ها در حال کاهش هستند. به طوری که طبق مدل LCM در سال ۱۹۹۷ مساحت اراضی شهری ۲۱۲۳۹ هکتار بوده و در سال ۲۰۱۷ به ۲۳۶۰۷ هکتار افزایش پیدا کرده است و پیش‌بینی می‌شود که روند صعودی افزایش مناطق شهری در آینده نیز ادامه یابد.

درخش و سبحان اردکانی (۱۴۰۱) به شبیه‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی شهر گچساران با استفاده از مدل سلول‌های خودکار پرداختند. یافته‌ها نشان داد که توسعه شهر گچساران در طی دوره ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۵ روند مناسبی نداشته و رشد شهر در قسمت غربی به صورت ناموزون بوده و طبق پیش‌بینی مدل در سال ۲۰۴۴، کاربری شهری حدود ۷۰ درصد وسعت منطقه را به خود اختصاص خواهد داد.

سلیمانی و همکاران (۱۴۰۲) به پایش و پیش‌بینی تغییرات زمانی-مکانی کاربری اراضی و رشد شهر کرمانشاه با استفاده از سنجش از دور و مدل CA-markov پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق شهری و اراضی کشاورزی روند افزایشی داشته اما پوشش گیاهی و زمین‌های بایر روند کاهشی داشته‌اند و این روند تا سال‌های ۲۰۳۲ و ۲۰۴۷ نیز ادامه خواهد داشت. همچنین با توجه به رشد زیاد شهر در جهات شمال و شمال شرق، تبدیل اراضی به نواحی شهری در این جهات بیشتر رخ خواهد داد که برنامه‌ریزان شهری باید این رشد شهری را به جهات بهینه هدایت کنند تا تخریب اراضی به حداقل برسد.

کیسامبا و لی (Kisamba & Li, 2023) به تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی رشد شهری ناحیه شهری دودوما در تانزانیا با استفاده از مدل یکپارچه CA-Markov پرداختند. نتایج نشان داد که از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰، مساحت ساخته شده و آب، افزایش یافته اما زمین‌های برهنه و پوشش گیاهی کاهش داشته‌اند. همچنین نتایج مدل شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که در ۱۰ سال آینده از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰، زمین‌های بایر ۲۶/۹۷ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که مساحت ساخته

نیز از آینده داشت. پایش تغییرات بر اساس روند افزایش و کاهش سطح کاربری‌ها و بررسی تغییرات خالص آن‌ها طی سال‌های مختلف، ضمن ارائه اطلاعات جامع‌تری از روند موجود، به پیش‌بینی بهتری از شرایط آینده کمک نموده و لذا شبیه‌سازی با دقت بالاتری انجام شده و عدم قطعیت نتایج پژوهش نیز تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

شهر رودسر از شهرهای ساحلی شمال ایران است که در شرق استان گیلان و در ارتفاع ۱۹- متر از سطح دریا واقع شده است. این شهر مرکز شهرستان رودسر است که از شمال به دریای خزر، از جنوب به سلسله جبال البرز، از شرق به شهرستان رامسر در استان مازندران و از غرب به شهرستان لنگرود منتهی می‌شود (تارنمای شهرداری رودسر، ۱۴۰۲). جمعیت این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، ۳۷۹۹۸ نفر است. نگاره (۱) موقعیت شهر رودسر را در استان گیلان نشان می‌دهد.

### روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع تحقیقات کاربردی بوده که به روش توصیفی - تحلیلی انجام یافت. به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، تصاویر ماهواره لندست مربوط به سه دوره زمانی از سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI به ترتیب برای سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۳ به فاصله زمانی ۱۳ سال مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از تارنمای زمین‌شناسی آمریکا (USGS) تهیه شده‌اند. برای افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر، باید از تصاویر بدون پوشش ابر استفاده می‌شد، بنابراین از تصاویر فصل تابستان که بدون پوشش ابر بودند، استفاده شد. مشخصات تصاویر در جدول (۱) نشان داده شده است.

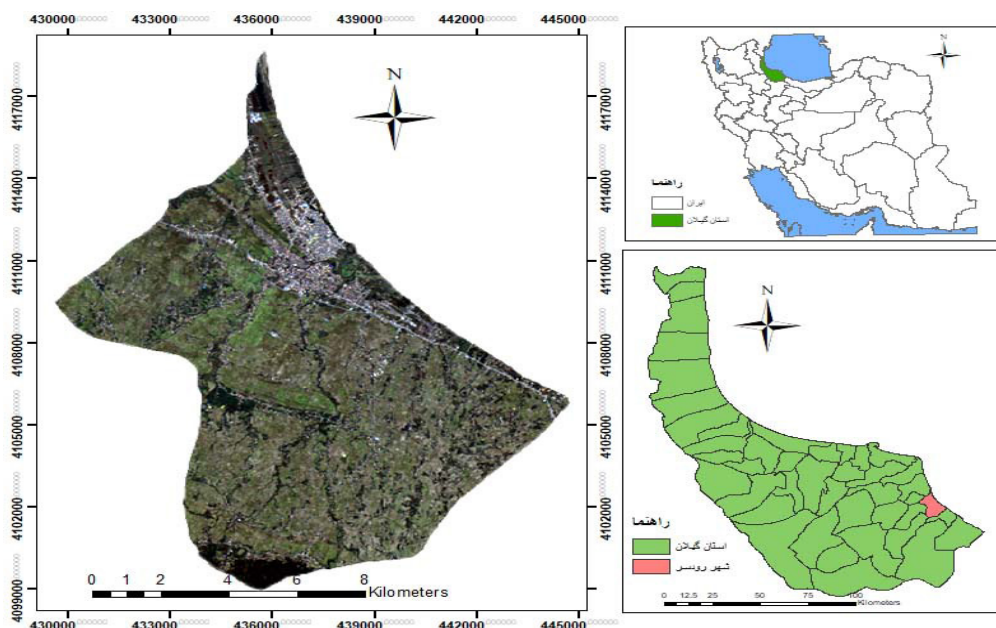
مناطق ساخته شده همگی افزایش داشته‌اند. از این‌رو، این تحقیق پیش‌بینی می‌کند که یافته‌ها ممکن است اطلاعاتی را در اختیار برنامه‌ریزان، مدیران زمین و تصمیم‌گیرندگان برای مدیریت و توسعه پایدار منابع طبیعی قرار دهند.

آنیا و همکاران (Aniah et al., 2023) به تشخیص و پیش‌بینی تغییر کاربری و پوشش اراضی بر اساس زنجیره CA-Markov در منطقه بوم‌شناختی ساوانای غنا پرداختند و دریافتند که مناطق کشاورزی و سکونتگاهی در هر دو منطقه مطالعه با هزینه ساواناهای جنگلی و ساوانای درختچه‌ای و درختی بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ گسترش یافته است. در نتیجه از آنجایی که مناطق جنگلی بسیار کاهش یافته و این کاهش در آینده نیز ادامه خواهد داشت، لذا دولت باید اقدامات لازم را برای بازیابی و محافظت از مناظر آسیب‌پذیر در برابر تخریب بیشتر انجام دهد.

