



Research Paper

Temporal-Spatial Prediction of Land Use Changes Using LCM Model in Doroodzan Dam Watershed

Heidar Zarei^{1*}, Seyedeh Maedeh Shanani Hoveyze² and Sharif Joorabian Shooshtari³

¹Assoc. Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

²Ph.D. Scholar, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

³Assist. Professor, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

Article information

Received: July 23, 2023

Revised: November 15, 2023

Accepted: December 24, 2023

Keywords:

Artificial Neural Network

Landuse

LCM

Markov Chain

*Corresponding author:

zareih@scu.ac.ir



Abstract

Predicting future landuse changes is an important step in the proper planning and management of watersheds. Therefore, in this study, the land use modeling of the Doroodzan Dam watershed was discussed. First, the land use maps of 1996, 2005, 2016 and 2021 were extracted using Envi software, and the maximum likelihood method. The transition potential maps were modeled for each of the sub-models by using multi-layer perceptron artificial neural network and 6 variables and Markov chain was used to calculate the allocation change to each land use. Then, the land use map for 2021 was predicted using Land Change Modeler (LCM) and 2005-2016 calibration period. To verify modeling accuracy, Hits 1.92%, Misses 8.8%, False Alarms 2.94% were calculated. The ratio of Hits to the total pixels has changed 14% indicates that model results are acceptable. Then, the land use map for the year 2050 was predicted. The results showed that given the predicted LC for year 2050 in comparison with the year 2021, bare land, agricultural land, residential areas and orchards will increase by 54290, 7621, 4494, and 2391 ha, respectively. Whereas grassland and forest cover will decrease 68441, and 689 ha, respectively.

How to cite this paper: Zarei, H., Shanani Hoveyze, S. M., & Joorabian Shooshtari, S. (2024). Temporal-spatial prediction of land use changes using LCM model in Doroodzan Dam watershed. *Environ. Water Eng.*, 10(3), 363-378. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.408348.1881> (In Persian)



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The dynamic and at times significant alteration of land use and land cover (LULC) arises from both socio-economic and natural shifts. The reasons for changes in land cover vary based on the area's nature and scale, with primary drivers being deforestation, rangeland degradation, and agricultural expansion. These changes can have adverse effects on vulnerable ecosystems. Currently, in many regions, particularly in developing countries, there is a shift towards developing agricultural and residential areas, resulting in the depletion of natural resources like grasslands and forests. Land use alterations significantly impact the climate, biodiversity, and water resources of a region. Therefore, it is crucial to analyze these changes. In this study, the TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System, integrated with MLP and CA-Markov chain, was utilized to monitor, assess, and project future changes in the Doroodzan Dam watershed.

The LCM model evaluates land-use changes in two periods and predicts future alterations. The aim of this research is to forecast the land use map of the Doroodzan Dam watershed for 2050 and analyze the patterns of land use change from the past to the future.

Material and Methods

Doroodzan Dam Watershed, with an area of 4432 km², is located in the south of Iran in the northern part of Fars Province, between 30° 00' to 30° 59' N latitudes and 51° 42' to 52° 54' E longitudes. The average elevation of the watershed is 2226 m. The climate of this watershed is predominantly dry and semi-arid, and, the average annual precipitation is 751 mm. Generation of a predicted land use map for 2050 involved the following four steps (a) change analysis, (b) create transition potential, (c) predict future land use maps, and (d) model validation. Fig. 1 presents all the major steps of the LCM model used in the study.

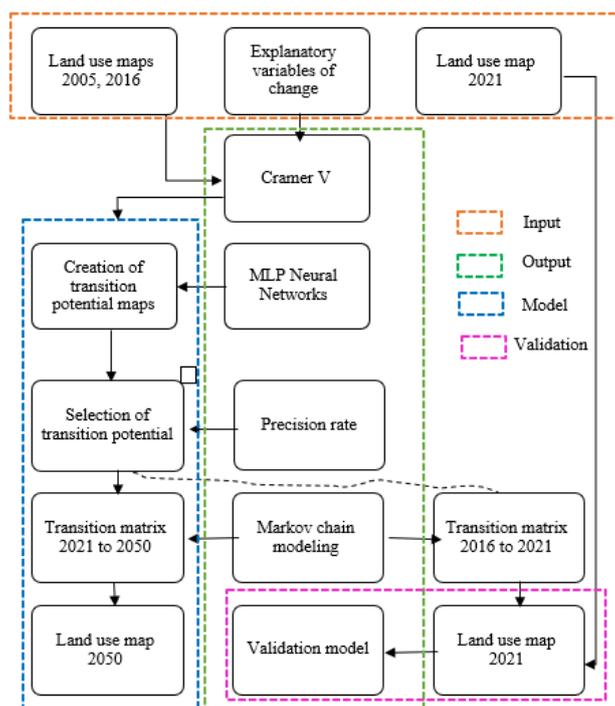


Fig. 1 Diagram of land use modeling process using LCM model

First, the land-use maps from 1996, 2005, 2016, and 2021 were extracted using Envi software and the maximum likelihood method for land-use change analysis. Historical maps were then analyzed to identify changes in land use. This involved comparing the classified images of 1996 vs 2005, 2005 vs 2016, 2016 vs 2021, and 1996 vs 2021. Additionally, land use transition potential maps were generated to examine spatial

trends in land use changes, gains, and losses. These maps were created using a multi-layer perceptron (MLP) artificial neural network (ANN) based on sub-models within the LCM. Various sub-models were developed to assess the probability of transitioning from one land use class to another over the study period. Seven sub-models including (a) grasslands conversion to bare land; (b) grasslands conversion to

agricultural land; (c) bare land conversion to agricultural land; (d) forest conversion to grasslands; (e) bare land conversion to residential area; (f) grasslands conversion to orchards; and (g) grasslands conversion to agricultural land were selected to analyze major changes in land inter-conversion. Descriptive variables refer to the indicators that have an impact on the changes within each class. In the present study, Cramer's V coefficient was used to select the descriptive variables.

Results

The analysis of land-use change patterns in the past 25 years shows that bare land, agricultural land, orchards, and residential areas have increased by 16.55%, 1.94%, 1.67%, and 1.09% respectively. In contrast, grassland and forest cover have decreased by 16.82% and 4.52% respectively. Upon visual inspection, the simulated map for 2021 closely aligns with the actual map for that year. Further analysis using Hits, Misses, and False alarms revealed values of 1.92, 8.8, and 2.94% respectively. Additionally, the ratio of Hits to the total changed pixels, at 14%, indicates acceptable model results. Following successful validation of the model, the land use map for the year 2050 was predicted (Fig. 2).

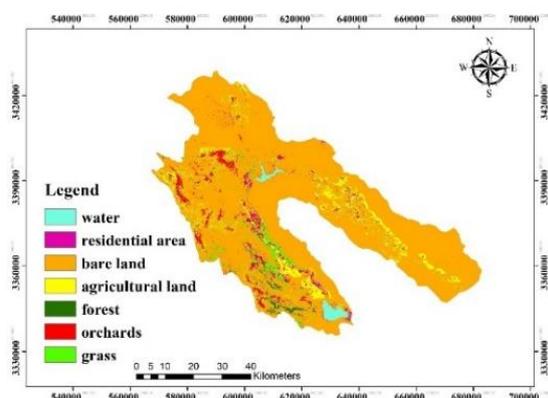


Fig. 2 Predicted land use map for 2050

Table 1 presents the statistical analysis of the predicted land use changes. The model predicts that in 2050, the area of grasslands and forests will reduce by 68,441 ha and 689 ha, reaching 11,899 ha and 3,410 ha respectively, compared to 2021. Conversely, the area of bare lands is projected to reach 360,253 ha. Agricultural lands are expected to increase by 7,621 ha, reaching a

total of 31,975 ha by 2050. Orchards are forecasted to cover 11,317 ha, and residential areas are expected to encompass 9,816 ha by 2050.

Table 1 The area of land use for the predicted year 2050, and changes between 2021 and 2050 (hectares).

