



Lorestan University

## Applied Research in Natural Resources Engineering

Journal Homepage: <https://arne.lu.ac.ir/>



### Analysis of Prediction of Land Use Change in Kurdistan Province by LCM Method and its Challenges

Mehran Akbarzadeh<sup>1</sup> and Sadegh Yousefi Avarvand<sup>2</sup>

1. Mehran Akbarzadeh, PhD of natural resources and environment, Malayer University, Hamadan, Iran, Corresponding author.  
Email: [mehranakbarzadeh92@gmail.com](mailto:mehranakbarzadeh92@gmail.com)
2. Sadegh Yousefi Avarvand, student of Water Resources Engineering, Malayer University, Hamadan, Iran.  
Email: [sadeghyousefi959@gmail.com](mailto:sadeghyousefi959@gmail.com)

#### Article Info

##### Article type:

Research Article

##### Article history:

Received 01 March 2026

Received in revised form 31  
May 2026

Accepted 14 June 2026

Available online 01 July 2026

##### Keywords:

LCM, modeling, land use  
change / land cover,  
management, kurdistan

#### ABSTRACT

Assessment of land use changes in the previous years and prediction of these changes in the following years is an essential tool for various planning and management of natural resources. Population growth has led to the expansion of industrial areas, cities, agricultural land and land use change. The purpose of this study was to model and predict land use / land cover changes using the LCM model in Kurdistan province. The LCM model uses the Markov chain model, the multilayer perceptron network, and MOLA to generate a probability map, and finally could predict land use change. In order to detect land use changes in the studied area, TM and ETM+ satellite images of Landsat were used during three time periods of 2007, 2014, and 2021, and a separate map was prepared for each year. The standard Kappa coefficients were used to validate the model. The coefficients mentioned were calculated 0.78, 0.87, 0.87, respectively. The results of modeling showed that 68.6% and 13% decrease in the area of forest and Rangeland land in the next 20 years respectively. The results indicate that the management of the area could lead to more preservation of natural ecosystems and prevent its conversion to agricultural land.

**Cite this article:** Akbarzadeh, M., & Yousefi Avarvand, S., (2026). Analysis of Prediction of Land Use Change in Kurdistan Province by LCM Method and its Challenges. *Applied Research in Natural Resources Engineering*, 1 (1), <https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.10>



© Author(s) retain the copyright.

DOI: <https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.10>

**Publisher:** University of Lorestan.

## Introduction

Assessment of land use and land cover changes over time and prediction of future trends represent critical tools for effective natural resource management, land-use planning, and sustainable development. Population growth has led to unprecedented expansion of industrial areas, urban centers, and agricultural lands, resulting in widespread land use changes that subsequently cause soil degradation, increased erosion, and alterations in ecosystem functioning. Land use and land cover changes have become a major concern for scientists and decision-makers due to their significant impacts on environmental systems, including greenhouse gas emissions, climate change, biodiversity loss, and landscape fragmentation. These changes affect the demand for land across various sectors including agriculture, forestry, urban development, tourism, and natural area conservation. The Kurdistan Province, located in western Iran within the Zagros mountain range, represents an ecologically significant region characterized by diverse ecosystems, with the Zagros forests being particularly valuable for their biodiversity and ecological services. Unfortunately, these valuable ecosystems have faced increasing fragmentation and conversion to incompatible land uses, threatening soil stability, watershed functions, and biodiversity conservation. Remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) provide powerful tools for monitoring land surface changes over time, enabling better understanding of human-nature interactions and supporting informed decision-making for land management. Various land change models including GEOMOD, CLUE, DIANAMIC, CA-Markov, and the Land Change Modeler (LCM) have been developed and applied for predicting land use changes. This study aims to model and predict land use/land cover changes in Kurdistan Province over the next 20 years using the LCM model, providing critical information for sustainable land management and conservation planning in this ecologically valuable region.

## Methodology

This study utilized Landsat satellite imagery from TM and ETM+ sensors for three time periods (2007, 2014, and 2021) to detect land use/land cover changes in Kurdistan Province. Geometric and atmospheric corrections were applied to the images using ENVI 4.7 software. Supervised maximum likelihood classification was employed to generate land use maps, classifying the study area into five categories: agricultural land, urban areas, forest land, rangeland, and water bodies. The Land Change Modeler (LCM), which integrates Markov chain analysis, multilayer perceptron (MLP) neural network with backpropagation, and Multi-Objective Land Allocation (MOLA), was used for modeling and predicting future land use changes for the year 2040. Four sub-models were defined based on observed major transitions: forest to rangeland, rangeland to agriculture, rangeland to urban, and agriculture to urban. Topographic variables including slope, aspect, elevation, and distance to roads were used as explanatory variables. Model validation was performed by predicting the 2021 land use map using 2007 and 2014 data, comparing predicted results with the reference map using standard Kappa coefficients, which achieved values of 0.78, 0.80, and 0.87 for the respective periods.

## Results and Discussion

The land use change analysis revealed alarming trends across Kurdistan Province. Between 2007 and 2021, urban areas expanded by 273%, while agricultural land increased by 120%. Conversely, forest areas experienced a dramatic decline of 82%, and rangeland decreased by 14.2%. The period from 2007 to 2014 showed the most rapid urbanization with a 178% increase, while the 2014-2021 period saw agricultural expansion accelerating at 39%. The LCM model validation achieved a Kappa coefficient of 0.79, confirming acceptable accuracy for predicting 2021 land use. The prediction for 2040 indicates that agricultural land will increase to 1,205,034 hectares (41.4% of the province), representing a 32% increase from 2021, while forest areas will dramatically decrease to only 13,909 hectares (0.47%), representing a 68.5% reduction from current levels. Rangeland is projected to decline to 1,657,786 hectares (57.03%), while urban areas will continue expanding to 17,803 hectares. The conversion of forests and rangelands to agricultural land is attributed to population growth, availability of suitable rangelands for cultivation in eastern parts of the province, dam construction increasing water availability, and unsustainable agricultural expansion. Significant drivers include oak forest dieback due to drought, illegal logging for fuel, and conversion of forest lands to agriculture. Protected areas such as Bijar and Kuhsalan have experienced slower conversion rates due to legal protection. The projected decline in water bodies (1.1%) despite increased dam construction serves as a warning signal for the province's water security and the need for sustainable water resource management.