درک کاربری اراضی و بررسی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات آینده، به یک نیاز در مدیریت و پایش منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه به‌ویژه در برنامه‌ریزی محیط‌زیست و برنامه‌ریزی شهری تبدیل شده است. اطلاعات و آمارهای به‌دست آمده در مورد تغییر کاربری اراضی، نقش مهمی در فرآیندهای سیاست‌گذاری و مدیریت پایدار منابع زمین داشته و می‌تواند راهنمای مناسبی برای برنامه‌ریزان در پیشبرد پایداری توسعه باشد. بنابراین هدف پژوهش حاضر پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر رودسر با استفاده از تصاویر سنجنش از دور و بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی و استفاده از مدل LCM و CA-Markov است. هر کدام از پژوهش‌های انجام شده تنها با استفاده از یکی از تکنیک‌های مدل‌سازی انجام یافته است؛ اما پژوهش حاضر با تلفیق دو مدل LCM و CA-Markov و بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی، سعی داشته تا علاوه بر نمایش بهتری از روند تغییرات گذشته، پیش‌بینی دقیق‌تری نیز از شرایط پیش‌رو داشته باشد. چرا که تنها با ارزیابی صحیح روند تغییراتی که در گذشته رخ داده و اطلاع دقیق از روند موجود، می‌توان پیش‌بینی درستی

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( سیر )

پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر رودسر با ... / ۵۳



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان گیلان

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده در پژوهش

تعداد باندها	توان تفکیک	گذر	ردیف	تاریخ	سنجنده	تصویر
۷	۳۰ m	۱۶۶	۳۴	۱۹۹۷/۸/۱	TM	لندست ۵
۸	۳۰ m	۱۶۶	۳۴	۲۰۱۰/۷/۲۸	ETM+	لندست ۷
۱۱	۳۰ m	۱۶۶	۳۴	۲۰۲۳/۷/۸	OLI	لندست ۸

### پردازش تصاویر

جمع‌آوری شدند. سپس از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده به منظور طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد. روش مورد استفاده، روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال (Maximum likelihood) بوده که در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام گرفت. این روش از روش‌های پرکاربرد مبتنی بر پیکسل با دقت حدود ۹۰ درصد است که برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت نقشه‌های کاربری اراضی شهر رودسر با شش کلاس تهیه شده و وارد نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1 شدند و محاسبات لازم مانند تعیین مساحت هر کاربری بر حسب کیلومتر مربع بر روی نقشه‌ها انجام شد. در گام بعد نقشه‌ها وارد نرم‌افزار IDRISI TerrSet شده و روند تغییرات سطح کاربری‌ها با استفاده از مدل LCM بین سال‌های ۱۹۹۷ تا سال ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت.

پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای و قبل از انجام هر گونه پردازش، تصحیحات لازم بر روی تصاویر انجام شد. ابتدا تصحیحات رادیومتریک بر روی تصاویر صورت گرفت و سپس دستور FLAASH در نرم‌افزار ENVI 5.3 برای انجام تصحیحات اتمسفری مورد استفاده قرار گرفت. همچنین خطای راه‌راه‌شدگی تصویر سال ۲۰۱۰ که مربوط به ماهواره لندست ۷ بود، اصلاح شد. تصاویر بر اساس مرز منطقه مورد مطالعه برش داده شدند. در مرحله بعد نقاطی به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی در نرم‌افزار Google Earth Pro برای جمع‌آوری اطلاعات زمینی انتخاب شدند. این نمونه‌ها در شش کلاس اراضی کشاورزی، اراضی باغی، اراضی شهری و ساخته‌شده، پوشش جنگلی، اراضی بایر و رودخانه

پیکسل از پیکسل‌های نمونه تعلیمی و مقایسه آن‌ها با نتایج حاصل از طبقه‌بندی است (حیدری‌زادی و محمدیان بهبهانی، ۱۳۹۱). این ارزیابی تعیین می‌کند که طبقه‌بندی تا چه حد دنیای واقعی را به تصویر می‌کشد. در این پژوهش از دقت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی استفاده شد. دقت کلی برابر با تعداد کلاس‌های نمونه‌های تعلیمی تقسیم بر تعداد کلاس‌های نمونه مرجع بر حسب درصد است. مقدار دقت کلی بیش از ۷۰ درصد به عنوان یک دقت طبقه‌بندی قابل قبول در نظر گرفته می‌شود (Alawamy et al., 2020). آماره کاپا معیاری است که معمولاً برای تعیین کمیت دقت طبقه‌بندی مدل و همچنین کاربرد مدل طبقه‌بندی استفاده می‌شود (Hua et al., 2017; Wang et al., 2020). نتیجه ضریب کاپا نشان‌دهنده توافق کلی است و مقدار آن بین ۰ و ۱ قرار دارد (Foody & Mathur, 2004; Yeneneh et al., 2022).

### مدل زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف، ابزاری برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، بخصوص در زمینه تشریح و بررسی تغییرات در شرایط پیچیده است (Benito et al., 2010) ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۷). مدل زنجیره مارکوف یکی از مدل‌های پذیرفته شده برای تعیین مقدار تغییر در طول زمان با استفاده از ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت انتقال دو نقشه کاربری اراضی بین دوره زمانی  $t_0$  و  $t_1$  است. از این ماتریس‌ها، چندین دسته کلاس، بر اساس وضعیت پیکسلی آن‌ها، تخمین زده می‌شود (Houet and Hubert-Moy 2006; Khwarahm et al., 2021). مدل مارکوف برای تحلیل روندهای زمانی بسیار مطلوب بوده، اما زمینه مکانی نداشته و تأثیر سلول مجاور را در نظر نمی‌گیرد (Gharaibeh et al., 2020). کریم‌زاده مطلق و همکاران، ۱۴۰۱).