Classes	Area (ha)	changes between 2021 and 2050 (ha)
Water	5133	-64
Residential area	9816	4494
Bare land	360253	54290
Agricultural land	31975	7621
Forest	3410	-689
Orchards	11317	2391
Grass	11899	-68441

Conclusions

1. In the Doroodzan Dam watershed, grasslands have been the predominant land use type, declining by 73,026 ha over the past 25 years until 2021.
2. The most net changes in land use during the last 25 years were related to the conversion of grasslands to bare land, forest to grasslands, forest to bare land, grasslands to orchards and agricultural land respectively.
3. Looking ahead, the trend in land use changes points towards an expansion of bare lands, agricultural lands, residential areas, and orchards, with each experiencing an increase of 54,290 ha, 7,621 ha, 4,494 ha, and 2,391 ha, respectively. Conversely, grasslands and forests are projected to decrease by 68,441 ha and 689 ha, respectively.

4. the validation results of the LCM model affirm its success in predicting land use changes.

Acknowledgment

The authors received funding from Shahid Chamran University of Ahvaz (GN: SCU.WH1401.589).

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of interest

The author of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

پیش بینی زمانی-مکانی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM در حوزه آبخیز سد درودزن

حیدر زارعی^{۱*}، سیده مائده شنائی هویزه^۲ و شریف جورابیان شوشتری^۳

^۱دانشیار، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
^۲دانشجوی دکترا، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
^۳استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۵/۰۱]	پیش بینی تغییرات آینده کاربری اراضی گام مهمی در برنامه ریزی و مدیریت صحیح حوزه آبخیز می باشد. بنابراین در این مطالعه به مدل سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز سد درودزن پرداخته شد. ابتدا نقشه های کاربری اراضی سال های ۱۳۷۵، ۱۳۸۴، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ در نرم افزار ENVI با الگوریتم حداکثر احتمال تهیه شدند. با استفاده از پرسپترون چندلایه شبکه عصبی و ۶ متغیر توصیفی، نقشه های پتانسیل انتقال برای هر یک از زیر مدل ها، مدل سازی و با استفاده از زنجیره مارکوف میزان تخصیص تغییر به هر کاربری محاسبه شد. سپس با استفاده از مدل تغییر سرزمین LCM و دوره واسنجی ۱۳۹۵-۱۳۸۴، نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۰ پیش بینی شد. به منظور بررسی صحت مدل سازی مقادیر موفقیت ۱/۱۹۲٪، خطا ۸/۸٪ و هشدار خطا ۲/۹۴٪ محاسبه شدند. همچنین نسبت موفقیت به کل پیکسل های تغییر کرده ۱۴٪ به دست آمد که بیانگر قابل قبول بودن نتایج مدل می باشد. سپس، نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۲۹ پیش بینی شد. نتایج نشان داد که در سال ۱۴۲۹ در مقایسه با سال ۱۴۰۰ زمین های بایر، اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و باغات به ترتیب ۵۴۲۹۰، ۷۶۲۱، ۴۴۹۴ و ۲۳۹۱ ha افزایش می یابند. در حالی که مراتع و جنگل ها به ترتیب ۶۸۴۴۱ و ۶۸۹ ha کاهش خواهند یافت.
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۸/۲۴]	
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۱۰/۰۳]	
واژه های کلیدی: زنجیره مارکوف شبکه عصبی مصنوعی کاربری اراضی LCM	
*نویسنده مسئول: zareih@scu.ac.ir	



نحوه استناد به این مقاله:

زارعی، حیدر، شنائی هویزه، سیده مائده، & جورابیان شوشتری، شریف. (۱۴۰۳). پیش بینی زمانی-مکانی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM در حوزه آبریز سد درودزن. محیط زیست و مهندسی آب. 10(3) 363-378

<https://doi.org/10.22034/ewe.2023.408348.1881>



۱- مقدمه

وقوع آن‌ها را ایجاد کند. ابزارهای مدل‌سازی زیادی مانند Land Change, CLUE, GEOMOD, CA-Markov Modeler و غیره وجود دارند (Islam and Ahmed, 2011). مقایسه عملکرد بسیاری از این ابزارهای مدل‌سازی دشوار است، زیرا مدل‌های پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی می‌توانند اساساً از طرق مختلف متفاوت باشند. مدل‌سازی تغییر سرزمین^۱ (LCM) به دلیل سادگی، تصویرگرایی و در دسترس بودن رویکردهای مختلف مدل‌سازی در بسیاری از مطالعات در سراسر جهان برای شناسایی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفته است. برای مثال Azari et al. (2022) در ایالات سلاتنگور مالزی و Shafie et al. (2023) در حوزه آبخیز سد لتیان از مدل LCM جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده کردند که نتایج هر دو مطالعه نشان‌دهنده موفقیت مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. مدل‌سازی تغییر سرزمین (LCM) یک برنامه کاربردی است که جهت بررسی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و تغییرات تنوع زیستی توسط دانشگاه Clark ایجاد شده است. مدل LCM جهت آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات در آینده در نرم‌افزار Terrset تعبیه شده است. این مدل از زیر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌کند و ابتدا تغییرات کاربری اراضی را در دو دوره مختلف ارزیابی و سپس تغییرات را تعیین و پیش‌بینی و نتایج را با نقشه‌ها و نمودارهای مختلف ارائه می‌دهد. Ansari and Golabi (2019) و Leta et al. (2021) در پژوهش‌هایی نشان دادند ادغام مدل LCM با شبکه عصبی مصنوعی و مدل زنجیره مارکوف برای ارزیابی تغییرات و پیش‌بینی تغییرات آینده کاربری اراضی، باعث افزایش دقت مدل‌سازی می‌شود. Joorabian Shooshtari and Aazami (2023) نیز نشان دادند مدل LCM با به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه و مدل زنجیره مارکوف، نتایج قابل‌قبولی را در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استان زنجان خواهد داشت. همچنین مدل LCM به دلیل مهارت طرح‌ریزی، کالیبراسیون مناسب و قابلیت پیش‌بینی چندین نوع پوشش زمین از توانایی بالایی برخوردار است (Regmi et al., 2014).

تغییرات قابل‌توجه در کاربری زمین به دلیل تغییرات اجتماعی-اقتصادی و طبیعی رخ می‌دهد. اگرچه دلایل تغییر پوشش زمین بسته به ماهیت و وسعت منطقه متفاوت است، اما از عوامل اصلی می‌توان جنگل‌زدایی، تخریب مراتع و گسترش کشاورزی را نام برد. چنین تغییراتی می‌تواند منجر به اثرات نامطلوب بر روی اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر شود (Magesh and Chandrasekar, 2017). امروزه در بسیاری از مناطق جهان به‌خصوص کشورهای در حال توسعه الگوهای تغییرات کاربری اراضی در جهت توسعه مناطق کشاورزی، مناطق مسکونی و تخریب منابع طبیعی مانند مراتع و جنگل‌ها می‌باشند. این تغییرات کاربری نقش بسزایی در خصوصیات اقلیمی، تنوع زیستی، موجودیت و کیفیت آب یک منطقه دارد که در بسیاری از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است. Hussain and Karuppanan (2023) تأثیر افزایش مناطق مسکونی در افزایش دمای سطح زمین را نشان دادند. Boussema et al. (2023) نشان دادند که افزایش مناطق مسکونی در سواحل مدیترانه باعث افزایش خطر تخریب زیستگاه‌های طبیعی و جنگل‌ها شده است. Abuhay et al. (2023) نقش افزایش زمین‌های کشاورزی، مراتع و جنگل‌ها را در افزایش میزان رواناب سطحی نشان دادند. Rasinezami et al. (2022) گزارش کردند که افزایش اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و کاهش مراتع باعث افزایش میزان شوری آب می‌شود. با توجه به اهمیت تغییرات کاربری اراضی، تجزیه و تحلیل این تغییرات در یک منطقه امری ضروری است. همچنین مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده می‌تواند به مدیران در وضع سیاست‌ها و برنامه‌های مناسب جهت جلوگیری از تخریب منابع طبیعی کمک کند. از این‌رو مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی به‌سرعت در میان جامعه علمی در حال رشد است. مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی عبارت است از ایجاد یک دید کلی از تغییراتی که در جهان واقعی صورت می‌گیرد و شبیه‌سازی تغییراتی که با یک درصد خطا در آینده به وقوع می‌پیوندد. تغییرات کاربری اراضی یک فرایند پیچیده است.