## Conclusion

This study successfully modeled and predicted land use/land cover changes in Kurdistan Province using the LCM model, revealing critical trends that demand immediate management attention. The dramatic decline of forest areas (82%) and rangelands (14.2%) coupled with rapid expansion of agricultural lands (120%) and urban areas (273%) between 2007 and 2021 highlights the urgent need for conservation interventions. The prediction for 2040, showing further forest loss to only 0.47% of the province and continued agricultural expansion, serves as a warning signal for policymakers, land-use planners, and natural resource managers. Protecting remaining forest patches, particularly in western parts of the province, and implementing sustainable land management practices are essential to prevent irreversible ecosystem degradation. The results suggest that effective management interventions could preserve natural ecosystems and prevent their conversion to agricultural land. Strategies including strengthening protected area networks, implementing sustainable agricultural practices, regulating urban expansion, promoting reforestation programs, and enforcing land-use regulations are essential for sustainable land management. The LCM model demonstrated reliable predictive capability for this region, and the findings provide a scientific basis for developing land-use policies that balance agricultural development with conservation of Kurdistan's valuable natural heritage.



## تحلیلی بر پیش بینی تغییرات کاربری اراضی استان کردستان به روش LCM و چالش های آن

مهران اکبرزاده<sup>۱</sup> و صادق یوسفی اوروند<sup>۲</sup>

۱. دانش آموخته دکتری منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران. نویسنده مسئول. رایانامه: [mehranakbarzadeh92@gmail.com](mailto:mehranakbarzadeh92@gmail.com)

۲. دانشجوی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه ملایر، همدان، ایران. رایانامه: [sadeghyousefi959@gmail.com](mailto:sadeghyousefi959@gmail.com)

| اطلاعات مقاله                                                                                                                                                                                                                                                                       | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>نوع مقاله:</b><br/>مقاله پژوهشی</p> <p><b>تاریخچه مقاله:</b><br/>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۱۰<br/>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۲۴<br/>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۰<br/>تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰</p> <p><b>کلیدواژه ها:</b><br/>LCM، مدل سازی، تغییر کاربری / پوشش اراضی، مدیریت، کردستان</p> | <p>ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی در سال های گذشته و پیش بینی این تغییرات در آینده، عامل مهمی در برنامه ریزی های مختلف و مدیریت منابع است. رشد جمعیت منجر به گسترش مناطق صنعتی، شهرها، زمین های کشاورزی و تغییر کاربری اراضی شده است. تحقیق حاضر با هدف مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری / پوشش اراضی با استفاده از مدل LCM در استان کردستان انجام پذیرفت. مدل LCM از مدل زنجیره مارکوف، شبکه عصبی چند لایه پرسپترون و MOLA برای تهیه نقشه احتمال و در نهایت، پیش بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده می کند. به منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی از تصاویر سنجده های TM و ETM+ سال ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ ماهواره لندست برای تهیه نقشه های پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه استفاده گردید و نقشه کاربری جدا گانه برای هر سال تهیه شد. برای اعتبار سنجی مدل از ضرایب کاپای استاندارد استفاده شد. ضرایب مذکور به ترتیب ۰/۷۸، ۰/۸۰، ۰/۸۷ محاسبه شد. نتایج مدل سازی به ترتیب نشان داد که ۶۸/۵ درصد و ۱۳ درصد کاهش مساحت اراضی جنگلی و مراتع در ۲۰ سال آینده است. نتایج نشان می دهد مدیریت منطقه می تواند منجر به حفظ بیشتر اکوسیستم های طبیعی شود و از تبدیل آن به زمین کشاورزی جلوگیری نماید.</p> |

**استناد:** اکبرزاده، مهران و یوسفی اوروند، صادق. (۱۴۰۵). تحلیلی بر پیش بینی تغییرات کاربری اراضی استان کردستان به روش LCM و چالش های آن. پژوهش های

کاربردی مهندسی منابع طبیعی، ۱ (۱)، <https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.10>



© نویسندگان.

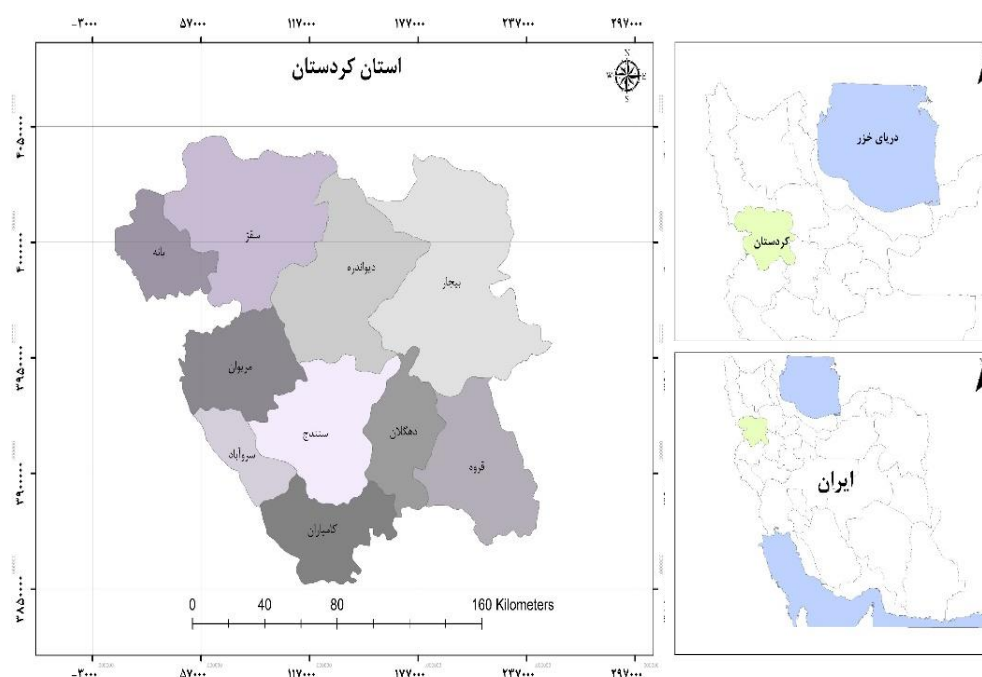
ناشر: انتشارات دانشگاه لرستان.