### مدل LCM

ماژول مدل‌ساز تغییر زمین<sup>۱</sup> تعبیه شده در نرم‌افزار

به‌منظور بررسی تغییرات، ابتدا نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال ۱۹۹۷ و ۲۰۱۰ وارد مدل شد و میزان تغییرات در این بازه زمانی به‌دست آمد. در مرحله بعد، نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۳ برای بررسی میزان تغییرات کاربری اراضی در طول این دوره زمانی مورد استفاده قرار گرفتند. سپس نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال ۱۹۹۷ و ۲۰۲۳ به مدل معرفی شده و میزان افزایش و کاهش سطح کاربری‌های مختلف و میزان خالص سطح تغییرات کاربری‌ها در این بازه زمانی با استفاده از مدل LCM به‌دست آمد. در گام بعد به‌منظور اعتبارسنجی مدل، ابتدا نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳ که حاصل ترکیب مدل مارکوف و مدل CA-Markov بوده، با تصویر واقعی سال ۲۰۲۳ مورد مقایسه قرار گرفت. به‌این صورت که ابتدا تصویر سال ۱۹۹۷ و تصویر سال ۲۰۱۰ به عنوان ورودی به مدل مارکوف معرفی شد تا ماتریس احتمال انتقال به‌دست آید. در مرحله بعد تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۱۰ و خروجی مدل مارکوف به عنوان ورودی به مدل CA-Markov داده شد و نقشه شبیه‌سازی شده سال ۲۰۲۳ به‌دست آمد. سپس این نقشه با نقشه واقعی سال ۲۰۲۳ مورد مقایسه قرار گرفت و با استفاده از دستور Validate در نرم‌افزار IDRISI TerrSet اعتبارسنجی شد تا دقت پیش‌بینی مدل محاسبه شود. پس از تأیید اعتبار مدل، اقدام به شبیه‌سازی نقشه سال ۲۰۳۶ با استفاده از مدل CA-Markov شد. به‌این صورت که ابتدا تصویر سال ۲۰۱۰ و تصویر سال ۲۰۲۳ به عنوان ورودی برای مدل مارکوف تعریف شد تا ماتریس احتمال انتقال به‌دست آید. سپس تصویر سال ۲۰۲۳ و تصویر خروجی مدل مارکوف به عنوان ورودی به مدل CA-Markov معرفی شده و تصویر ۱۳ سال آینده یعنی تصویر کاربری اراضی سال ۲۰۳۶ به عنوان خروجی نهایی مدل به‌دست آمد.

### ارزیابی صحت

از روش‌های متداول به‌منظور بررسی صحت طبقه‌بندی انجام شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای، انتخاب تعدادی

1- Land Change Modeler (LCM)

به کلاس دیگر پیش‌بینی می‌کند. نتیجه مدل مارکوف بر احتمال انتقال متکی است. احتمال انتقال ( $P_{ij}$ ) بین حالت ( $j$ ) و ( $i$ ) احتمالی است که در آن پوشش زمین ( $i$ ) بر حسب پیکسل در زمان ( $x$ ) به کلاس پوشش زمین ( $j$ ) در زمان ( $x + 1$ ) تغییر می‌کند. در این مدل، دینامیک تغییر برای هر منطقه مورد مطالعه به شرایط پوشش زمین قبلی یا فعلی بستگی دارد و به صورت ریاضی بر اساس معادلات (۱) و (۲) محاسبه می‌شود (Koko et al., 2020):

$$L(x+1) = P_{ij} \cdot L(x), \quad \text{معادله (۱)}$$

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2m} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & \dots & P_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & \dots & P_{mm} \end{bmatrix}, \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن  $L(x)$  و  $L(x+1)$  به ترتیب شرایط کاربری/پوشش زمین در زمان ( $x + 1$ ) و ( $x$ ) هستند.  $0 \leq P_{ij} < 1$  and  $\sum m_j = 1$   $P_{ij} = 1, (i, j = 1, 2, 3, \dots, m)$  ماتریس احتمال انتقال است.

### اعتبارسنجی مدل

اعتبارسنجی مدل یک مرحله مهم در ارزیابی دقت داده‌های پیش‌بینی شده است. این امر میزان توافق یا عدم توافق بین نقشه مدل‌سازی شده و نقشه واقعی یا مرجع را محاسبه می‌کند. نتیجه بر اساس ضریب کاپا<sup>۱</sup> تعیین می‌شود. ضریب کاپا اندازه‌گیری تفاوت بین توافق واقعی بین داده‌های مرجع و طبقه‌بندی خودکار و توافق شانس بین داده‌های مرجع و طبقه‌بندی تصادفی است (Lillesand et al., 2015; Aljenaid et al., 2022) بدون اطلاعات<sup>۲</sup>، کاپای مکان<sup>۳</sup> و کاپای استاندارد<sup>۴</sup> است که میزان موفقیت کلی نتایج را تعیین می‌کنند (Aniah et al., 2023). برای اکثر کاربردها، مقادیر آمار کاپا بیش از ۰/۷۵ را می‌توان

IDRISI TerrSet به منظور تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین و پیش‌بینی تغییرات احتمالی آینده طراحی شده است (Akdeniz et al., 2023). این مدل ابزاری برای پیش‌بینی تغییرات زمین برای برنامه‌ریزی زمین است (Eastman & Toledano, 2018; Khoshnood Motlagh et al., 2023) که به دلیل سادگی، تصویر گرافیکی و در دسترس بودن رویکردهای مدل‌سازی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khoshnood Motlagh et al., 2023).

LCM یک مدل گام به گام تجربی بوده که از سه مرحله کلی (۱) تجزیه و تحلیل تغییر، (۲) محاسبات پتانسیل انتقال، و (۳) پیش‌بینی تغییر برای ایجاد نقشه پوشش زمین در آینده پیروی می‌کند (Tariq & Mumtaz, 2022). این مدل به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین آینده برای یک سال مشخص، از تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده تاریخی استفاده کرده و تعیین می‌کند که چگونه عوامل بر تغییرات کاربری و پوشش زمین آینده تأثیر می‌گذارند، چه مقدار پوشش زمین بین تغییرات کاربری و پوشش زمین قبلی و بعدی رخ داده است، و سپس مقدار نسبی انتقال را محاسبه می‌نماید (Leta et al., 2021).

### مدل CA-Markov

مدل زنجیره مارکوف ادغام شده با مدل CA، فرصتی منحصر به فرد برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در فضا و زمان را به طور مداوم فراهم می‌کند. این مدل زنجیره‌ای در شبیه‌سازی و پیش‌بینی کلاس‌های پیچیده کاربری اراضی کاربرد دارد (Hyandye and Martz, 2017; Khwarahm et al., 2021). این مدل به طور گسترده برای توصیف پویایی کاربری اراضی، پوشش جنگلی، پراکندگی شهری، رشد گیاهان و مدل‌سازی مدیریت آبخیز استفاده می‌شود که در طراحی سیاست کاربری زمین و برنامه‌ریزی و اهداف توسعه پایدار کاربری زمین اهمیت دارند (Hamad et al., 2018). مدل CA-Markov با در نظر گرفتن تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های مختلف، احتمال تغییر را از یک کلاس خاص