بنابراین مدل‌سازی این تغییرات می‌تواند تا حدودی پیچیدگی‌های درک آن را کاهش دهد و آن را ساده‌تر جلوه دهد، در پی آن امکان شناخت و تشخیص عوامل ایجاد کننده تغییرات و در آخر، برنامه‌ریزی جهت جلوگیری از

¹Land Change Modeler

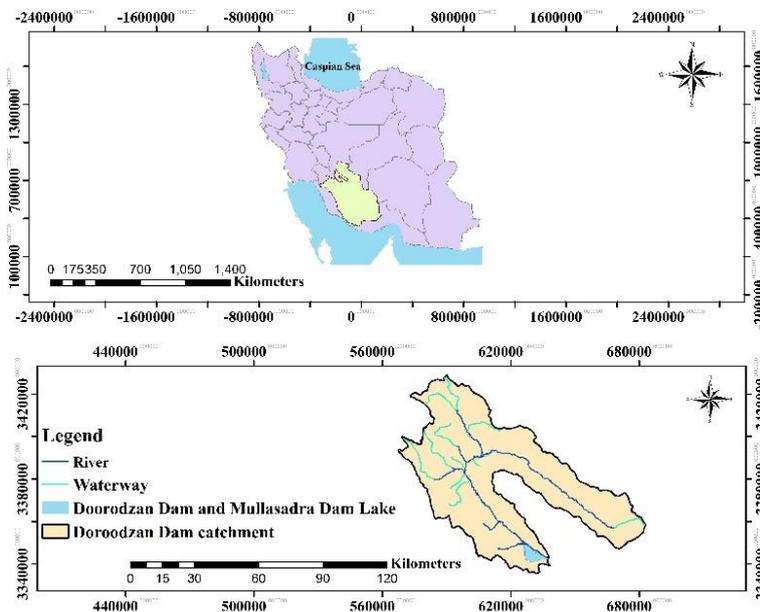
سال ۱۴۲۹ حوزه آبخیز سد درودزن و شناخت الگوهای تغییرات کاربری اراضی از گذشته تا آینده می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سد درودزن با مساحت 4342 km^2 در جنوب کشور و شمال استان فارس قرار دارد. این حوزه در محدوده جغرافیای $42' 51^\circ$ تا $54' 52^\circ$ طول شرقی و 30° تا $59'$ عرض شمالی واقع است. سد درودزن بر رودخانه کر واقع شده است و آب کشاورزی مورد نیاز برای حدود 1100 km^2 از اراضی پایین دست را تأمین می‌کند. سد ملاصدرا نیز در این حوزه در سال ۱۳۸۶ در 55 km سد درودزن بهره‌برداری شد. این حوزه شامل سه دشت، خسروشیرین، آسپاس و کامفیروز می‌باشد که حدود ۱۴٪ از کل مساحت حوزه بختگان را فراگرفته است. ارتفاع متوسط حوزه $2225/9 \text{ m}$ است. اقلیم این حوزه نیز عمدتاً خشک و نیمه خشک می‌باشد و متوسط بارش سالانه در کل حوزه آبخیز 751 mm می‌باشد (Naderi 2020). شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را در ایران و استان فارس نشان می‌دهد.

حوزه آبخیز سد درودزن که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است به دلیل شرایط آب‌وهوایی مناسب برای کشاورزی و باغداری، تمایل روستائینان را به تغییر اراضی طبیعی به اراضی کشاورزی و باغ افزایش داده است که این موضوع می‌تواند یک خطر جدی برای منابع طبیعی و محیط‌زیست حوزه آبخیز سد درودزن باشد. بنابراین این حوزه برای مدیریت، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری بهتر، نیاز به ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده دارد. برای یک مدل‌سازی مناسب انتخاب نوع مدل بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این مطالعه جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در آینده از مدل LCM استفاده شد. در هیچ‌یک از مطالعات انجام شده در حوزه آبخیز سد درودزن از مدل تغییر سرزمین (LCM) جهت پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده نشده است. بنابراین استفاده از مدل LCM با به‌کارگیری مدل پرسپترون چندلایه شبکه عصبی در مدل‌سازی نقشه‌های پتانسیل انتقال و همچنین استفاده از زنجیره مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان نوآوری این پژوهش به حساب می‌آید. هدف اصلی از پژوهش حاضر نیز پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران و استان فارس

Fig. 1 The location of the study area in Iran and Fars province

Landsat از سایت USGS^۱ برای سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۴، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ دریافت شدند. به دلیل اینکه در خرداد ماه

۲-۲- نقشه‌های کاربری اراضی

در این پژوهش برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی ابتدا تصاویر سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI ماهواره

^۱United States Geological Survey

$$OA = \frac{\sum_{k=1}^N a_{kk}}{\sum_{i,k=1}^N a_{ik}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^N a_{kk} \quad (1)$$

که، OA نشان دهنده دقت کلی، N تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده و $\sum_{k=1}^N a_{kk}$ نشان‌دهنده مجموع کل پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده است.

$$Kappa = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \quad (2)$$

که، P_0 دقت مشاهده شده و P_c توافق مورد انتظار می‌باشد.

۲-۴- پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM

در این پژوهش از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) که به صورت یک برنامه عمودی^۱ در نرم‌افزار Terrset 2020 وجود دارد، جهت پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۲۹ استفاده شد. مدل LCM ابزاری برای پیش‌بینی تغییرات زمین و برنامه‌ریزی برای زمین است. LCM از نقشه‌های تاریخی کاربری اراضی و متغیرهای توصیفی جهت پیش‌بینی سناریوهای آینده کاربری اراضی/پوشش زمین استفاده می‌کند. پیش‌بینی کاربری اراضی برای آینده در مدل LCM شامل چهار مرحله اصلی می‌باشد که عبارتند از: تجزیه و تحلیل تغییرات گذشته کاربری اراضی، مدل‌سازی پتانسیل انتقال، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و اعتبارسنجی مدل (Hasan et al. 2020). شکل (۲) مراحل پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM را نشان می‌دهد.

۲-۴-۱- تحلیل تغییرات کاربری اراضی

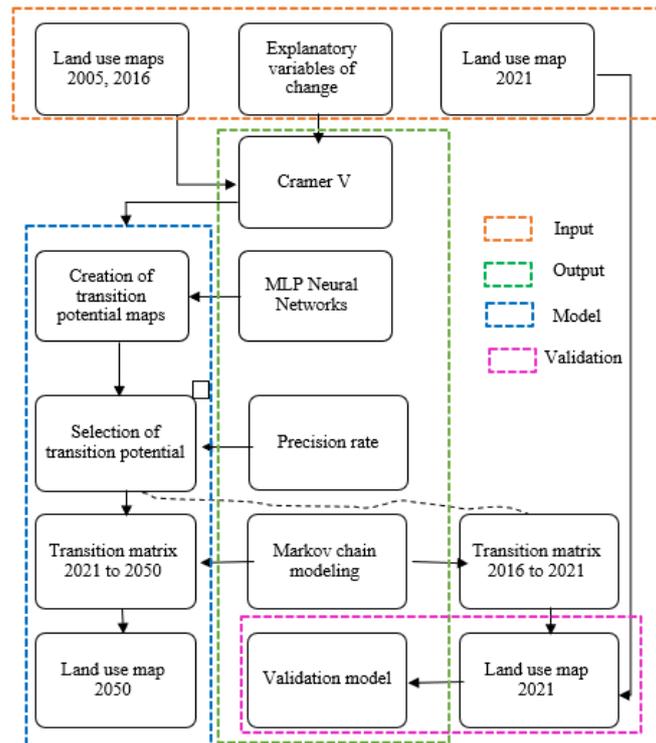
مدل LCM برای تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در دوره آتی به نقشه‌های کاربری اراضی گذشته متعلق به زمان‌های گوناگون به عنوان ورودی نیاز دارد. بنابراین در این مرحله نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۳۷۵ در مقابل سال ۱۳۸۴، نقشه کاربری سال ۱۳۸۴ در مقابل سال ۱۳۹۵، نقشه کاربری سال ۱۳۹۵ در مقابل سال ۱۴۰۰ و نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۵ در مقابل سال ۱۴۰۰ به مدل معرفی شدند. در این مرحله مدل میزان تغییرات کاربری اراضی را بین هر دو بازه زمانی محاسبه و برای هر کاربری میزان کاهش، افزایش، تغییرات خالص و انتقال از هر کاربری به کاربری دیگر را در هر بازه زمانی به صورت نقشه و نمودار ارزیابی می‌کند.