## مقدمه

تاریخ بشر حاکی از آثار مخرب رشد روزافزون جمعیت و به تبع آن رشد بی سابقه شهرها، صنعتی شدن، گسترش زمین های کشاورزی و تغییر کاربری اراضی است. تغییر کاربری اراضی به نوبه خود منجر به تخریب خاک و افزایش فرسایش آن می شود (پراشانت و دیگران، ۲۰۲۳، ص. ۱۴). امروزه، تغییر کاربری / پوشش اراضی از جنبه تغییرات محیط زیست جهان دارای اهمیت است و مورد توجه دانشمندان و تصمیم گیران قرار گرفته است (بله و منگیستو، ۲۰۲۱، ص. ۱۸). تغییر کاربری / پوشش اراضی بر میزان تقاضای زمین جهت فعالیت های کشاورزی، جنگل داری، مناطق مسکونی - صنعتی، مناطق گردشگری و تنوع چشم انداز و مناطق طبیعی تأثیرگذار است (جین و دیگران، ۲۰۱۷، ص. ۱۰). تغییر کاربری / پوشش اراضی و تخریب جنگل و خاک بر انتشار گازهای گلخانه ای اثر معنی داری می گذارد (ماسون - دلموت و دیگران، ۲۰۱۹، ص. ۵۶)؛ که منجر به افزایش این گازها در مقیاس جهانی، منطقه ای، ملی و محلی می شود. به طور کلی تغییرات اقلیمی و عوامل تکنولوژیکی و اقتصادی مهم ترین عوامل تعیین کننده در تغییر کاربری ها در مقیاس های مختلف مکانی و زمانی هستند (چن و دیگران، ۲۰۲۳، ص. ۱۸). استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره ای به وسیله طبقه بندی، از پرکاربردترین روش های موجود است (میرزایی زاده و دیگران، ۲۰۱۵، ص. ۶). به منظور مدیریت بهتر اکوسیستم های طبیعی و انسان ساخت و برنامه ریزی بلندمدت، نیاز به مدل سازی تغییرات کاربری / پوشش اراضی در آینده است (پیکارد و دیگران، ۲۰۱۷، ص. ۱۴). در دو دهه گذشته، رنج وسیعی از مدل های تغییر کاربری / پوشش اراضی به منظور کمک در مدیریت اراضی و درک بهتر و ارزیابی و بررسی نقش این تغییرات در کارکرد سیستم زمین، توسعه یافته است (ماس و دیگران، ۲۰۱۴، ص. ۹۹). مدل های مختلف کاربری اراضی مانند GEOMOD، CLUE، DIANAMIC، LCM (Land Change Modeler) و CA-Markov طراحی شده و توسط محققان برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در مطالعات متعددی به کار گرفته شده است (ماس و دیگران، ۲۰۱۴، ص. ۹۹). مطالعات زیادی در زمینه مدل سازی تغییرات کاربری اراضی انجام پذیرفته که می توان به مطالعات علی محمدی و دیگران (۲۰۱۰) در پیش بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در حومه تهران، (غلامعلی فرد و دیگران، ۱۳۹۱، ص. ۱۱۲؛ فتحی زاد، ۲۰۱۵، ص. ۱۸۷؛ عزیزی قلاتی و دیگران، ۲۰۱۶، ص. ۶۴) در داخل کشور و مطالعات (سانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ گوان و دیگران، ۲۰۱۱؛ لی و چانگ، ۲۰۱۱؛ سمت و دیگران، ۲۰۱۱) در خارج اشاره نمود. در اکثر این مطالعات CA-Markov برای پیش بینی تغییرات به کار گرفته شده است. (غلامعلی فرد و دیگران ۱۳۹۱؛ ص. ۱۰؛ نجفی ایغدیرو دیگران، ۲۰۲۴، ص. ۱۱۳)؛ از مدل LCM برای مدل سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل مازندران و استان آذربایجان غربی استفاده نمودند. آن ها خطای کل در مدل سازی برای سال ۱۳۹۰ را ۱۲/۸۴ درصد به دست آوردند که نشان دهنده انطباق زیاد تصویر پیش بینی شده مدل با تصویر واقعیت زمینی و قابل قبول بودن مدل است. نتایج مدل سازی برای سال ۱۳۹۵ نشان داد که مساحت کاربری جنگل و اراضی باز در این سال نسبت به سال ۱۳۹۰ کاهش و کاربری کشاورزی و مسکونی افزایش خواهند یافت. استان کردستان واقع در غرب ایران به دلیل وجود تنوع فراوان گونه های گیاهی و جانوری و همچنین وجود جنگل های زاگرس در این منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار است. متأسفانه این اکوسیستم ارزشمند با خطر قطعه قطعه شدن و تبدیل به کاربری های ناسازگار مواجه بوده است (اکبرزاده و دیگران، ۱۳۹۶، ص. ۷۲) که این امر می تواند منجر به فرسایش خاک و تغییر ویژگی های خاک در این اکوسیستم ارزشمند شود. استان کردستان که دارای اکوسیستم های متنوعی می باشد، مهم ترین آن جنگل های زاگرس بوده و در بخش غربی آن به صورت متراکم دیده می شود، همچنین این استان از جنبه بوم شناسی، طبیعت گردی و کشاورزی در غرب کشور دارای اهمیت است و متأسفانه از تغییر کاربری اراضی مصون نمانده است. هدف، پایش تغییرات سطح زمین در طی زمان برای درک کنش های متقابل بین انسان و پدیده های طبیعی به منظور تصمیم گیری بهینه درباره مدیریت سرزمین از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه، تغییرات کاربری سرزمین استان کردستان و وابستگی این تغییرات به شرایط توپوگرافی با استفاده از تصاویر ماهواره ای سال های ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ ماهواره لندست بررسی گردیده است؛ بنابراین تحقیق حاضر در این منطقه با مدل سازی و پیش بین تغییرات روی داده در ۲۰ سال آینده با استفاده از مدل LCM انجام پذیرفت.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، محدوده استان کردستان که در رشته‌کوه زاگرس می‌باشد. استان کردستان با مساحت ۲۸۲۰۳ کیلومترمربع در غرب ایران مجاور کشور عراق بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد که این مساحت ۷/۱ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود و از نظر وسعت رتبه ۱۶ را در کشور دارا است. از شمال به استان‌های آذربایجان غربی و قسمتی از زنجان و از جنوب به استان کرمانشاه و از شرق به استان همدان و قسمتی دیگر از استان زنجان و از غرب به کشور عراق محدود می‌باشد. این استان شامل ۳۳۰ کیلومتر مرز خاکی مشترک با کشور عراق است. از لحاظ اقلیمی و طبیعی استان کردستان منطقه‌ای کوهستانی می‌باشد که دشت‌های مرتفع و دره‌های پهن نیز در پهنه منطقه گسترده شده‌اند. اختلاف ارتفاع بین بلندترین و پست‌ترین نقاط استان به حدود ۲۴۰۰ متر می‌رسد (شکل ۱).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

## داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM و ETM<sup>+</sup> سال ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ ماهواره لندست برای تهیه نقشه پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. لازم به ذکر می‌باشد این استان در چهار سین ماهواره‌ای به مشخصات زیر قرار می‌گیرد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات سین‌های ماهواره‌ای مورد استفاده

| ۲۰۰۷ |            | ۲۰۱۴      |            | ۲۰۲۱      |            |
|------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| ۱    | ۲۰۰۷/۰۶/۰۵ | ۱۶۷PATH = | ۲۰۱۴/۰۶/۲۴ | ۱۶۸PATH = | ۲۰۲۱/۰۶/۲۳ |
|      |            | ۰۳۵ROW =  |            | ۰۳۵ROW =  |            |
| ۲    | ۲۰۰۷/۰۶/۲۶ | ۱۶۸PATH = | ۲۰۱۴/۰۶/۱۷ | ۱۶۸PATH = | ۲۰۲۱/۰۶/۳۰ |
|      |            | ۰۳۵ROW =  |            | ۰۳۶ROW =  |            |
| ۳    | ۲۰۰۷/۰۶/۰۵ | ۱۶۷PATH = | ۲۰۱۴/۰۶/۱۷ | ۱۶۷PATH = | ۲۰۲۱/۰۶/۲۳ |
|      |            | ۰۳۶ROW =  |            | ۰۳۵ROW =  |            |
| ۴    | ۲۰۰۷/۰۶/۲۸ | ۱۶۸PATH = | ۲۰۱۴/۰۶/۲۴ | ۱۶۸PATH = | ۲۰۲۱/۰۶/۳۰ |
|      |            | ۰۳۶ROW =  |            | ۰۳۶ROW =  |            |

### تهیه نقشه کاربری / پوشش اراضی و آشکارسازی تغییرات

اطلاعات ماهواره‌ای در ابتدا دارای خطاهای ژئومتری و رادیومتری هستند که این خطاها متأثر از وضعیت ماهواره، سنجنده، شرایط جوی و خطا هنگام ثبت، انتقال اطلاعات و دیگر موارد ناشی از آن می‌باشد، بنابراین لازم است پردازش‌های خاصی روی آن‌ها صورت گیرد تا قابل استفاده شوند (فرج‌الهی و دیگران، ۲۰۱۵؛ اکبرزاده و دیگران، ۱۳۹۷). از این رو تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر چند زمانه استفاده شده در تحقیق توسط نرم‌افزار ENVI 4.7 اعمال شد. از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر شباهت برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در نهایت نقشه کاربری پوشش اراضی در پنج طبقه که عبارت از اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی، اراضی جنگلی، مراتع و اراضی آبی می‌باشد. به منظور آشکارسازی تغییرات روی داده در منطقه، از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد. قابل به ذکر است که این بخش از کار در مدل LCM نیز قابل اجرا می‌باشد.

### مدل سازی تغییرات کاربری اراضی

از مدل سازی تغییر اراضی (LCM) برای مدل سازی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۴۰ استفاده شد. مدل مذکور برای تحقیق حاضر مناسب تشخیص داده شد؛ زیرا فرایند تغییر کاربری اراضی به‌ویژه گسترش مناطق مسکونی و تبدیل اراضی طبیعی به اراضی کشاورزی بسیار پیچیده و نیازمند متغیرهای متعدد است. این مدل با تلفیق توانایی‌های مدل زنجیره مارکوف، روش شبکه عصبی چندلایه پرسپترون (MLP)<sup>۱</sup> با آموزش پس از انتشار خطا، رگرسیون لجستیک و MOLA<sup>۲</sup> از کارای خوبی در شبیه سازی تغییرات چندین کاربری به طور همزمان می‌باشد (شفیع و دیگران، ۲۰۲۳، ص. ۳۶۳؛ شفیی و دیگران، ۱۴۰۲، ص. ۷۴). در ابتدا ماتریس احتمال و مساحت تغییرات با استفاده از مدل زنجیره مارکوف تهیه می‌شود. این ماتریس، نشان‌دهنده احتمال تغییر یک کاربری مشخص به سایر کاربری‌ها در دوره زمانی مورد مطالعه است. سپس بر مبنای تغییرات عمده روی داده در منطقه مورد مطالعه، ۴ زیر مدل انتقال تغییر کاربری اراضی مشخص شد که عبارت بودند از ۱. زیر مدل تبدیل اراضی جنگل به مرتع، ۲. زیر مدل تبدیل مرتع به اراضی کشاورزی، ۳. زیر مدل تبدیل مرتع به مناطق مسکونی و ۴. زیر مدل تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی. برای ساخت هریک از زیر مدل‌های مذکور، از تغییرات توصیفی مختلف استفاده شد که با استفاده از روش MLP مدل سازی شد و در نهایت به تولید نقشه‌های احتمال انتقال تغییر<sup>۳</sup> هر کاربری انجامید (ابولیش و اولمدو، ۲۰۱۶، ص. ۲۷۴). متغیرهای توصیفی به کار رفته در این مدل سازی عبارت‌اند از شیب، جهت، ارتفاع و فاصله از جاده می‌باشد. نتیجه نهایی از ساخت این زیر مدل‌ها، تولید نقشه احتمال تغییر برای تمامی کاربری‌های موجود در منطقه مورد مطالعه است. در نهایت، نقشه‌های احتمال تغییر بر مبنای متغیرهای محیطی برای هر زیر مدل تهیه و نقشه پیش‌بینی تغییرات برای سال ۲۰۴۰ با استفاده از اختصاص اراضی به روش MOLA تولید شد.