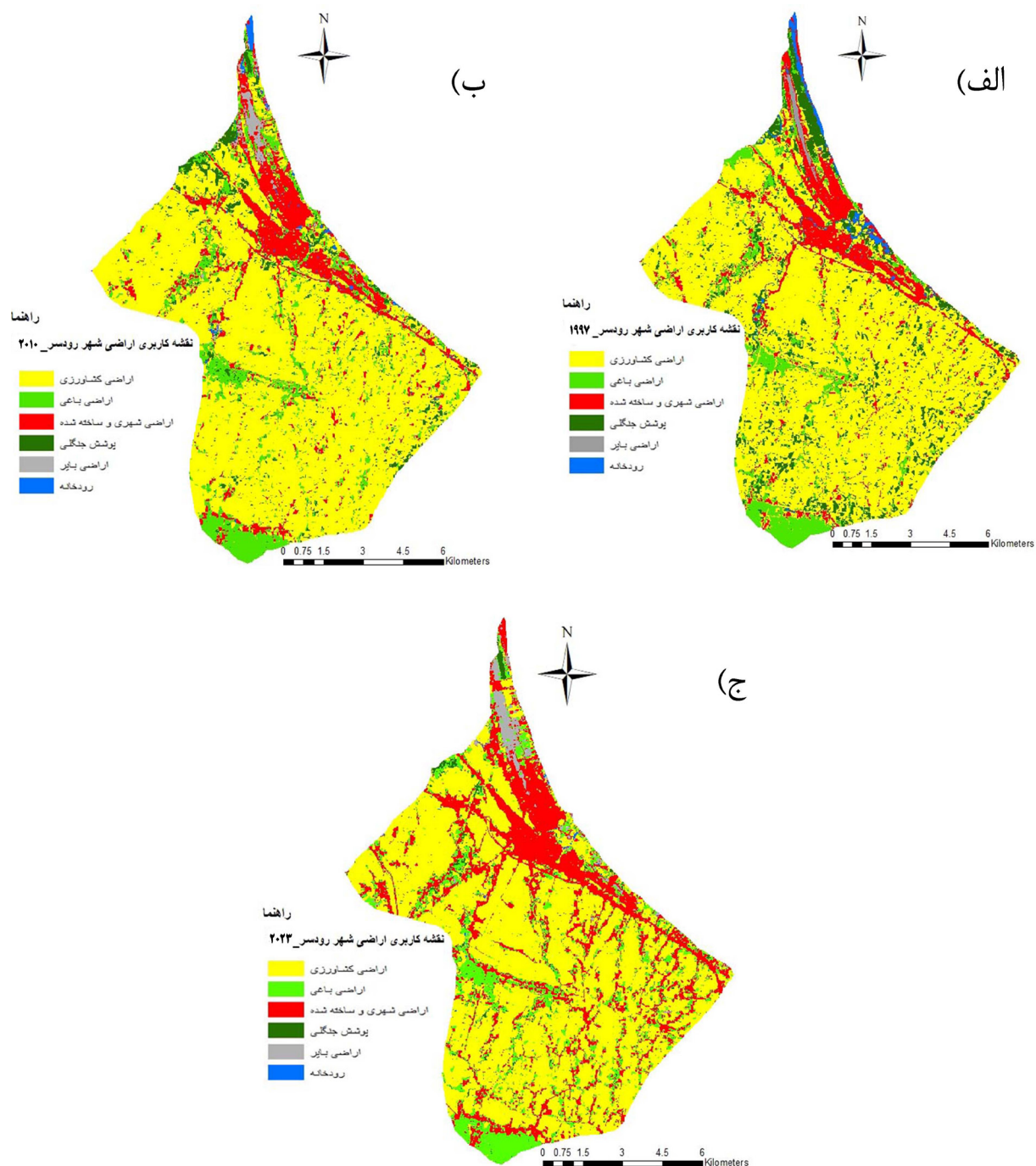
1- KC

2- Kno

3- Klocation

4- Kstandard

به عنوان یک توافق عالی یا بسیار خوب پذیرفت، در حالی که مقادیر در محدوده ۰/۴۰ تا ۰/۷۵ نشان‌دهنده مطابقت ضعیف است (Gallego, 2004; Alawamy et al., 2020).



نگاره ۲: نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی (الف) نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۹۷ (ب) نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ (ج) نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۳

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سمر)

پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر رودسر با ... / ۵۷

### نتایج و بحث

جنگلی روند کاهش را نشان می‌دهد؛ که این روند کاهش پوشش جنگلی، در نتیجه تبدیل به اراضی کشاورزی و اراضی باغی (باغ مرکبات) بوده است. همچنین در سال ۱۹۹۷ در نزدیکی ساحل رودسر جنگل‌های توسکا بوده که تا سال ۲۰۱۰ مساحت زیادی از این جنگل‌ها از بین رفت. در بررسی تغییرات زمانی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳، اراضی باغی، اراضی شهری و ساخته شده، اراضی بایر همچنان روند افزایشی داشته و پوشش جنگلی نیز همچنان روند کاهشی داشته است؛ اما برخلاف دوره ۱۳ ساله گذشته که افزایش مساحت اراضی کشاورزی را داشتیم، در این دوره مساحت اراضی کشاورزی روند کاهشی داشته است. این کاهش ناشی از تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی باغی (به‌خصوص باغ‌های کیوی) و حتی اراضی ساخته شده بوده است. همچنین اراضی باغی و کشاورزی که در نزدیکی ساحل بودند، با توجه به پسروری آب دریای خزر، به اراضی شهری و ساخته شده تبدیل شده و روند توسعه شهری به سمت ساحل گسترش پیدا کرده است. ناگفته نماند که بر اساس بازدیدهای میدانی، بسیاری از کشاورزان چند سالی است که اراضی کشاورزی خود را به منظور فروش و تغییر کاربری به حال خود رها کرده‌اند که این اراضی بایر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص نبوده و تنها در بازدید میدانی قابل شناسایی هستند و لذا مساحت اراضی کشاورزی بسیار کمتر از میزان محاسبه شده است. از طرفی دیگر با توجه به اینکه در دو سال اخیر کشاورزان

به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر رودسر اقدام به تهیه تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و سپس طبقه‌بندی تصاویر شد. این طبقه‌بندی به روش نظارت‌شده در شش کلاس اراضی کشاورزی، اراضی باغی، اراضی شهری و ساخته شده، پوشش جنگلی، اراضی بایر و رودخانه تهیه شد. نگاره (۲) نقشه‌های طبقه‌بندی شده در سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۳ را نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی، از دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. تمامی مقادیر دقت کلی تصاویر بیش از ۷۰ درصد شد که نشان‌دهنده دقت قابل قبول برای طبقه‌بندی است. تمامی مقادیر ضریب کاپا نیز بیش از ۰/۷۵ بوده که تأیید بر صحت طبقه‌بندی تصاویر است. جدول (۲) نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