سطح پوشش گیاهی در حوضه مورد مطالعه در حداکثر حالت خود قرار می‌گیرد، این ماه برای بررسی تغییرات کاربری اراضی انتخاب شد. پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز، در مرحله پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای، خطاهای موجود در تصاویر شناسایی و اصلاح شدند. خطاهای رادیومتریک و اتمسفری از جمله این خطاها می‌باشند. جهت اصلاح خطای رادیومتریک تصاویر از روش IR-MAD استفاده شد و پس از آن آنالیز اتمسفری تصاویر با استفاده از روش فلش (FLAASH) در نرم‌افزار ENVI انجام و اثر اتمسفر از امواج ثبت‌شده در تصاویر حذف شد. پس از انجام پیش‌پردازش‌ها، پردازش و طبقه‌بندی تصاویر انجام شد. در این پژوهش تصاویر با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال طبقه‌بندی شدند. زیرا از بین روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، روش حداکثر احتمال یکی از پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی می‌باشد. اولین مرحله در انجام طبقه‌بندی نظارت شده انتخاب مناطقی است که به عنوان نمونه‌های آموزشی برای هر کلاس به کار می‌روند. برای این مرحله نمونه‌های آموزشی برای هر کلاس با استفاده از بازدیدهای میدانی و تصاویر رنگی کاذب و حقیقی و همچنین تصاویر موجود در Google earth انتخاب شدند. سپس نمونه‌ها بر سطح تصاویر ماهواره‌ای مورد نظر پیاده شدند. بخشی از این نمونه‌های آموزشی برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و بخشی دیگر برای ارزیابی صحت نتایج حاصل از طبقه‌بندی استفاده شدند. منطقه مورد مطالعه به هفت طبقه کاربری شامل آب، مناطق مسکونی، زمین بایر، اراضی کشاورزی، جنگل، باغ و مرتع تفکیک شد. پس از مرحله تعیین نمونه‌های آموزشی، تصاویر با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال طبقه‌بندی و نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۴، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ به دست آمد.

۲-۳- ارزیابی صحت طبقه‌بندی

برای اطمینان از صحت طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی شد. در این مرحله با بخشی از نمونه‌های آموزشی برداشت شده، دقت طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی با محاسبه دقت کلی و ضریب کاپا مورد بررسی قرار گرفت. این پارامترها رابطه بین نمونه‌های آموزشی برداشت شده (حقایق زمینی) و نتایج حاصل از طبقه‌بندی را برای هر کاربری نشان می‌دهند. مقادیر این پارامترها به صورت رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه می‌شود (Rasouli 2008):

¹Vertical Application



شکل ۲- دیاگرام فرآیند مدل‌سازی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM (Qacami et al. 2023)
 Fig. 2 Diagram of land use modeling process using LCM model (Qacami et al. 2023)

۲-۴-۲- مدل‌سازی پتانسیل انتقال

مدل‌سازی پتانسیل انتقال برای تجزیه و تحلیل و تعیین روندهای مکانی در تغییرات کاربری اراضی و همچنین میزان افزایش و کاهش هر کاربری ایجاد می‌شود. این مدل‌سازی بر اساس یک یا گروهی از زیرمدل‌ها در LCM با استفاده از پرسپترون چندلایه شبکه عصبی (MLP)^۱ انجام می‌شود. در این مرحله، پتانسیل انتقال یک کاربری مثل مرتع به کاربری دیگر مثل اراضی کشاورزی با توجه به متغیرهای توصیفی مدل‌سازی می‌شود. به این منظور که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک نوع کاربری به کاربری دیگر چقدر پتانسیل دارد. نقشه خروجی از این مرحله، نقشه پتانسیل انتقال هر کاربری به کاربری دیگر مثلاً کاربری مرتع به اراضی کشاورزی خواهد بود. جهت انتخاب زیر مدل‌هایی که دقت بالایی داشته باشند، مدل چندین بار با سناریوهای مختلف اجرا شد. در نهایت هفت زیر مدل که عبارتند از: تبدیل مرتع به زمین بایر، مرتع به اراضی کشاورزی، زمین بایر به اراضی کشاورزی، جنگل به مرتع، زمین بایر به مناطق مسکونی، مرتع به باغ و اراضی کشاورزی به زمین بایر انتخاب شدند.

برای هر زیر مدل، متغیرهای توصیفی نیز به‌عنوان ورودی برای پیش‌بینی نقشه‌های کاربری اراضی شناسایی شدند. متغیرهای توصیفی شاخص‌هایی هستند که بر تغییرات هر طبقه تأثیر می‌گذارند. برای تعیین همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته از ضریب کرامر^۲ استفاده شد. این ضریب مقادیر صفر تا یک را دربر می‌گیرد. مقادیر نزدیک به صفر همبستگی ضعیف بین متغیرها و مقادیر نزدیک به یک همبستگی قوی بین متغیرها را نشان می‌دهد که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Eastman 2020).

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{N(m-1)}} \quad (3)$$

که، X^2 آماره کای اسکور، N تعداد نمونه‌ها، m تعداد ردیف یا ستون در جدول احتمال وقوع می‌باشد.

در پژوهش حاضر برای افزایش دقت مدل‌سازی، متغیرهای توصیفی مختلفی انتخاب و هر بار مدل اجرا شد. در نهایت با توجه به ضریب کرامر، بهترین متغیرهای توصیفی انتخاب شدند که عبارتند از: شیب، مدل رقومی ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از آبراهه‌ها.

²Cramer's V

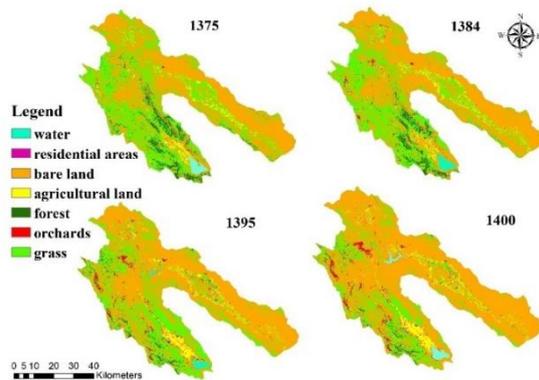
¹Multi-layer preception

به‌عنوان مؤلفه‌هایی جهت صحت‌سنجی مدل LCM پیشنهاد شده‌اند (Chen and Pontius 2010). این چهار مؤلفه در بسیاری از مطالعات برای صحت‌سنجی مدل LCM به کار رفته‌اند (Azari et al. 2022; Shakeri et al. 2019).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- استخراج نقشه‌های کاربری قبلی اراضی

نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به روش حداکثر احتمال برای سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۴، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ به ترتیب در شکل (۳) نشان داده شده است. دقت نقشه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده برای سال‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار ENVI با استفاده از بخشی از نمونه‌های آموزشی ارزیابی شدند. مقادیر دقت کلی طبقه‌بندی برای سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۴، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ به ترتیب ۹۶/۸۲، ۹۸/۰۴، ۹۷/۷ و ۹۷/۱۷ به‌دست آمد. همچنین مقادیر شاخص کاپا برای چهار دوره به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۵، ۰/۹۷ و ۰/۹۶ محاسبه شد.



شکل ۳- نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۴، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰

Fig. 3 Land use maps for the years 1996, 2005, 2016 and 2021

تغییرات مربوط به کلاس‌های مختلف کاربری اراضی برای هر یک از دوره‌های مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود کاربری‌های بایر، مسکونی، کشاورزی و باغات در طول دوره مورد مطالعه افزایش و در مقابل کاربری‌های مرتع و جنگل کاهش یافته‌اند.

از آنجایی که تمام متغیرهای ذکر شده کمی هستند برای به‌کاربردن متغیر کیفی در مدل، نقشه انتقال هر یک از کاربری‌ها به کاربری دیگر تولید و با استفاده از ابزار تغییر شکل، شاهد احتمال تغییرات^۱ به‌عنوان متغیر کیفی در مدل وارد شد (Gholamalifard et al. 2013).