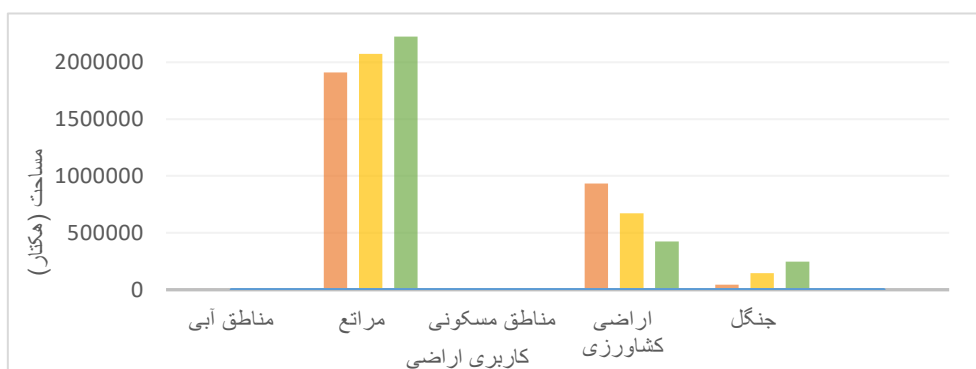
### اعتبار سنجی نقشه مدل سازی شده

برای اعتبار سنجی توان مدل LCM جهت تولید نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۴۰، ابتدا از نقشه‌های سال ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ برای پیش‌بینی نقشه سال ۲۰۲۱ استفاده شد. برای انجام این پیش‌بینی، ماتریس احتمال تغییرات و ماتریس مساحت‌های احتمالی تغییرات تهیه و بر مبنای زیر مدل‌های تعریف شده و نقشه‌های احتمال انتقال تغییرات، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۱ تهیه شد. سپس نقشه پیش‌بینی شده توسط مدل با نقشه کاربری اراضی تهیه شده به روش هیبرید (نقشه مرجع) از طریق مازول Validation در مدل LCM مورد مقایسه قرار گرفت و با محاسبه ضریب کاپای استاندارد به دست آمد (وین و دیگران، ۲۰۱۶؛ نجفی و دیگران، ۲۰۲۴).

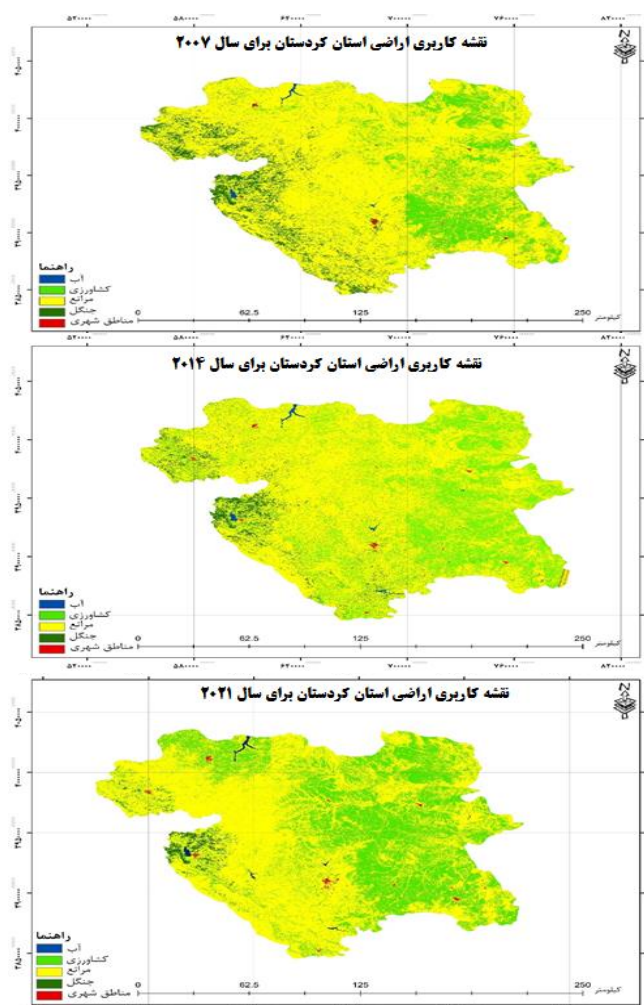
## نتایج

### نقشه کاربری / پوشش اراضی

پس از اعمال تصحیحات اتمسفری و هندسی بر روی تصویر، با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال نتایج به صورت نقشه تهیه شد. در نهایت مساحت هر کاربری بر حسب هکتار محاسبه و مقایسه شد. شکل (۲) نشان‌دهنده نقشه کاربری اراضی استخراج شده از روش مذکور در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ است.



شکل ۲. مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی برای سال‌های مورد مطالعه (بر حسب هکتار)



شکل ۳. نقشه‌های کاربری اراضی استان کردستان برای سال ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱

شکل (۳) نشان دهنده مساحت طبقات کاربری اراضی در استان کردستان برای سال های مورد مطالعه می باشد. نتایج مربوط به برآورد صحت نقشه ها در جدول (۲)، موجود است که نشان دهنده صحت قابل قبول برای نقشه های تهیه شده می باشد.

جدول ۲. جدول ارزیابی صحت نقشه های تولید شده

| نقشه سال ۲۰۰۷ | نقشه سال ۲۰۱۴ | نقشه سال ۲۰۲۱ |
|---------------|---------------|---------------|
| صحت کلی       | ۹۱ درصد       | ۹۳ درصد       |
| ضریب کاپا     | ۰/۸۹          | ۰/۹۲          |

## آشکار سازی تغییرات کاربری اراضی

### تغییر کاربری اراضی بین سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴

به منظور بررسی روند تغییرات روی داده در پوشش اراضی استان کردستان در فاصله سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ مساحت استخراج شده از نقشه های مربوط به پوشش های اراضی در دوره زمانی مذکور باهم مقایسه شد و افزایش و کاهش عددی آن ها بر حسب هکتار و به صورت درصد با یکدیگر مقایسه شد. بیشترین درصد تغییرات افزایش مربوط به منطقه مناطق شهری با ۱۷۸٪ و پس از آن مناطق کشاورزی با افزایش ۵۸٪ به عنوان دومین افزایش در منطقه بوده است. در میان تغییرات کاهشی نیز مناطق جنگلی با ۴۱٪ بیشترین کاهش را داشته است (جدول ۳).

### تغییر کاربری اراضی بین سال های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱

به منظور بررسی روند تغییرات روی داده در پوشش اراضی استان کردستان در فاصله سال های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ مساحت استخراج شده از نقشه های مربوط به پوشش های اراضی در دوره زمانی مذکور باهم مقایسه شد و افزایش و کاهش عددی آن ها بر حسب هکتار و به صورت درصد با یکدیگر مقایسه شد. بیشترین درصد تغییرات افزایش مربوط به مناطق کشاورزی با ۳۹٪ و پس از آن افزایش اراضی شهری با ۳۴٪ به عنوان دومین افزایش در منطقه بوده است. در میان تغییرات کاهشی نیز اراضی جنگل با ۶۹٪ کاهش بوده است (جدول ۳).