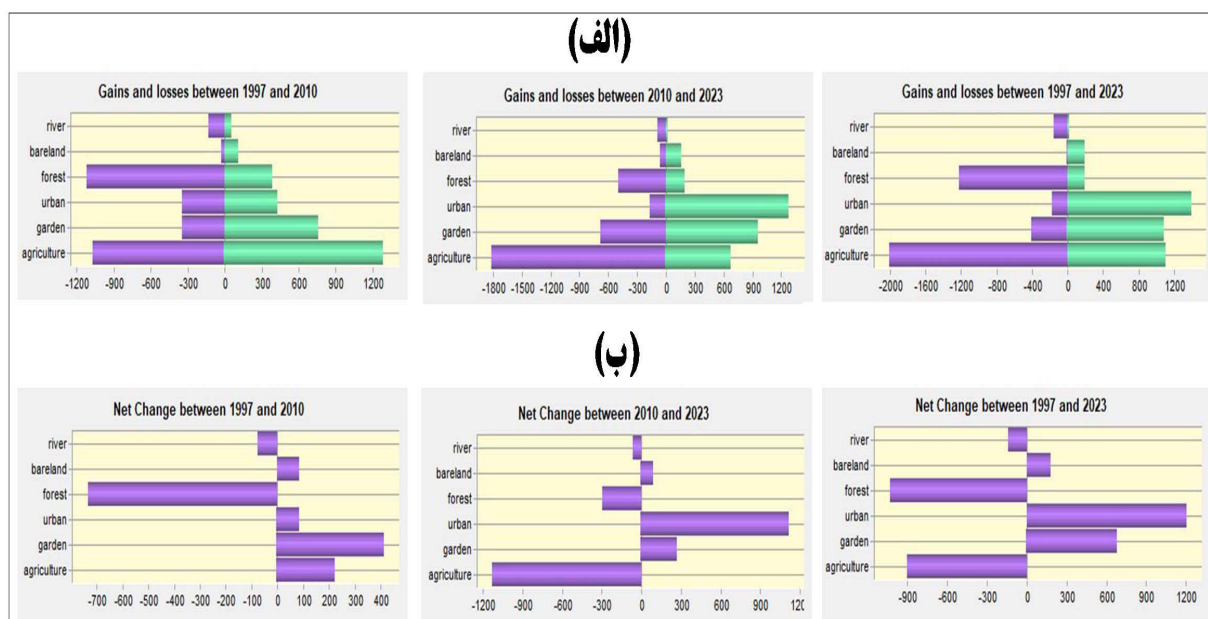
جدول ۲: نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر

سال	دقت کلی	ضریب کاپا
۱۹۹۷	٪ ۸۹/۴۷۳۷	۰/۸۷۱۹
۲۰۱۰	٪ ۹۵/۰۰۰۰	۰/۹۳۸۵
۲۰۲۳	٪ ۹۴/۱۱۷۶	۰/۹۲۷۳

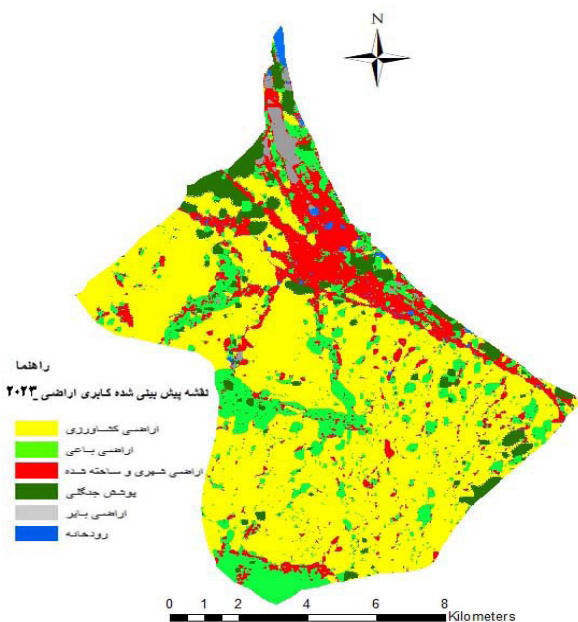
نتایج نشان می‌دهند که بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰، اراضی کشاورزی، اراضی باغی، اراضی شهری و ساخته شده، و اراضی بایر روند افزایشی داشته‌اند. اما پوشش

جدول ۳: مساحت کاربری‌های مختلف نقشه‌های طبقه‌بندی شده در هر سال (کیلومتر مربع)

کاربری	مساحت سال ۱۹۹۷ درصد	مساحت سال ۲۰۱۰ درصد	مساحت سال ۲۰۲۳ درصد
اراضی کشاورزی	۷۹/۶۵۳۲۶۴	۸۱/۶۲۴۸۳	۷۰/۰۳۱۰۳۴
اراضی باغی	۹/۱۱۷۹۳۹	۱۲/۹۱۶۴۸۷	۱۳/۴۵
اراضی شهری و ساخته شده	۱۲/۶۲۹۶۸۳	۱۳/۵۹۸۲۴۲	۲۵/۰۴۶۰۳۹
پوشش جنگلی	۱۱/۹۳۲۸۹	۴/۹۸۵۲۰۱	۱/۹۵
اراضی بایر	۰/۶۲۹۶۷۴	۱/۴۴۵۱۳۵	۲/۴۰۹۲۸۷
رودخانه	۱/۶۴۶۵۴۶	۰/۸۵۵۹۲۴	۰/۲۰۱۴۷۹



نگاره ۳: روند تغییرات کاربری اراضی. الف) کاهش و افزایش سطح کاربری‌ها. ب) تغییر خالص سطح کاربری‌ها



نگاره ۴: نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی سال ۲۰۲۳

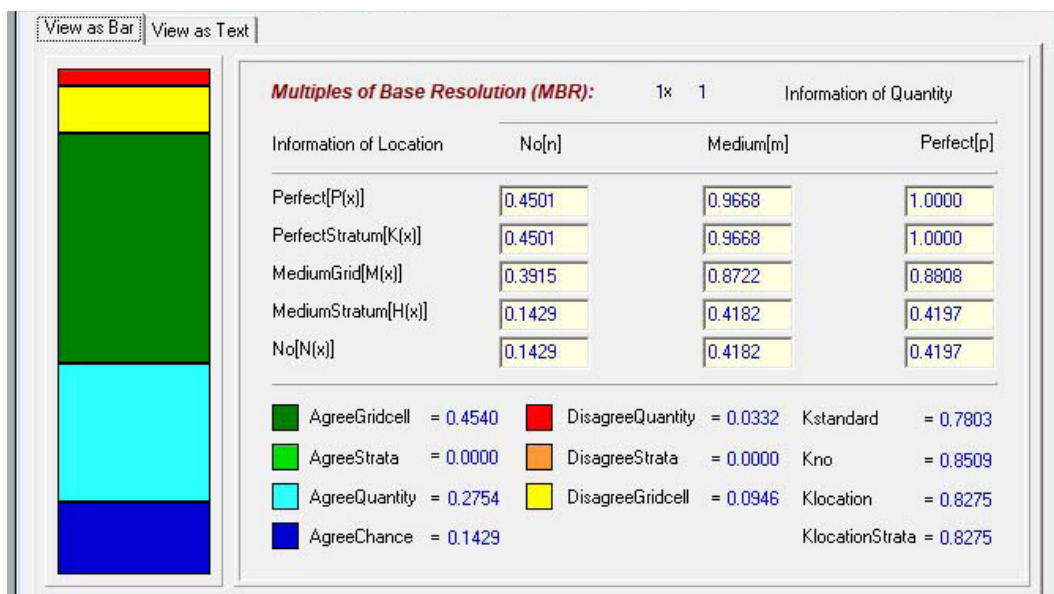
به منظور اعتبارسنجی مدل، نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳ با نقشه واقعی سال ۲۰۲۳ مورد مقایسه قرار گرفت. همانطور که در نگاره (۵) نشان داده شده است، تمام مقادیر کاپا بالای ۰/۷۵ بوده که نشان دهنده توافق عالی یا بسیار خوب بین مدل شبیه‌سازی شده و مدل واقعی است. توافق

منطقه نتوانسته‌اند محصول خود را به فروش برسانند و با توجه به هزینه بالای کاشت تا برداشت محصول و به صرفه نبودن آن، روند تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی بایر، سرعت بیشتری خواهد گرفت. جدول (۳) مساحت هر کدام از شش کاربری و درصد مساحت هر کاربری را برای سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۳ نشان می‌دهد.