۲-۴-۳- پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

مدل زنجیره مارکوف یک روش مدل‌سازی تصادفی است که به طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شود. این مدل کاربری اراضی آینده را از زمان $t=1$ تا زمان دیگر $t+1$ بر اساس نقشه‌های پتانسیل انتقال هر طبقه کاربری پیش‌بینی می‌کند. نقشه‌های پتانسیل انتقال که از طریق شبکه عصبی پرسپترون چندلایه تولید می‌شوند یک تخمین احتمالی را ارائه می‌دهند که هر پیکسل یا به کاربری دیگری تبدیل می‌شود و یا در طول بازه زمانی بدون تغییر می‌ماند. بنابراین در این مطالعه، مدل‌سازی برای سال ۱۴۰۰ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و دوره واسنجی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵ اجرا شد. در نهایت برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۴۲۹ از نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ استفاده شد.

۲-۴-۴- اعتبارسنجی مدل

ارزیابی صحت و دقت نتایج در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی بسیار ضروری است. اعتبارسنجی فرآیندی است که در آن با استفاده از مقایسه نتایج نقشه مدل‌سازی شده با نقشه واقعی، کیفیت پارامترهای مدل بررسی می‌شود. چهار مؤلفه موفقیت‌خیزی^۲ (پیکسل‌هایی که در پیش‌بینی و واقعیت ثابت بوده و تغییری نکرده‌اند)، موفقیت^۳ (پیکسل‌هایی که در واقعیت تغییر کرده‌اند و در مدل هم این تغییر به درستی پیش‌بینی شده است)، خطا^۴ (پیکسل‌هایی که در واقعیت تغییر کرده‌اند اما در مدل این تغییر به اشتباه ثابت پیش‌بینی شده است)، هشدارخطا^۵ (پیکسل‌هایی که در واقعیت تغییر کرده‌اند اما در مدل این عدم تغییر به اشتباه تغییر پیش‌بینی شده است)

¹Evidence likelihood

²Null Successes

³Hits

⁴Misses

⁵False Alarms

جدول ۱- مساحت کاربری‌های اراضی در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۷۵، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ برحسب ha

Table 1 The area of land uses for the years 1996, 2005, 2016 and 2021 in ha

Year	1996	2005	2016	2021	Change %			
					1996-2005	2005-2016	2016-2021	1996-2021
Classes	ha	ha	ha	ha				
Water	4788	4549	3394	5197	-0.05	-0.27	0.42	0.1
Residential area	612	1687	4843	5322	0.25	0.73	0.11	1.09
Bare land	234119	252844	270497	305963	4.31	4.07	8.17	16.55
Agricultural land	15915	17726	21398	24354	0.41	0.85	0.68	1.94
Forest	23727	16749	6132	4099	-1.61	-2.45	-0.47	-4.53
Orchards	1680	3497	6664	8926	0.41	0.73	0.53	1.67
Grass	153366	137087	121274	80340	-3.75	-3.64	-9.43	-16.82

نتیجه گرفتند که تخریب منابع طبیعی و تبدیل آن‌ها به کاربری باغ، کشاورزی و مسکونی مهم‌ترین تغییر اراضی در منطقه است که با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه شباهت دارد. باید اذعان نمود که تغییر پوشش طبیعی زمین مثل مرتع و جنگل به اراضی بایر، مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و باغات در بسیاری از مناطق دنیا در حال رخ دادن است.

جدول (۲) میزان کاهش، افزایش و تغییر خالص هر کاربری به کاربری دیگر را برحسب درصد برای دوره‌های زمانی ۱۳۸۴-۱۳۷۵، ۱۳۹۵-۱۳۸۴، ۱۴۰۰-۱۳۹۵ و ۱۴۰۰-۱۳۷۵ را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۲)، در بازه زمانی ۱۳۸۴-۱۳۷۵، بیش‌ترین تغییر خالص مربوط به ۱/۶۸٪ تبدیل کاربری مرتع به زمین بایر معادل ۱۸۱۲۳ ha و پس از آن ۰/۴۲٪ معادل ۴۵۷۹ ha تغییر خالص در تبدیل کاربری جنگل به مرتع بوده است. در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۴ تغییر خالص از کاربری مرتع به زمین بایر ۱/۷۶٪ معادل ۱۰۶۲ ha بود. همچنین به ترتیب ۲۷۸۳، ۲۲۹۰ و ۱۰۶۲ ha تغییر خالص از مراتع به کاربری‌های اراضی کشاورزی، باغات و مناطق مسکونی رخ داده است. همچنین تغییر خالص از کاربری زمین بایر به مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی نیز در این دوره به ترتیب ۱۶۸۲ ha و ۱۳۷۱ ha بوده است. در دوره ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تغییر خالص از کاربری مرتع به زمین بایر، باغات و اراضی کشاورزی به ترتیب ۳/۶۴، ۰/۱۸ و ۰/۰۹٪ معادل ۳۹۲۸۰، ۱۹۹۳ و ۹۹۹ ha بود. نتایج برای کل دوره ۱۳۷۵-۱۴۰۰ نشان می‌دهد که طی ۲۵ سال گذشته بیش‌ترین تغییر به ترتیب مربوط به تبدیل کاربری مرتع به زمین بایر، جنگل به مرتع، جنگل به بایر، مرتع به باغات و تبدیل مرتع به اراضی کشاورزی بوده است که می‌توان نتیجه گرفت که در طول دوره زمانی گذشته در حوزه آبخیز سد درودزن مهم‌ترین نوع تغییرات مربوط به تخریب پوشش‌های طبیعی

تحلیل الگوی تغییرات کاربری اراضی در ۲۵ سال گذشته نشان می‌دهد که زمین‌های بایر، اراضی کشاورزی، باغ و مناطق مسکونی به ترتیب ۱۶/۵۵، ۱/۹۴، ۱/۶۷ و ۱/۰۹٪ نسبت به کل مساحت حوضه افزایش یافته‌اند. در حالی که مرتع و جنگل هر کدام به ترتیب ۱۶/۸۲ و ۴/۵۲٪ کاهش یافته‌اند. از دلایل از بین رفتن جنگل در منطقه مورد مطالعه می‌توان به چرای دام‌ها از سرشاخه‌های درختان و نهال‌های جوان و استفاده‌های سوختی و ساختمانی از چوب درختان اشاره کرد. همچنین تمایل روستائینان به افزایش اراضی کشاورزی و باغداری جهت افزایش درآمد و کمبود بارندگی و در پی آن خشکسالی‌های اخیر در منطقه از مهم‌ترین عوامل کاهش مراتع می‌باشند. حداقل از دو دهه پیش، توسعه کشاورزی (اعم از دیم و آبی)، زمانی آغاز شد که دولت ایران استراتژی جدیدی را برای محصولات کشاورزی اجرا کرد (Madani 2014). این استراتژی رشد اقتصادی را با افزایش تولیدات کشاورزی افزایش داد (Hassanzadeh et al. 2012). تولید بیشتر نه تنها به زمین بیشتری نیاز دارد، بلکه با توجه به بارندگی محدود در منطقه به برداشت بیشتر آب نیاز دارد. از این رو، تأمین امنیت غذایی منجر به گسترش عرصه کشاورزی بیشتر به قیمت مرتع شده است (Shirmohammadi et al. 2020).

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند طبقه مرتع در ۲۵ سال گذشته ۷۳۰۲۶ ha کاهش یافته است اما در پی آن زمین‌های بایر، اراضی کشاورزی و باغات افزایش یافته‌اند که به نظر می‌رسد دلیل اصلی کاهش مراتع باشند. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان کرد که مرتع عمده‌ترین نوع کاربری اراضی بوده که دستخوش تغییرات منفی قرار گرفته است. (Pourghasemi et al. 2021) نیز در مطالعه‌ای تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از مدل CLUE-s در حوزه آبخیز سد درودزن پیش‌بینی کردند و

منطقه و تبدیل آن‌ها به کاربری بایر، اراضی کشاورزی و باغ بوده‌است.