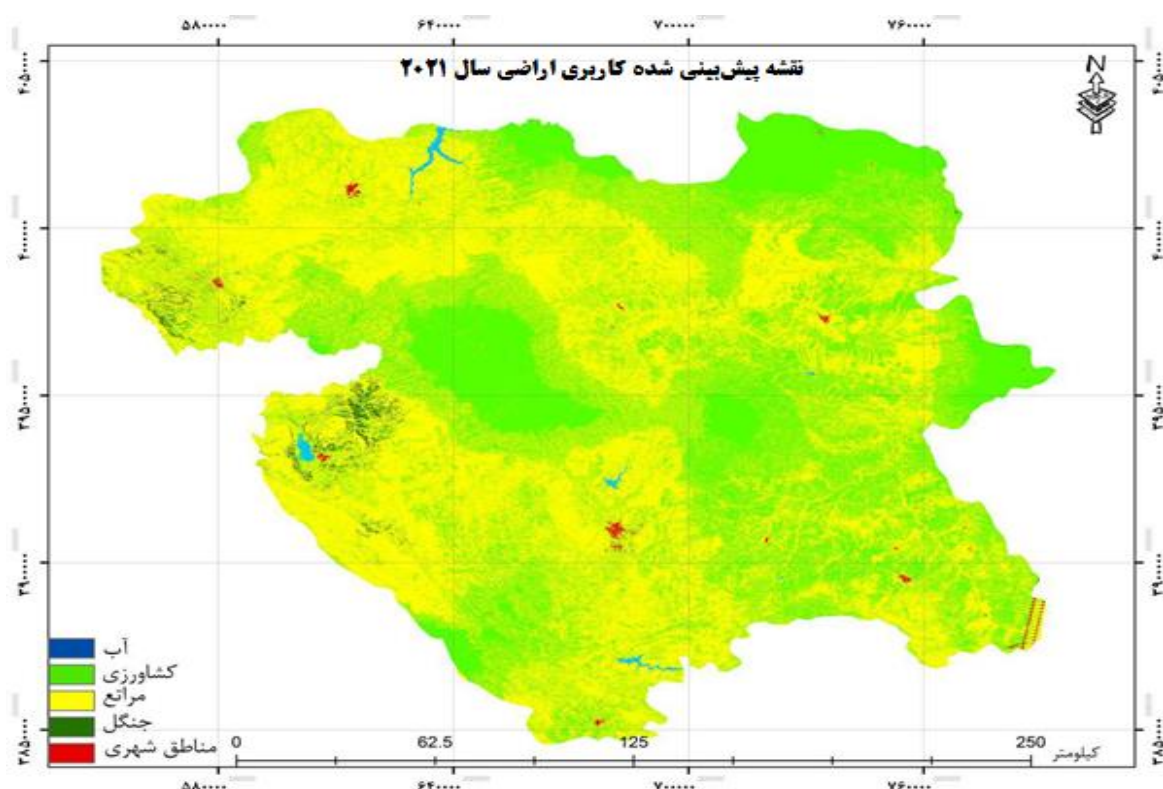
### تغییر کاربری اراضی بین سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱

به منظور بررسی روند تغییرات روی داده در پوشش اراضی استان کردستان در فاصله سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱ مساحت استخراج شده از نقشه های مربوط به پوشش های اراضی در دوره زمانی مذکور باهم مقایسه شد و افزایش و کاهش عددی آن ها بر حسب هکتار و به صورت درصد با یکدیگر مقایسه شد. بیشترین درصد تغییرات افزایش مربوط به مناطق شهری با ۲۷۳٪ و پس از آن افزایش اراضی کشاورزی با ۱۲۰٪ به عنوان دومین افزایش در منطقه بوده است. در میان تغییرات کاهشی نیز اراضی جنگلی با ۸۲٪ کاهش بوده است (جدول ۳).

جدول ۳. مساحت و درصد تغییرات کاربری اراضی برای سال های ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱

| طبقه کاربری | مساحت     | مساحت     | مساحت     | درصد تغییرات | درصد تغییرات | درصد تغییرات |
|-------------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| جنگل        | ۲۴۷۷۱۴    | ۱۴۴۴۸۴/۳  | ۴۴۲۰۷/۷   | -۴۱/۷        | -۶۹/۴        | -۸۲          |
| کشاورزی     | ۴۲۳۴۵۳    | ۶۷۰۶۳۳    | ۹۳۲۶۵۳/۴  | ۵۸/۴         | ۳۹           | ۱۲۰/۲        |
| شهر         | ۳۰۱۶/۷    | ۸۴۰۰      | ۱۱۲۶۰/۴   | ۱۷۸/۴        | ۳۴           | ۲۷۳/۲        |
| مرتع        | ۲۲۲۷۱۵۴/۹ | ۲۰۷۳۸۵۹/۷ | ۱۹۰۹۶۸۹/۲ | -۶/۹         | -۷/۹         | -۱۴/۲        |
| آب          | ۷۹۷۵      | ۹۱۳۳/۱    | ۸۶۹۴      | ۱۴/۵         | -۴/۸         | ۹            |
| تاریخ       | ۲۰۰۷      | ۲۰۱۴      | ۲۰۲۱      | ۲۰۱۴ تا ۲۰۰۷ | ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ | ۲۰۲۱ تا ۲۰۰۷ |

برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری پوشش سرزمین ابتدا به کالیبراسیون مدل پرداخته شد. بدین منظور ماتریس احتمال انتقال سرزمین برای سال ۲۰۲۱ تهیه شد و نقشه‌های کاربری سرزمین سال ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ به مدل LCM معرفی شد و تغییرات کاربری / پوشش سرزمین برای سال ۲۰۲۱ شبیه‌سازی شد. مقایسه نقشه شبیه‌سازی سال ۲۰۲۱ با نقشه مرجع همان زمان با شاخص کاپای ۰/۷۹ حاکی از دقت قابل قبول مدل بود. جدول (۴) نشان‌دهنده مقدار مساحت واقعی و پیش‌بینی شده کاربری / پوشش در سال ۲۰۲۱ است. بر اساس این نتایج مقدار طبقات کاربری / پوشش سرزمین، مناطق کشاورزی بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی شده است. مناطق جنگلی و مراتع نیز با اختلاف اندکی کمتر از مقدار واقعی تشخیص داده شده است. مناطق شهری و مناطق آبی تقریباً مساحت پیش‌بینی شده برابر مساحت واقعی شده است. نقشه شبیه‌سازی کاربری اراضی سال ۲۰۲۱ در شکل (۴) نشان داده شده است.