طبق نتایج حاصل از مدل LCM، از سال ۱۹۹۷ تا سال ۲۰۱۰ روند تغییرات با افزایش قابل توجه اراضی کشاورزی و اراضی باغی همراه بوده است؛ اما این تغییرات از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۳، روند کاهش اراضی کشاورزی و روند افزایش اراضی باغی و اراضی شهری و ساخته شده را در پی داشته‌اند. نگاره (۳) روند تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰، ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ و ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۳ و میزان خالص تغییرات را در همین سال‌ها نمایش می‌دهد.

بر اساس نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳ حاصل از مدل CA\_markov، روند کاهش اراضی کشاورزی با افزایش اراضی باغی و اراضی شهری و ساخته شده همراه است. نگاره (۴) نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی سال ۲۰۲۳ را نشان می‌دهد.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)  
پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر رودسر با ... / ۵۹



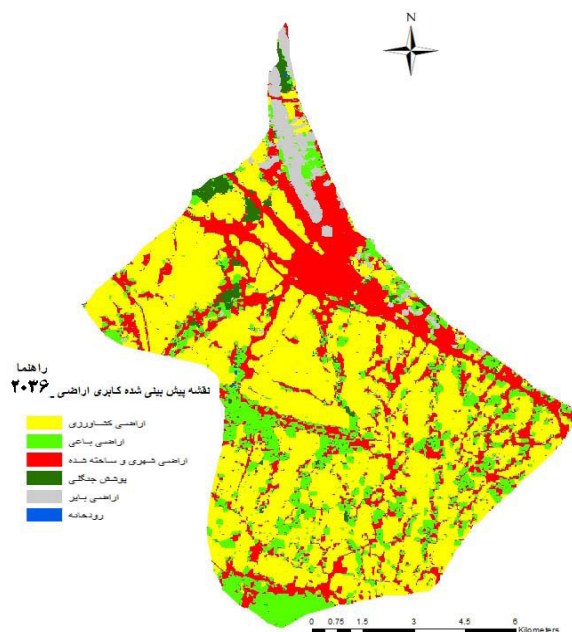
#### نگاره ۵: اعتبارسنجی مدل CA-Markov برای سال ۲۰۲۳

بر اساس نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی سال ۲۰۳۶، مساحت کاربری کشاورزی نسبت به سال ۲۰۲۳ کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد؛ به طوری که در سال ۲۰۳۶، ۶/۴۸ درصد از مساحت کاربری کشاورزی کاسته شده و به مساحت سایر کاربری‌ها افزوده می‌شود. بر این اساس به مساحت اراضی باغی، اراضی شهری و ساخته شده، پوشش جنگلی و به مساحت اراضی بایر افزوده خواهد شد. جدول (۴) مساحت کاربری‌های مختلف در نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی سال ۲۰۳۶ را نشان می‌دهد.

عالی تمام مقادیر کاپا تأیید می‌کند که مدل CA-Markov توان خوبی برای پیش‌بینی تغییرات آینده دارد. پس از تأیید اعتبار مدل، اقدام به شبیه‌سازی نقشه سال ۲۰۳۶ با استفاده از مدل CA-Markov شد. نگاره (۶) تصویر پیش‌بینی شده کاربری اراضی سال ۲۰۳۶ را نشان می‌دهد.

جدول ۴: مساحت کاربری‌ها در نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی سال ۲۰۳۶ (کیلومتر مربع)

کاربری	مساحت سال ۲۰۳۶	درصد
اراضی کشاورزی	۶۲/۵۰۹۵۸۵	۵۴/۱۲
اراضی باغی	۱۹/۹۷۰۶۱۲	۱۷/۳
اراضی شهری و ساخته شده	۲۵/۷۸۶۰۵۲	۲۲/۳۳
پوشش جنگلی	۲/۸۰۹۸۵۴	۲/۴۳
اراضی بایر	۴/۲۶۴۷۷۱	۳/۷
رودخانه	۰/۱۴۸۳۵۸	۰/۱۲



#### نگاره ۶: نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی سال ۲۰۳۶

در فرایند تصمیم‌گیری است. علاوه بر این، عدم کشت زمین و رها کردن اراضی حاصلخیز کشاورزی و تبدیل شدنشان به اراضی بایر نیز معضلی پیش روی مسئولان منابع طبیعی کشور و برنامه‌ریزان شهری خواهد بود.

### نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی پویایی‌های کاربری اراضی در گذشته و آینده و تغییرات حاصل پیش نیاز حاکمیت سیمای سرزمین پایدار است. داده‌های جغرافیایی در ترکیب با مدل‌سازهای سطح زمین مانند مدل LCM و CA-Markov، اطلاعات مفیدی را در ارتباط با پویایی تغییرات کاربری اراضی در مکان و زمان ارائه می‌دهند. از این‌رو در تحقیق حاضر از تلفیق مدل LCM و CA-Markov به منظور پایش و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر رودسر بهره گرفته شد. نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های مورد مطالعه نشان داد که مساحت کاربری‌های مختلف در هر دوره با تغییرات قابل توجهی روبروست. در دوره زمانی بین سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰ عمده تغییرات در راستای افزایش مساحت کاربری‌ها بوده به طوری که مساحت اراضی کشاورزی ۱/۸ درصد، اراضی باغی ۳/۳ درصد، اراضی شهری و ساخته شده ۰/۸ درصد، اراضی بایر ۰/۷۵ درصد افزایش داشتند و تنها پوشش جنگلی حدود ۶ درصد کاهش داشت. اما در دوره زمانی بین ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ مساحت اراضی کشاورزی و پوشش جنگلی روند کاهشی داشته به طوری که مساحت اراضی کشاورزی حدود ۱۰ درصد و مساحت پوشش جنگلی ۲/۳۶ درصد کاهش یافته‌اند. اما در همین دوره مساحت اراضی باغی ۲/۲۵ درصد، اراضی شهری و ساخته شده ۹/۹ درصد و اراضی بایر ۰/۸۵ درصد افزایش را نشان می‌دهند. نتایج پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تا سال ۲۰۳۶ نیز همین روند کاهش اراضی کشاورزی را نشان می‌دهد که در سال ۲۰۳۶، ۶/۴۸ درصد از مساحت کاربری کشاورزی کاسته می‌شود. اما به مساحت اراضی باغی ۳/۸۵ درصد،