جدول ۲- میزان تغییرات خالص کاربری‌ها در بازه‌های زمانی مورد مطالعه

Table 2 The net changes in land use during the study periods

Classes	Gain		Loss						
			Water (%)	Residential (%)	Bare (%)	Agricultural (%)	Forest (%)	Orchards (%)	Grass (%)
1996-2005									
Water	0.00	-0.03	0.00	0	-0.02	0	0	0	0
Residential	0.00	0.10	0.00	0	0.05	0	0	0	0.04
Bare	4.77	-3.03	0.02	-0.05	0	-0.11	0.21	-0.01	1.68
Agricultural	1.17	-1.01	0.00	0	0.11	0	0.01	-0.07	0.12
Forest	0.39	-1.04	0.00	0	-0.21	-0.01	0	-0.01	-0.42
Orchards	0.24	-0.07	0.00	0	0.01	0.07	0.01	0	0.09
Grass	3.52	-5.02	0.00	-0.04	-1.68	-0.12	0.42	-0.09	0
2005-2016									
Water	0.07	-0.17	0.00	-0.02	-0.02	-0.05	0	-0.01	0
Residential	0.32	-0.03	0.02	0	0.16	0.02	0	0	0.1
Bare	5.57	-3.95	0.02	-0.16	0	-0.13	0.12	0	1.76
Agricultural	1.44	-1.1	0.05	-0.02	0.13	0	0	-0.08	0.26
Forest	0.32	-1.31	0.00	0	0	-0.12	0	0	-0.87
Orchards	0.4	-0.1	0.01	0	0	0.08	0	0	0.21
Grass	4.36	-5.82	0.00	-0.1	-1.76	-0.26	0.87	-0.21	0
2016-2021									
Water	0.16	0	0	0.02	0.09	0.03	0	0	0.02
Residential	0.26	-0.21	-0.02	0	0.06	-0.02	0	0	0.03
Bare	5.48	-2.18	-0.09	-0.06	0	-0.18	0	-0.01	3.64
Agricultural	1.23	-0.96	-0.03	0.02	0.18	0	0	0	0.09
Forest	0.1	-0.28	0	0	0	0	0	-0.02	-0.17
Orchards	0.33	-0.12	0	0	0.01	0	0.02	0	0.18
Grass	1.42	-5.21	-0.02	-0.03	-3.64	-0.09	0.17	-0.18	0
1996-2021									
Water	0.15	-0.12	0	-0.02	0.04	-0.05	0	0	0.05
Residential	0.44	0	0.02	0	0.23	0.01	0.00	0	0.17
Bare	9.21	-2.55	-0.04	-0.23	0	-0.43	0.86	-0.06	6.56
Agricultural	1.63	-0.85	0.05	-0.01	0.43	0	0.02	-0.15	0.44
Forest	0	-1.94	0	0	-0.86	-0.02	0.00	-0.02	-0.91
Orchards	0.72	-0.05	0	0	0.06	0.15	0.02	0	0.45
Grass	2.36	-9.12	-0.05	-0.17	-6.56	-0.44	0.91	-0.45	0.00

۳-۲- مدل‌سازی پتانسیل انتقال

مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی (MLP) انجام شد. پس از آن صحت مدل‌سازی پتانسیل انتقال مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از صحت سنجی مدل شبکه عصبی مصنوعی در جدول (۳) نشان می‌دهد که مدل‌سازی پتانسیل انتقال در همه زیرمدل‌ها از صحت بالایی (۰.۶۰-۰.۷۵) برخوردار می‌باشد.

همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود زیرمدل تبدیل زمین بایر به اراضی کشاورزی و زیرمدل تبدیل کاربری مرتع به زمین بایر به ترتیب با دقت کلی ۰.۷۴/۴۴ و ۰.۵۲/۱۷

دارای بیش‌ترین و کم‌ترین دقت می‌باشند. در اکثر مطالعاتی که از شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال استفاده شده است نتایج حاصل دقت بالای این مدل را در مدل‌سازی نشان می‌دهند. در مطالعه Khoshnood (2021) Motlagh et al. در اکثر زیر مدل‌ها بین ۰.۵۰٪ تا ۰.۸۷٪ به‌دست آمد. همچنین Ansari and Golabi (2019) در مطالعه خود نتیجه گرفتند که توان انتقال مدل شبکه عصبی مصنوعی برای اکثر زیر مدل‌ها با دقت ۰.۶۵-۰.۸۸٪ می‌باشد. تفاوت در توانایی مدل‌سازی پتانسیل انتقال در زیر مدل‌های مختلف می‌تواند به به‌دلیل اختلاف در میزان همبستگی بین متغیرهای توصیفی با هر

یک از کلاس‌های کاربری باشد. در جدول (۴) مشاهده می‌شود از متغیرهای توصیفی شیب، مدل رقومی ارتفاعی، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از آبراهه‌ها و متغیر کیفی شاهد احتمال استفاده شده است.

جدول ۳- ارزیابی صحت شبکه عصبی مصنوعی

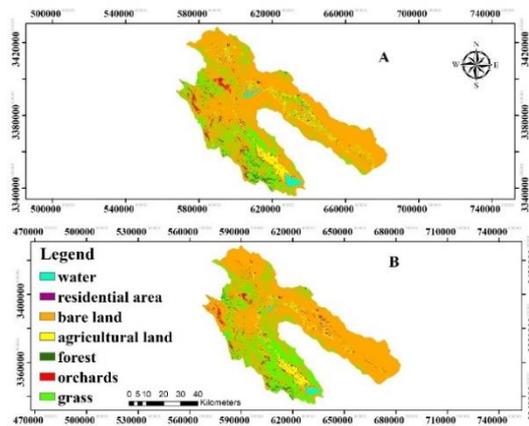
Table 3 Assessment of accuracy of artificial neural network

Sub-model	Accuracy(percent)	Skill Measure
Bare to agricultural	74.44	0.4889
Grass to agricultural	65.42	0.3084
Grass to bare	52.17	0.0435
Grass to Orchards	71.62	0.4324
Bare to Residential area	66.18	0.3235
Forest to grass	64.5	0.29
Agricultural to bare	65.54	0.3108

جدول ۴- مقادیر کلی ضریب کرامر

Table 4 Listing the Overall Cramer's V values

Variables	Overall Cramer's V
Evidence likelihood	0.3573
Slope	0.0056
Dem	0.1188
Distance to road	0.1042
Distance to residential	0.1416
Distance to waterway	0.1699



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۰ الف-تولید شده با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده و ب- پیش‌بینی شده با استفاده از مدل LCM

Fig. 4 Land use map for 2021: a) extracted using supervised classification and b) predicted using LCM

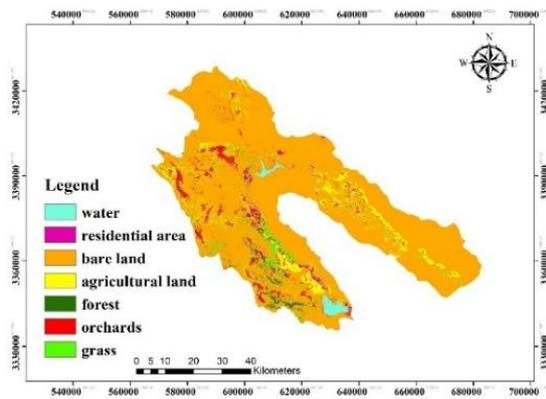
۳-۴- اعتبارسنجی مدل

نقشه کاربری اراضی که با استفاده از مدل برای سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی شد، ابتدا با نقشه کاربری اراضی واقعی سال ۱۴۰۰ مقایسه شد. سپس با محاسبه موفقیت خنثی، موفقیت، خطا و هشدار خطا وضعیت صحت برای موقعیت و کمیت پیکسل‌های هر طبقه به ترتیب ۸۵/۹۶، ۱/۹۲، ۸/۸ و ۲/۹۴٪ محاسبه شدند. نسبت Hits به کل پیکسل‌های تغییر کرده نیز ۱۴٪ محاسبه شد. این مقدار بیانگر قابل قبول بودن نتایج مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. Pontius and Millones (2011) بر اساس تحقیقاتی، گزارش کردند که مقادیر فوق توانایی و قدرت بهتری نسبت به ضریب کاپا در ارزیابی صحت مدل دارند. این مقادیر نشان دادند که در مطالعه حاضر مدل می‌تواند با استفاده از زیرمدل‌های تعریف شده و متغیرهای انتخاب شده تغییرات کاربری اراضی منطقه را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند. در مطالعات مختلفی مدل LCM توانسته است با دقت قابل قبولی تغییرات کاربری

نتایج در جدول (۴) نشان می‌دهد که متغیر کیفی شاهد احتمال و متغیر شیب به ترتیب دارای بیشترین و کمترین ضریب کرامر می‌باشند. در بسیاری از مطالعاتی که در زمینه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی انجام شده است، محققان از این متغیرها برای مدل‌سازی استفاده کرده‌اند. در مطالعه Joorabian Shooshtari et al. (2021) فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از آبراهه‌ها به عنوان متغیرهای تأثیر گذار در پوشش زمین حوزه آبخیز رودخانه نکا معرفی شدند. در مطالعه Khoshnood Motlagh et al. (2021) نیز متغیرهای فاصله از جاده و مناطق مسکونی جزو مهم‌ترین محرک‌های تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز حبله رود بودند.