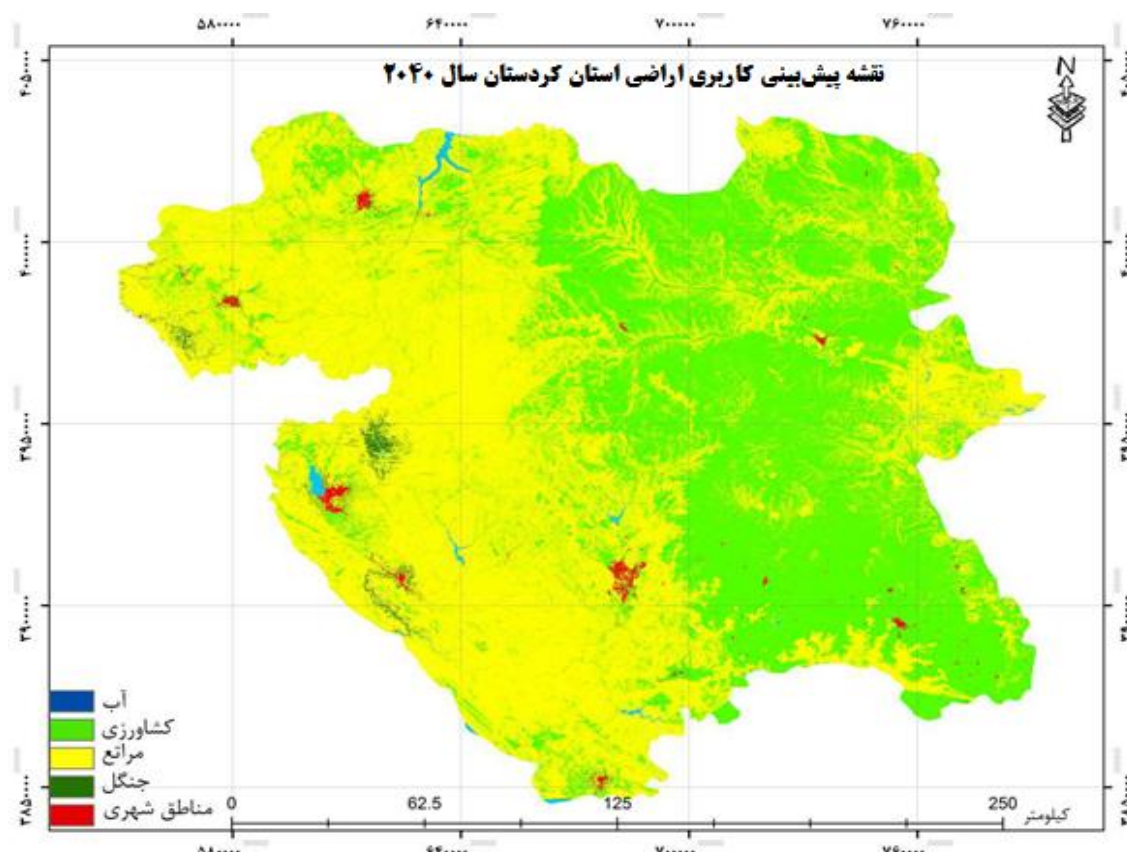


شکل ۴. نقشه شبیه‌سازی شده کاربری اراضی سال ۲۰۲۱

پس از بررسی نتایج حاصله از صحت مکانی مدل‌سازی تغییرات کاربری / پوشش سرزمین در سال ۲۰۲۱، از این مدل برای پیش‌بینی میزان تغییرات تا سال ۲۰۴۰ استفاده شد. جدول (۴) و شکل (۵) نشان‌دهنده نقشه و مساحت طبقات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۴۰ است.

جدول ۴. مساحت کاربری اراضی سال ۲۰۴۰

| کاربری  | مساحت (هکتار) | درصد  |
|---------|---------------|-------|
| آب      | ۷۱۱۹۷۰/       | ۰/۴۱  |
| کشاورزی | ۱۲۰۵۰۳۴/۴     | ۴۱/۴  |
| مرتع    | ۱۶۵۷۷۸۶/۷     | ۵۷/۰۳ |
| جنگل    | ۱۳۹۰۹/۹       | ۰/۴۷  |
| شهر     | ۱۷۸۰۳/۱       | ۰/۶۱  |



شکل ۵. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی استان کردستان سال ۲۰۴۰

## بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش از مدل LCM برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در استان کردستان استفاده شد. نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ نشان‌دهنده افزایش مساحت طبقه کاربری اراضی کشاورزی در سال ۲۰۱۴ بوده است. این افزایش می‌تواند از تبدیل طبقه کاربری اراضی مرتعی و جنگلی به این کاربری باشد. از دیگر مواردی که باعث افزایش چشمگیر مناطق کشاورزی شده است، می‌توان به رشد جمعیت در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴، وجود مراتع مناسب کشت که در نیمه شرقی استان قرار دارد و همچنین احداث تعداد زیادی سد که منجر به افزایش دسترسی به آب در حوزه بالادست سد گشته و متناسب با آن افزایش بیشتر زمین‌های کشاورزی را در این بازه زمانی به همراه داشته است. با پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ نیز متوجه این موضوع می‌شویم که همچنان اراضی کشاورزی در حال افزایش می‌باشد که با مطالعات آرفین و دیگران، ۲۰۲۳ همسو می‌باشد. از نکات قابل توجه در این بازه کاهش مقدار آب ذخیره‌ای پشت سدها نسبت به دوره قبل می‌باشد که می‌تواند به افزایش چاه‌های مجاز و غیرمجاز، افزایش اراضی کشت آبی و خشک‌سالی اشاره کرد. جنگل‌های این استان نیز به دلیل قطع درختان برای تأمین منبع سوخت، تبدیل به زمین کشاورزی، خشک‌سالی و خشکیدگی درخت بلوط در حال کاهش بوده به طوری که در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱، ۸۰ درصد از این مناطق جنگلی از بین رفته است. لازم به ذکر می‌باشد عمده نابودی درختان این مناطق در بخش شرقی استان جاهای که درختان پراکنده در دره‌های آن قرار داشته و می‌توان گفت اکنون آثاری از این درختان در شرق این استان دیده نمی‌شود، این درحالی است که جنگل‌های بلوط در قسمت غربی این استان پراکنش داشته که آن هم با کاهش چشمگیری همراه بوده است. از دلایل عمده‌ای که می‌تواند توضیح دهنده برآورد بیشتر مناطق کشاورزی در نقشه پیش‌بینی شده ۲۰۲۱ نسبت به نقشه مرجع ۲۰۲۱ باشد، رشد بسیار زیاد کشاورزی در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ نسبت به بازه زمانی ۲۰۱۴ تا

۲۰۲۱ باشد و جهت کنترل این عامل در مدل‌سازی LCM از بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱ استفاده گردید. وجود مناطق حفاظت‌شده بیجار و کوهسالان در این استان موجب گشته که در اطراف این مناطق حفاظت‌شده تغییرات کاربری با سرعت کمتری نسبت به سایر مناطق انجام بگیرد. با توجه به نقشه پیش‌بینی شده از مدل LCM برای سال ۲۰۴۰ می‌توان به افزایش ۳۲ درصدی کشاورزی نسبت به سال ۲۰۲۱ و کاهش ۶۵ درصدی جنگل‌ها اشاره کرد. همچنین کاهش ۱/۱ درصدی آب‌ها با وجود افزایش تعداد صدها می‌تواند هشدار برای این استان باشد.