براساس یافته‌های پژوهش از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰ تغییرات آشکار شده به صورت افزایش ۱/۸ درصد اراضی کشاورزی، ۳/۳ درصد اراضی باغی، ۰/۸ درصد اراضی شهری و ساخته شده و ۰/۷۵ درصد اراضی بایر و کاهش ۵/۹۹ درصد پوشش جنگلی بوده است. اما از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳، دو کاربری اراضی کشاورزی و اراضی شهری و ساخته شده تغییرات قابل توجهی را نشان دادند. به این صورت که اراضی کشاورزی ۱۰/۱ درصد کاهش را داشته است و اراضی شهری و ساخته شده ۹/۹ درصد افزایش را نشان دادند. تغییرات در سایر کاربری‌ها روند گذشته را داشته؛ به این صورت که اراضی باغی ۲/۲۵ درصد افزایش، اراضی بایر ۰/۸۵ درصد و پوشش جنگلی ۲/۳۶ کاهش را داشته است. این روند تغییرات کاربری اراضی در آینده نیز ادامه خواهد داشت و طبق پیش‌بینی مدل، تا سال ۲۰۳۶ همچنان از وسعت اراضی کشاورزی کاسته شده و به وسعت اراضی باغی، اراضی شهری و ساخته شده و اراضی بایر افزوده می‌شود. نتایج پژوهش با پژوهش کریمی فیروزجایی و همکاران (۱۳۹۷) و نیز پژوهش بن خلیف و همکاران (۲۰۲۴) که افزایش مساحت اراضی ساخته شده باعث کاهش اراضی زراعی شده و این روند برای آینده نیز پیش‌بینی شده است، برابری می‌کند. همچنین نتیجه پژوهش حاضر با پژوهش حیدری مظفر و صالح جوتقانی (۱۴۰۰) و پژوهش سلیمانی و همکاران (۱۴۰۲) که روند صعودی توسعه اراضی شهری، در آینده نیز ادامه خواهد داشت، برابری می‌کند.

بنابراین در سال‌های آینده نیز شاهد کاهش چشمگیر اراضی کشاورزی و گسترش اراضی شهری و ساخته شده خواهیم بود و این مسئله با توجه به افزایش هر ساله قیمت ادوات و نهاده‌های کشاورزی، افزایش مشکلات کشاورزان در فروش محصول و به صرفه نبودن کشت زمین، افزایش قیمت زمین و افزایش تعداد مهاجر از استان‌های مرکزی و جنوبی کشور به این منطقه برای خرید زمین و مسکن، قابل پیش‌بینی بوده که نیازمند توجه بیشتر برنامه‌ریزان و مدیران

داشته باشند و از آسیب‌های جدی که به دنبال این تغییرات بر منطقه وارد خواهند شد، پیشگیری نمایند.

### تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

### References

- 1- Akdeniz, H. B., Sag, N. S., & Inam, S. (2023). Analysis of land use/land cover changes and prediction of future changes with land change modeler: Case of Belek, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 135.
- 2- Alawamy, J. S., Balasundram, S. K., Mohd. Hanif, A. H., & Boon Sung, C. T. (2020). Detecting and analyzing land use and land cover changes in the region of Al-Jabal Al-Akhdar, Libya using time-series landsat data from 1985 to 2017. *Sustainability*, 12(11), 4490.
- 3- Aljenaid, S. S., Kadhem, G. R., AlKhuzaei, M. F., & Alam, J. B. (2022). Detecting and assessing the spatio-temporal land use land cover changes of Bahrain Island during 1986–2020 using remote sensing and GIS. *Earth Systems and Environment*, 6(4), 787-802.
- 4- Al-sharif, A. A., & Pradhan, B. (2014). Monitoring and predicting land use change in Tripoli Metropolitan City using an integrated Markov chain and cellular automata models in GIS. *Arabian journal of geosciences*, 7, 4291-4301.
- 5- Aniah, P., Bawakyillenuo, S., Codjoe, S. N. A., & Dzanku, F. M. (2023). Land use and land cover change detection and prediction based on CA-Markov chain in the savannah ecological zone of Ghana. *Environmental Challenges*, 10, 100664.
- 6- Benito, P. R., Cuevas, J. A., de la Parra, R. B., Prieto, F., Del Barrio, J. G., & de Zavala Gironés, M. Á. (2010). Land use change in a Mediterranean metropolitan region and its periphery: assessment of conservation policies through CORINE Land Cover data and Markov models. *Forest Systems*, 19(3), 315-328.
- 7- Benkhelef, A., Setti, M. H., Sehl, B., Djeddaoui, F., & Nazrul, I. (2024). Predicting urban growth and its impact on fragile environment using Land Change Modeler (LCM): a case study of Djelfa City, Algeria. *GeoJournal*,

اراضی شهری و ساخته شده ۰/۶۳ درصد، پوشش جنگلی ۰/۴۸ درصد و به مساحت اراضی بایر ۱/۶ درصد افزوده خواهد شد. بنابراین نتایج حاصله نشانگر کاهش مساحت اراضی کشاورزی و به دنبال آن افزایش اراضی باغی و توسعه اراضی شهری و ساخته شده و نیز افزایش مساحت اراضی بایر است. این کاهش مساحت به واسطه تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی باغی و حتی اراضی ساخته شده است. با توجه به افزایش قیمت نهاده‌های کشاورزی در سال‌های اخیر و عدم فروش و یا فروش با قیمت پایین محصول و به صرفه نبودن آن، در آینده کاهش مساحت اراضی کشاورزی با سرعت بیشتری ادامه خواهد داشت و این اراضی یا به اراضی باغی و اراضی ساخته شده تبدیل خواهند شد و یا اینکه به علت عدم کشت زمین به مساحت اراضی بایر می‌افزایند. همچنین بر طبق اطلاعات حاصل از نقشه‌ها، طی سال‌های گذشته با پسروری آب دریای خزر، اراضی شهری به سمت ساحل گسترش یافته‌اند که این روند در آینده نیز ادامه خواهد داشت و اراضی باغی و کشاورزی که در نزدیکی سواحل قرار دارند نیز به اراضی شهری و ساخته شده تبدیل خواهند شد. با توجه به اینکه داده‌های پژوهش به روش سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شده‌اند، تهیه تصاویر بدون پوشش ابر برای شمال ایران که تنها به ماه‌های خاصی از سال محدود می‌شود، روند پژوهش را دشوار ساخت. از طرفی آمار تخریب اراضی کشاورزی و مساحت اراضی بایر تنها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص نبود، چرا که بسیاری از اراضی به مدت طولانی به حال خود رها شده و از طریق تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی نیستند و تنها در بازدیدهای میدانی قابل تشخیص هستند. از این‌رو میزان تغییرات و تبدیل‌ها بسیار بالاتر از میزان تعیین شده است. بنابراین از آنجایی که این تغییرات، اثرات قابل توجهی بر پایداری، امنیت غذایی، تنوع زیستی و آسیب‌پذیری اجتماعی-اقتصادی منطقه دارند، لازم است تا برنامه‌ریزان، تصمیمات مدیریتی مناسبی برای حفظ اراضی کشاورزی و کنترل توسعه شهری در منطقه

JGST, 10 (4) :179-190.