۳-۳- مدل‌سازی نقشه کاربری اراضی

احتمال انتقال از یک کاربری در سال ۱۳۹۵ به کاربری دیگر در سال ۱۴۰۰ با استفاده از زنجیره مارکوف محاسبه شد. بیشترین احتمال انتقال از کاربری جنگل به مرتع و مرتع به زمین بایر بود. سپس نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۰ با استفاده از تغییرات ایجاد شده در کاربری اراضی در طی دوره



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده سال ۱۴۲۹
Fig. 5 Predicted land use map for 2050

جدول ۵- مساحت کاربری اراضی پیش‌بینی شده برای سال ۱۴۲۹ و تغییرات مساحت بین سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۲۹ (ha)

Classes	Area (ha)	changes between 2021 and 2050 (ha)
Water	5133	-64
Residential area	9816	4494
Bare land	360253	54290
Agricultural land	31975	7621
Forest	3410	-689
Orchards	11317	2391
Grass	11899	-68441

بیشتر اراضی که در حال حاضر تحت کشاورزی هستند، در گذشته در تصرف جنگل‌ها و مراتع بوده‌اند، این تبدیل منجر به از دست دادن تنوع زیستی مرتبط به این ایستگاه‌های طبیعی شده است (Castelletta et al. 2000). این تبدیل مراتع به زمین‌های بایر، اراضی کشاورزی و باغات اثرات منفی بر منطقه مورد مطالعه خواهد داشت. زیرا با تبدیل مراتع به زمین‌های بایر، اراضی کشاورزی و باغات، پوشش گیاهی منطقه کاهش خواهد یافت و در نتیجه از میزان نفوذپذیری خاک کاسته می‌شود و این موضوع باعث ایجاد سیل‌های زیان‌بار در منطقه خواهد شد زیرا بارش‌ها در این منطقه در طول یک واقعه ۲۰۰ تا ۳۰۰ mm با مقادیر روزانه ۵۰ تا ۱۰۰ mm می‌باشند که رواناب حاصل از آن‌ها می‌تواند خسارات زیادی را به دنبال داشته‌باشد. افزایش زمین‌های بایر و لخت در منطقه در سال‌های آینده می‌تواند کانونی برای ایجاد ریزگردها، فرسایش خاک و رسوب شود. همچنین با افزایش اراضی کشاورزی در این حوضه به‌ویژه کشت برنج، نیاز آبی در حوضه کشاورزی افزایش خواهد یافت و این

اراضی را برای آینده پیش‌بینی کند (Azari et al. 2022; Shafie et al. 2023). اما در استفاده از مدل LCM نیز یک سری محدودیت‌های وجود دارد. برای مثال زنجیره مارکوف که در این مدل جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی به کار می‌رود تنها یک مدل پیش‌بینی است و حساس به مسائل اقتصادی و اجتماعی نمی‌باشد بنابراین گنجاندن متغیرهای اجتماعی-اقتصادی و جمعیتی در مدل‌سازی دشوار است (Iacono et al. 2015). برای رفع این محدودیت نیاز به ادغام مدل زنجیره مارکوف با سایر مدل‌هایی است که می‌توانند متغیرهای اجتماعی و اقتصادی را دربرگیرند (Hamad et al. 2018). اما به طور کلی، مدل LCM قادر به تخمین تغییرات پوشش زمین در آینده است و می‌تواند در مطالعات آبی مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۵- پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۲۹

نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۲۹ نیز با استفاده از تغییرات کاربری اراضی ایجاد شده در دوره ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ پیش‌بینی شد. نتایج مدل‌سازی برای سال ۱۴۲۹ نیز نشان می‌دهد که مساحت مراتع و جنگل‌ها به ترتیب ۱۱۸۹۹ ha و ۳۴۱۰ ha خواهد شد. هر کدام به نسبت سال ۱۴۰۰، ۶۸۴۴۱ ha و ۶۸۹ کاهش خواهند یافت. در مقابل مساحت زمین‌های بایر به ۳۶۰۲۵۳ ha خواهد رسید. پیش‌بینی شده است که در سال ۱۴۲۹، مساحت اراضی کشاورزی به ۳۱۹۷۵ ha برسد که نسبت به سال ۱۴۰۰، ۷۶۲۱ ha افزایش خواهد یافت. همچنین مساحت باغ و مناطق مسکونی نیز به ترتیب در سال ۱۴۲۹، ۱۱۳۱۷ ha و ۹۸۱۶ ha پیش‌بینی شده‌اند. نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده سال ۱۴۲۹ در شکل (۵) نشان داده شده است. جدول (۵) نیز مساحت هر یک از کاربری‌ها را در سال ۱۴۲۹ و تغییرات آن‌ها را نسبت به سال ۱۴۰۰ نشان می‌دهد. بر اساس نتایج پیش‌بینی شده برای سال ۱۴۲۹، می‌توان بیان کرد که حوضه مورد مطالعه در آینده با افزایش مساحت زمین‌های بایر، اراضی کشاورزی، باغ و مناطق مسکونی روبه‌رو خواهد بود. در مقابل کاربری مرتع و جنگل به شدت کاهش خواهند یافت. تغییرات کاربری اراضی که در هر محل رخ می‌دهد در مقیاس محلی است، اما اثرات محیط‌زیستی آن در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی گسترش می‌یابد.

۴- ارزیابی توانایی مدل با محاسبه مؤلفه‌های موفقیت، خطا، هشدار خطا و نسبت Hits به کل پیکسل‌های تغییر کرده که هر کدام به ترتیب ۱/۹۲، ۸/۸، ۲/۹۴ و ۱/۱۴ به دست آمدند، نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری ارضی حوزه آبخیز سد درودزن می‌باشد.

باتوجه به نتایج حاصل پیشنهاد می‌شود برای جلوگیری و به حداقل رساندن تخریب پوشش طبیعی حوزه آبخیز سد درودزن از برخی سیاست‌ها و استراتژی‌ها مانند ایجاد معیشت‌های جایگزین و سودآورتر از کشاورزی و احیای جنگل‌های از بین رفته در منطقه با کاشت درختان سریع‌الرشد استفاده شود.

سیاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب یک پایان‌نامه با کد GN: SCU.WH1401.589 صورت گرفته است.

دسترسی به داده‌ها

تمام داده‌ها در متن مقاله نوشته شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Abuhay, W., Gashaw, T., & Tsegaye, L. (2023). Assessing impacts of land use/land cover changes on the hydrology of Upper Gilgel Abbay watershed using the SWAT model. *J. Agri. Food Res.*, 12, DOI: [10.1016/j.jafr.2023.100535](https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100535).
- Ansari, A., & Golabi, M. H. (2019). Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for Desert Wetlands—A case study: Meighan Wetland, Iran. *Soil Water Conserv. Res.*, 7(1), 64-70, DOI: [10.1016/j.iswcr.2018.10.001](https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.10.001).
- Azari, M., Billa, L., & Chan, A. (2022). Multi-temporal analysis of past and future land cover change in the highly urbanized state of Selangor, Malaysia. *Ecol. Process*, 11(1), 2. DOI: [10.1186/s13717-021-00350-0](https://doi.org/10.1186/s13717-021-00350-0).
- Boussema, S. B. F., Allouche, F. K., Ajmi, R., Chaabane, B., & Gad, A. A. (2023). Assessing and monitoring the effects of land cover changes in biodiversity. Case study: Mediterranean coastal region, Sousse, Tunisia. *Egypt. J. Remote. Sens. Space Sci.*, 26(1), 185-196, DOI: [10.1016/j.ejrs.2023.01.002](https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.01.002).
- Castelletta, M., Sodhi, N. S., & Subaraj, R. (2000). Heavy Extinctions of Forest Avifauna in Singapore: Lessons for Biodiversity Conservation in Southeast Asia. *Conserv Biol*, 14(6), 1870-1880, DOI: [10.1111/j.1523-1739.2000.99285.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2000.99285.x).
- Chen, H., & Pontius, R. G. (2010). Diagnostic tools to evaluate a spatial land change projection along a gradient of an explanatory

موضوع موجب اضافه برداشت از منابع آب در این ناحیه و ایجاد بحران آبی جدی خواهد شد.