در این مطالعه تغییرات پوشش استان کردستان در گذشته و آینده بررسی شد. نتایج این پیش‌بینی به رغم اختلاف نسبت به آنچه در آینده اتفاق خواهد افتاد، می‌تواند هشدار برای وضعیت کاربری‌ها در آینده باشد از آنجا که نقشه‌های پوشش و کاربری اراضی به عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، نتایج برآمده از این مطالعه می‌تواند در راستای کنترل تغییرات غیراصولی و مدیریت بهتر منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

## References

- Abuelaish, B., & Olmedo, M. T. C. 2016. Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4), 274.
- Akbarzadeh, M. (2017). *The effect of landscape on gene flow in partridges (Alectoris chukar) of Kurdistan Province using SSR markers*. Department of Environment, Tarbiat Modares University, 98.
- Akbarzadeh, M., Akbarzadeh, P., Gholami, H., & Hasani Shariat Panahi, S. F. (2018). Assessment of land use change trends in Qalarang Protected Area of Ilam using remote sensing imagery. *The Third National Conference on Soil and Watershed Conservation with a Focus on Monitoring and Evaluation of Resources and Their Management in Watersheds*, 32(40), 110-130.
- Alimohammadi, M., Alijafar, & Shayan. (2010). Predicting land use and land cover changes using satellite imagery and Markov chain model. *Spatial Planning*, 14(3), 117-130.
- Arifin, T., Amri, S. N., Rahmania, R., Ramdhan, M., Chandra, H., Adrianto, L., ... & Kurnia, R. (2023). Forecasting land-use changes due to coastal city development on the peri-urban area in Makassar City, Indonesia. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 26(1), 197-206.
- Azizi Qalati, S., Rangzan, K., Sedidi, J., Heydarian, P., & Taghizadeh, A. (2016). Predicting the trend of spatial land use changes using Markov-CA chain model (Case study: Kuhmareh Sorkhi region, Fars Province). *Remote Sensing and GIS in Natural Resources*, 7(1), 59-71.
- Belay, T., & Mengistu, D. A. (2021). Impacts of land use/land cover and climate changes on soil erosion in Muga watershed, Upper Blue Nile basin (Abay), Ethiopia. *Ecological Processes*, 10, 1-23.
- Chen, L., Hang, Y., & Li, Q. (2023). Spatial-Temporal Characteristics and Influencing Factors of Carbon Emissions from Land Use and Land Cover in Black Soil Region of Northeast China Based on LMDI Simulation. *Sustainability*, 15(12), 9334.
- Farajollahi, A., Asgari, H. R., Ownegh, M., Mahboubi, M. R., & Salman Mahini, A. R. (2015). Monitoring and predicting spatial and temporal trends of land use/cover changes (Case study: Maraveh Tappeh region, Golestan). *Remote Sensing and GIS in Natural Resources*, 6(4), 1-14.
- Fathizad, H., Rostami, N., Faramarzi, M. 2015. Detection and prediction of land cover changes using Markov chain model in semi-arid rangeland in western Iran. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*. 187(10):629.
- Gholamali Fard, M., Jorabian Shoushtari, S., Hosseini Kohnejad, S. H., & Mirzaei, M. (2012). Modeling land use changes in the coasts of Mazandaran Province using LCM in GIS environment. *Environmental Studies*, 38(64), 109-124.
- Guan, D. Li, H. Inohae, T. Su, W. Nagaie, T. & Hokao, K. 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*. 222 (20–22): 3761-3772.
- Jafarian, N., Mirzaei, J., & Karami, O. (2020). Land use change trends in Manesht and Qalarang Protected Area using satellite imagery. *Forest and Rangeland Protection and Conservation Research of Iran*, 18(1), 14-30.
- Jain, R. K., Jain, K., & Ali, S. R. 2017. Modeling Urban Land Cover Growth Dynamics Based on Land Change Modeler (LCM) Using Remote Sensing: A Case Study of Gurgaon, India. *Advances in Computational Sciences and Technology*, 10(10), 2947-2961.
- Lee, Y. & Chang, H. 2011. The Simulation of Land Use Change by Using CA-Markov Model: A Case Study of Tainan City, Taiwan. 19 th international conference on geoinformatics, 24-26 June. China.
- Mas, J. F. Kolb, M. Paegelow, M. & Camacho Olmedo, M. T. 2014. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & software*. 51: 94-111.
- Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Skea, J., Buendía, E. C., Zhai, P., & Roberts, D. (2019). Climate change and land. *IPCC Report*.
- Mirzaeizadeh, V., Niknawzhad, M., Ouladi, J. 2015. Evaluating non-parametric supervised classification algorithms in land cover map using Landsat-8 Images. *Journal of RS and GIS for natural resources*. Vol. 6, No. 3, pp. 29-44.
- Najafi Igdar, A., Choubin, B., & Shirani, K. (2024). Estimation of Land Subsidence in Salmas Plain Using Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar Algorithm. *Watershed Management Research Journal*, 37(1), 98-113.

- Pickard, B., Gray, J., & Meentemeyer, R. 2017. Comparing Quantity, Allocation and Configuration Accuracy of Multiple Land Change Models. *Land*, 6(3), 52.
- Prashanth, M., Kumar, A., Dhar, S., Verma, O., Rai, S. K., & Kouser, B. (2023). Land use/land cover change and its implication on soil erosion in an ecologically sensitive Himachal Himalayan watershed, Northern India. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, 1124677.
- 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(3-4): 938-943.
- Shafie, B., Javid, A. H., Behbahani, H. I., Darabi, H., & Lotfi, F. H. (2023). Modeling land use/cover change based on LCM model for a semi-arid area in the Latian Dam Watershed (Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(3), 363.
- Shafiei, B., Javid, I. B., Darabi, H., & Hosseinzadeh Lotfi. (2023). Application of LCM in analyzing the current situation and predicting land cover and land use changes in Latian Dam watershed. *Environmental Research*, 14(28), 55-74.
- van Vliet, J., Bregt, A. K., Brown, D. G., van Delden, H., Heckbert, S., & Verburg, P. H. 2016. A review of current calibration and validation practices in land-change modeling. *Environmental Modelling & Software*, 82, 174-182.