19- Heidarizadi, Z., & Mohammadian Behbahani, A. (2019). Performance comparison of Geomod and LCM models to predict land use changes (case study: Abughovair plain, Ilam province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(3), 660-674.

20- Houet, T., & Hubert-Moy, L. (2006). Modeling and projecting land-use and land-cover changes with Cellular Automaton in considering landscape trajectories. *EARSeL eProceedings*, 5(1), 63-76.

21- Hua, A. K. (2017). Land use land cover changes in detection of water quality: a study based on remote sensing and multivariate statistics. *Journal of environmental and public health*, 2017.

22- Hyandye, C., & Martz, L. W. (2017). A Markovian and cellular automata land-use change predictive model of the Usangu Catchment. *International journal of remote sensing*, 38(1), 64-81.

23- Karimi Firozjaei, M., Kiavarz, M., & Kalantari, M. (2018). Monitoring and prediction of land use changes and physical expansion of Babol city during 1985-2040 using multi-temporal Landsat imagery. *Physical Social Planning*, 5(3), 32-52.

24- Karimzadeh Motlagh, Z., Lotfi, A., Pourmanafi, S., & Ahmadizadeh, S. (2022). Evaluation and Prediction of Land-Use Changes using the CA\_Markov Model. *Geography and Environmental Planning*, 33(2), 67-84.

25- Khalil, A. A., Essa, Y. H., & Hassanein, M. K. (2014). Monitoring agricultural land degradation in Egypt using MODIS NDVI satellite images. *Nat. Sci*, 12(8), 15-21.

26- Khoshnood Motlagh, S., Sadoddin, A., Haghnegahdar, A., Razavi, S., Salmanmahiny, A., & Ghorbani, K. (2021). Analysis and prediction of land cover changes using the land change modeler (LCM) in a semiarid river basin, Iran. *Land Degradation & Development*, 32(10), 3092-3105.

27- Khwarahm, N. R., Qader, S., Ararat, K., & Fadhil Al-Quraishi, A. M. (2021). Predicting and mapping land cover/land use changes in Erbil/Iraq using CA-Markov synergy model. *Earth science informatics*, 14(1), 393-406.

28- Kisamba, F. C., & Li, F. (2023). Analysis and modelling urban growth of Dodoma urban district in Tanzania using an integrated CA-Markov model. *GeoJournal*, 88(1), 511-532.

89(2), 72.

8- Dadashpoor, H., Zarei, A. (2013). Forecasting of urban development changes in Noshahr County using LUCIA model. *Research and Urban Planning*, 3(11): 37-58.

9- Derakhsh, M., Sobhan Ardakani, S. (2022). Simulation of the Spatial Pattern of Land Use Change in the City of Gachsaran Using Cellular Automata Model. *Human & Environment*, 3(20): 67-81.

10- Eastman, J. R., & Toledano, J. (2018). A short presentation of the Land Change Modeler (LCM). *Geomatic approaches for modeling land change scenarios*, 499-505.

11- Ebrahimi, H., Rasuly, A., & Ahmadpour, A. (2019). Modeling dynamic changes of Land Use with Object Based Image Analysis and CA-Markov approach (Case study: Shiraz city). *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(108), 137-149.

12- Elagouz, M. H., Abou-Shleel, S. M., Belal, A. A., & El-Mohandes, M. A. O. (2020). Detection of land use/cover change in Egyptian Nile Delta using remote sensing. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(1), 57-62.

13- Foody, G. M., & Mathur, A. (2004). Toward intelligent training of supervised image classifications: directing training data acquisition for SVM classification. *Remote Sensing of Environment*, 93(1-2), 107-117.

14- Gallego, F. J. (2004). Remote sensing and land cover area estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 25(15), 3019-3047.

15- 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).

16- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability*, 10(10), 3421.

17- Hegazy, I. R., & Kaloop, M. R. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 117-124.

18- Heidari Mozaffar M, Saleh Joneghani E. (2021). Modeling Urban Expansion and Development of Isfahan City by Using Remote Sensing Data in LCM Model.

Spatiotemporal detection of land use/land cover changes and land surface temperature using Landsat and MODIS data across the coastal Kanyakumari district, India. *Geodesy and Geodynamics*, 14(2), 172-181.

38- Shekar, P. R., & Mathew, A. (2023). Detection of land use/land cover changes in a watershed: A case study of the Murredu watershed in Telangana state, India. *Watershed Ecology and the Environment*, 5, 46-55.

39- Solaimani, K., Shokrian, F., & Darvishi, S. (2023). Monitoring and Forecasting of Spatiotemporal Changes in Land Use and the Growth of Kermanshah Township Using Remote Sensing and the CA-Markov Model. *Urban Structure and Function Studies*, 10(35), 57-82.

40- Tariq, A., Yan, J., & Mumtaz, F. (2022). Land change modeler and CA-Markov chain analysis for land use land cover change using satellite data of Peshawar, Pakistan. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 128, 103286.

41- Wang, S. W., Gebru, B. M., Lamchin, M., Kayastha, R. B., & Lee, W. K. (2020). Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu district of Nepal using remote sensing and GIS. *Sustainability*, 12(9), 3925.

42- Yeneneh, N., Elias, E., & Feyisa, G. L. (2022). Detection of land use/land cover and land surface temperature change in the Suha Watershed, North-Western highlands of Ethiopia. *Environmental Challenges*, 7, 100523.

43- www.roodsar.ir

29- Koko, A. F., 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*, 12(24), 10452.

30- Lambin, E. F. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in physical g Alam et al., 2019eography*, 21(3), 375-393.

31- Lambin, E. F., & Geist, H. J. (Eds.). (2008). *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Springer Science & Business Media.

32- Leta, M. K., Demissie, T. A., & Tränckner, J. (2021). Modeling and prediction of land use land cover change dynamics based on land change modeler (Lcm) in nashe watershed, upper blue Nile basin, Ethiopia. *Sustainability*, 13(7), 3740.

33- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.

34- Mishra, P. K., Rai, A., & Rai, S. C. (2020). Land use and land cover change detection using geospatial techniques in the Sikkim Himalaya, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(2), 133-143.

35- Mohammadi, S., Tavakoli, M., Zarafshani, K., Mahdizadeh, H., & Amiri, F. (2021). Investigation of the process of land use change in Mahidasht plain watershed using Remote Sensing images. *Sustainability, Development & Environment*, 2(2): 53-70.

36- Patel, S. K., Verma, P., & Shankar Singh, G. (2019). Agricultural growth and land use land cover change in peri-urban India. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-17.

37- Sam, S. C., & Balasubramanian, G. (2023).

---

## COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)