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر پس از ارزیابی و آشکارسازی تغییرات کاربری ارضی حوزه آبخیز سد درودزن در طی ۲۵ سال گذشته، نقشه کاربری ارضی حوزه برای سال ۱۴۲۹ با دقت قابل قبولی با استفاده از مدل LCM پیش‌بینی شد و میزان تغییرات ایجاد شده در مساحت هر یک از کاربری‌ها از گذشته تا آینده مورد ارزیابی قرار گرفت. در مجموع بر اساس نتایج پژوهش، موارد زیر به عنوان نتیجه‌گیری کلی ارائه می‌شود.

۱- در طی ۲۵ سال گذشته منتهی به سال ۱۴۰۰، کاربری مرتع عمده‌ترین نوع کاربری ارضی بوده است که دارای تغییرات منفی است و ۷۳۰۲۶ ha کاهش یافته است.

۲- بیشترین تغییرات خالص کاربری ارضی در طی ۲۵ سال گذشته به ترتیب مربوط به تبدیل کاربری مرتع به زمین بایر، کاربری جنگل به مرتع، جنگل به بایر، کاربری مرتع به باغات و اراضی کشاورزی بوده است.

۳- الگوی تغییرات کاربری ارضی در آینده در جهت افزایش زمین‌های بایر، اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و باغات خواهد بود که هر کدام به ترتیب ۵۴۲۹۰، ۷۶۲۱، ۴۴۹۴ و ۲۳۹۱ ha افزایش خواهند یافت. در مقابل مراتع و جنگل‌ها هر کدام به ترتیب ۶۸۴۴۱ و ۶۸۹ ha کاهش می‌یابند.

- variable. *Landsc Ecol*, 25, 1319-1331, DOI: 10.1007/s10980-010-9519-5
- Eastman, J. R. (2020). *TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System Manual*. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
- Gholamalifard, M., Joorabian Shoostari, S., Hosseini Kahnuj, S. H., & Mirzaei, M. (2013). Land cover change modeling of coastal areas of Mazandaran Province using LCM in a GIS environment. *J. Environ. Stud.*, 38(4), 109-124, DOI: [10.22059/JES.2013.29867](https://doi.org/10.22059/JES.2013.29867) [in persien].
- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustain.*, 10(10), 3421. DOI: [10.3390/su10103421](https://doi.org/10.3390/su10103421).
- Hasan, S., Shi, W., Zhu, X., Abbas, S., & Khan, H. U. A. (2020). Future simulation of land use changes in rapidly urbanizing South China based on land change modeler and remote sensing data. *Sustain.*, 12(11), 4350, DOI: [10.3390/su12114350](https://doi.org/10.3390/su12114350).
- Hassanzadeh, E., Zarghami, M., & Hassanzadeh, Y. (2012). Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resour. Manag.*, 26, 129-145, DOI: [10.1007/s11269-011-9909-8](https://doi.org/10.1007/s11269-011-9909-8).
- Hussain, S., & Karuppanan, S. (2023). Land use/land cover changes and their impact on land surface temperature using remote sensing technique in district Khanewal, Punjab Pakistan. *Geol. Ecol. Landsc.*, 7(1), 46-58. DOI: [10.1080/24749508.2021.1923272](https://doi.org/10.1080/24749508.2021.1923272).
- Iacono, M., Levinson, D., El-Geneidy, A., & Wasfi, R. (2015). A Markov chain model of land use change. *TeMA J. Land Use, Mobil. Environ.*, 8(3), 263-276. DOI: [10.6092/1970-9870/2985](https://doi.org/10.6092/1970-9870/2985).
- Islam, M. S., & Ahmed, R. (2011). Land use change prediction in Dhaka city using GIS aided Markov chain modeling. *J. Life Earth Sci.*, 6, 81-89. DOI: [10.3329/jles.v6i0.9726](https://doi.org/10.3329/jles.v6i0.9726).
- Joorabian Shoostari, S., & Aazami, J. (2023). Prediction of the dynamics of land use land cover using a hybrid spatiotemporal model in Iran. *Environ. Monit. Assess.*, 195. DOI: [10.1007/s10661-023-11425-0](https://doi.org/10.1007/s10661-023-11425-0).
- Joorabian Shoostari, S., Shayesteh, K., Gholamalifard, M., Azari, M., & López-Moreno, J. I. (2021). Responses of surface water quality to future land cover and climate changes in the Neka River basin, Northern Iran. *Environ. Monit. Assess.*, 193(7), 411. DOI: [10.1007/s10661-021-09184-x](https://doi.org/10.1007/s10661-021-09184-x).
- 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 Degrad. Dev.*, 32(10), 3092-3105. DOI: [10.1002/ldr.3969](https://doi.org/10.1002/ldr.3969).
- 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. *Sustain.*, 13(7), 3740. DOI: [10.3390/su13073740](https://doi.org/10.3390/su13073740).
- Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. *J. Environ. Stud. Sci.*, 4, 315-328. DOI: [10.1007/s13412-014-0182-z](https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z).
- Magesh, N. S., & Chandrasekar, N. (2017). Driving forces behind land transformations in the Tamiraparani sub-basin, South India. *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, 8, 12-19. DOI: [10.1016/j.rsase.2017.07.003](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.07.003).
- Naderi, M. (2020). The impact of climate change on dorudzan dam inflow and reservoir volume, Northern Fars province. *Sci. Quart. J. Geosci.*, 29(115), 259-268, DOI: [10.22071/gsj.2019.146503.1527](https://doi.org/10.22071/gsj.2019.146503.1527) [in persien].
- Pontius Jr, R. G., & Millones, M. (2011). Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *Int. J. Remote Sens.*, 32(15), 4407-4429. DOI: [10.1080/01431161.2011.552923](https://doi.org/10.1080/01431161.2011.552923).
- Pourghasemi, H., Mohammady, M., Noor, H., & Afzali, S. F. (2022). Land use change simulation using CLUE-s model in the watershed of Doroodzan Dam. *Iranian J. Watershed Manage. Sci. Eng.*, 16(58), 23-31, URL: <http://jwmsei.ir/article-1-1026-fa.html> [in persien].
- Qacami, M., Khattabi, A., Lahssini, S., Rifai, N., & Meliho, M. (2023). Land-cover/land-use change dynamics modeling based on land

- change modeler. *Ann. Reg. Sci.*, 70(1), 237-258, DOI: [10.1007/s00168-022-01169-z](https://doi.org/10.1007/s00168-022-01169-z).
- Rasinezami, S., Izadifard, H., Khavarian, H., & Mostafazadeh, R. (2023). Land use/land cover changes in samian watershed, ardabil, and its relationship with the quality of surface water resources. *Environ. Water Eng.*, 9(3), 413-426, DOI: [10.22034/jewe.2022.341548.1783](https://doi.org/10.22034/jewe.2022.341548.1783) [in persien].
- Rasouli, A. A., (2008). Principle of Applied Remote Sensing: Satellite Image Processing. Tabriz University Press, 860 pp [in persien].
- 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, 2617-2627. DOI: [10.3126/hj.v6i0.18363](https://doi.org/10.3126/hj.v6i0.18363).
- 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). *Environ. Monit. Assess.*, 195, 363. DOI: [10.1007/s10661-022-10876-1](https://doi.org/10.1007/s10661-022-10876-1).
- Shakeri, R., Shayesteh, K., & Ghorbani, M. (2019). Assessment and prediction of land use changes in the Anzali wetland Basin, based on land change modeler (LCM). *Iran. J. Remote Sens. GIS*, 11(2), 93-114, DOI: [10.52547/gisj.11.2.93](https://doi.org/10.52547/gisj.11.2.93) [in persien].
- Shirmohammadi, B., Malekian, A., Salajegheh, A., Taheri, B., Azarnivand, H., Malek, Z., & Verburg, P. H. (2020). Scenario analysis for integrated water resources management under future land use change in the Urmia Lake region, Iran. *Land Use Policy*, 90, 104299. DOI: [10.1016/j.landusepol.2019.104299](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104299).